



LUKI – LUft und Kinder

Einfluss der Innenraumluft auf die Gesundheit
von Kindern in Ganztagschulen



lebensministerium.at



MEDIZINISCHE
UNIVERSITÄT
WIEN





LUKI – LUft und Kinder

Einfluss der Innenraumluft auf die Gesundheit von
Kindern in Ganztagschulen

Endbericht Kurzfassung

Philipp Hohenblum

Marina Fröhlich
Lorenz Moosmann
Sigrid Scharf
Maria Uhl
Claudia Gundacker
Hans-Peter Hutter
Michael Kundi
Marie Jansson
Peter Tappler



lebensministerium.at



REPORT
REP-0181

Wien, 2008



Projektleitung

Philipp Hohenblum

AutorInnen

Umweltbundesamt: Philipp Hohenblum, Marina Fröhlich, Lorenz Moosmann, Sigrid Scharf, Maria Uhl

Medizinische Universität Wien, Zentrum für Public Health: Claudia Gundacker, Hans-Peter Hutter, Michael Kundi, Karl Kociper, Livia Borsoi, Hanns Moshhammer, Peter Wallner, Brigitte Piegler

Innenraum Mess- und Beratungsservice des Österreichischen Instituts für Baubiologie und -ökologie: Marie Jansson, Peter Tappler

Lektorat

Maria Deweis

Satz/Layout

Elisabeth Riss

Umschlagfoto

Kinder in ihrer täglichen Schulumgebung (Philipp Hohenblum)

Dank gebührt den DirektorInnen, LehrerInnen und Schulwarten der untersuchten Schulen für Unterstützung bei der Durchführung dieser Studie. Weiters gilt unser Dank den Schülerinnen und Schülern, welche an dieser Studie beteiligt waren sowie deren Eltern für ihre Unterstützung und Mithilfe.

Für die Genehmigung der Untersuchung der Schulen bedanken wir uns bei den Schulerhaltern sowie allen Behörden und Personen, die dieses Projekt ermöglicht haben.

Diese Publikation wurde im Auftrag des Lebensministeriums (Abt. V/2, V/4, V/5) sowie des Amtes der Kärntner Landesregierung (Abt. 12) erstellt.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Druck: Janetschek, 3860 Heidenreichstein

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2008
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-979-9

VORWORT

„LUKI – Luft und Kinder

*Einfluss der Innenraumluft auf die Gesundheit
von Kindern in Ganztagschulen“*



Kinder und Jugendliche reagieren anders auf Umweltbelastungen als Erwachsene und sind dadurch oft besonderen Risiken ausgesetzt. Zudem verbringen sie einen großen Teil ihrer Zeit in Innenräumen, wie Wohnungen, Kindergärten und Schulen. Gleichzeitig finden sich aber in Innenräumen auch eine Vielzahl an Schadstoffen, deren Auswirkungen auf die Gesundheit bei lang andauernder Einwirkung noch nicht ausreichend erforscht sind.

Ich habe mich daher in Umsetzung der anlässlich der WHO-Umwelt- und Gesundheitsministerkonferenz 2004 in Budapest gefassten Beschlüsse für einen österreichischen Kinder-Umwelt-Gesundheits-Aktionsplan eingesetzt, der vergangenes Jahr verabschiedet werden konnte. Mit diesem Aktionsplan, der gemeinsam mit dem Gesundheitsressort unter Einbeziehung vieler Experten und Akteure erarbeitet wurde, konnte ein starker Impuls für die weitere Verbesserung der Umweltbedingungen für unsere Kinder in Österreich gesetzt werden.

Eines der wesentlichen Maßnahmenfelder des österreichischen Kinder-Umwelt-Gesundheits-Aktionsplans ist die Sicherstellung von sauberer Außen- und Innenraumluft. Mit vorliegender Studie soll nun ein wesentlicher Beitrag zur Umsetzung dieser wichtigen Maßnahmen geliefert werden.

Josef Pröll

Umweltminister



INHALT

VORWORT	3
ZUSAMMENFASSUNG	7
Hintergrund	7
Methodik	7
Ergebnisse und Folgerungen	7
Handlungsfelder	9
1 EINLEITUNG	10
1.1 Allgemeines	10
1.2 Konzept und Durchführung	11
2 METHODIK	13
2.1 Medizinischer Teil	13
2.1.1 Kognitiver Test	13
2.1.2 Lungenfunktion	13
2.1.3 Fragebogen und Statistik	14
2.1.4 Biomonitoring	14
2.2 Analytischer Teil	15
2.2.1 Beprobungen	16
2.2.2 Tagesgang der Feinstaub- und CO ₂ -Konzentration	16
3 ERGEBNISSE	17
3.1 Medizinischer Teil	17
3.1.1 Beschreibung der Kinder und ihres Gesundheitszustandes	17
3.1.2 Wohnsituation und Wohnumgebung	18
3.1.3 Kognitiver Test	18
3.1.4 Lungenfunktion	20
3.1.5 Biomonitoring	22
3.1.6 Kinderprojekt Asseln	25
3.2 Analytischer Teil	25
3.2.1 Analytische Ergebnisse	25
3.2.2 Ergebnisse Flüchtige Organische Verbindungen (VOC) und Aldehyde	26
3.2.3 Ergebnisse NO ₂	28
3.2.4 Feinstaub	28
3.2.5 Vergleich Hausstaub- und Feinstaubbelastung	29
3.2.6 Tagesgang der Feinstaubkonzentration (mittels Aerosolspektrometer)	30
3.2.7 Bewertung der untersuchten CO ₂ -Konzentrationen	31
4 HANDLUNGSFELDER	34
4.1 Potenzielle Exposition in der Schule	34
4.2 Einfluss des Wohn- und Familienumfeldes auf die respiratorische Gesundheit	35
4.3 Einfluss des Schulumfeldes auf die respiratorische Gesundheit	36
4.4 Einfluss von Schadstoffen auf die kognitive Leistungsfähigkeit	36
4.5 Schulumfeld und Schadstoffbelastung	36
LITERATURVERZEICHNIS	37



ZUSAMMENFASSUNG

Hintergrund

Zwischen 2005 und 2008 setzte sich ein Konsortium im Rahmen des Projektes „Einfluss der Innenraumluft auf die Gesundheit von Kindern in Ganztagschulen – Luft und Kinder LUKI“ mit dem Zusammenhang von Innenraumfaktoren und der Gesundheit von Kindern auseinander. Das Konsortium bestand aus Mitgliedern der Medizinischen Universität Wien, dem Innenraum Mess- und Beratungsservice des Österreichischen Instituts für Baubiologie und -ökologie und aus dem Umweltbundesamt. Die Koordination des Projektes wurde vom Umweltbundesamt durchgeführt. Das Forschungsprojekt leistet einen Beitrag zur Umsetzung des CEHAPE (Children's Environment and Health Action Plan for Europe) der Weltgesundheitsorganisation (WHO).

***gemeinsames
Konsortium***

Methodik

Es wurde ermittelt, ob und in welchem Umfang Kinder (6 bis 10 Jahre) in ihrer Schule verschiedenen Umweltfaktoren ausgesetzt sind. In sieben Ganztagsvolksschulen in Wien, St. Pölten und Graz sowie in zwei Schulen mit ganztägiger Betreuung in Klagenfurt und Villach wurden im Innenraum gasförmige und partikelgebundene Luftschadstoffe im Hausstaub, Feinstaub und in der Luft sowie der Gehalt an CO₂ analysiert. Weiters wurde eine Darstellung der toxikologischen Eigenschaften der untersuchten Stoffe erarbeitet.

***Messung von
Luftschadstoffen in
9 Schulen***

Um die Kinder aktiv in das Projekt einzubinden und deren Interesse für Umweltzusammenhänge zu fördern, wurden gemeinsam Asseln (als Bioindikatoren für die Schwermetallbelastung) gesammelt, welche in weiterer Folge analysiert wurden.

***Asseln als
Bioindikatoren***

Weiters wurden Haar- und Zahnproben der SchülerInnen auf Schwermetalle analysiert. Um Einflüsse auf die kognitive Leistungsfähigkeit der SchülerInnen erfassen zu können, wurde ein standardisierter Test durchgeführt. Darüber hinaus wurden auch die Wohnumgebung sowie der Gesundheitsstatus der Kinder (vor allem deren Atemwege) mittels Elternfragebogen erhoben und die Lungenfunktion bestimmt. Diese Daten wurden mit jenen der Schadstoffmessungen bzw. den Daten der Haar- bzw. Zahnanalysen korreliert.

***Haar- und
Zahnproben der
SchülerInnen***

Ergebnisse und Folgerungen

Insgesamt wurden 252 Parameter in der Luft, im Feinstaub und Hausstaub gemessen. In den Luftproben wurde von den 53 untersuchten Parametern nur ein Parameter (Isopropylacetat) in keiner einzigen Probe über der Bestimmungsgrenze bestimmt. Einige Aldehyde und chlorierten Kohlenwasserstoffe waren in einzelnen Proben nachweisbar. Der Rest der Parameter wurde in (fast) allen Proben in Konzentrationen über der Bestimmungsgrenze ermittelt. Die Konzentrationen lagen nur sehr vereinzelt über Richt- und Orientierungswerten. Diese Substanzen stammen teils aus Gegenständen des Alltags, werden aber auch durch spezielle Anwendungen freigesetzt (z. B. Klebstoffe, Farben, ...), was durch bewusstes Handeln verringert oder vermieden werden kann (Lüften des Werkraumes, Umstieg auf Wasserfarben, ...).

***Aldehyde und
chlorierte Kohlen-
wasserstoffe***



- CO₂-Konzentration** Ein bedeutender Indikator für die Qualität der Innenraumluft ist die CO₂-Konzentration. Messungen in den Klassen haben gezeigt, dass zum überwiegenden Teil Konzentrationen gemessen wurden, die den Anforderungen an eine gute Qualität der Innenraumluft nicht mehr genügen, die Leistung der SchülerInnen beeinträchtigen und gesundheitliche Beeinträchtigungen erwarten lassen.
- Feinstaub** Die Resultate der Feinstaubmessungen in Klassenräumen (bzw. angrenzender Räume) zeigen, dass zum Teil eine Beeinflussung der Feinstaubkonzentration durch die Außenluft erfolgt (z. B. durch Lüften). Dies spiegelt sich auch in den gemessenen NO₂-Konzentrationen wider. Es konnte aber auch gezeigt werden, dass vor allem interne Quellen für die PM₁₀ Belastung der Klassenräume verantwortlich sind (z. B. Wiederaufwirbelung, Kreidestaub, Aktivität der SchülerInnen). Die kontinuierliche Aufzeichnung der Feinstaubbelastung zeigt erwartungsgemäß einen sehr deutlichen Tagesgang mit Anstieg während der Unterrichtszeiten und einen schnellen Abfall während der Pausen und nach dem Unterricht.
- organische Schadstoffe** Ubiquitär auftretende, bekannte Verbindungen wie Phthalate, Trisphosphate, phenolische Verbindungen, PAHs, polybromierte Diphenylether (Flammschutzmittel) oder Schwermetalle wurden sowohl im Hausstaub wie im Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) regelmäßig nachgewiesen. Sie stammen im Wesentlichen aus Gegenständen des täglichen Bedarfs (Einrichtung, Kosmetika, Bekleidung, ...) und lagern sich aufgrund ihrer chemisch/physikalischen Eigenschaften an Feststoffen an (Feinstaub, Hausstaub). Diese Stoffe können in der Regel nur durch stoffpolitische Maßnahmen (Nutzungseinschränkungen und Verbote) aus Teilbereichen des Lebens entfernt werden.
- Die Konzentrationen einzelner Schadstoffe zeigen eine Korrelation mit einer Abnahme der Lungenfunktion (Ethylbenzol, Xylol, Formaldehyd, Benzylbutylphthalat, PBDE 196 sowie das Trisphosphat TDCPP).
- Schwermetalle** Auch Schwermetalle wurden im Hausstaub und Feinstaub der Schulen bestimmt. Teilweise korreliert die Belastung mit den Messdaten der als Hintergrundindikatoren analysierten Asseln. Die Ergebnisse der Untersuchung der Asseln zeigen, dass eine längerfristige Belastung vorliegt.
- kein Asbest** In keiner der Hausstaubproben konnte Asbest bestimmt werden.
- Belastungen auch außerhalb der Schule** Ein Zusammenhang mit der Hausstaubbelastung der Schulen und den Ergebnissen der Zahn- und Haaruntersuchungen konnte nicht ermittelt werden. Diese Belastungen sind offensichtlich auf Expositionen außerhalb des Schulumfeldes zurückzuführen, wobei die Ernährung eine entscheidende Rolle spielt. Die Messwerte der Zahn- und Haaruntersuchungen sind im internationalen Vergleich niedrig und zeigen, dass Maßnahmen zur Reduktion der Bleibelastung (unverbleite Treibstoffe, Austausch von Bleirohren in der Trinkwasserversorgung) gegriffen haben. In den Ergebnissen ist deutlich zu erkennen, dass Jungen höhere Pb- und Cd-Belastungen aufweisen als Mädchen (Gender-Faktor). Die subjektive Unzufriedenheit (der Eltern) mit der Luftqualität am Wohnort war mit den Pb-, Cd- und Hg-Belastungen der Kinder assoziiert.
- Die Befunde der Lungenfunktion und des kognitiven Leistungstests belegen, dass vor allem das weitere Umfeld der Kinder Einfluss auf diese beiden Faktoren haben dürfte. Vor allem Schimmel in der Wohnung und (passives) Rauchen korrelieren mit einer Abnahme der Lungenfunktion.



Die kognitive Leistungsfähigkeit steht vor allem mit dem Wohnumfeld in Verbindung. Jedoch korrelieren höhere Konzentrationen des Trisphosphates „Tris-(2-chlorethyl)-phosphat (TCEP)“ im Schulumfeld mit einer Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit. Weitere Einflussfaktoren auf die kognitive Leistungsfähigkeit (z. B. übermäßiger Fernsehkonsum, mangelnde Förderung, ...) konnten in der Analyse nicht berücksichtigt werden.

Abnahme der kognitiven Leistungsfähigkeit durch TCEP

Handlungsfelder

Anhand dieser Befunde lassen sich folgende Handlungsvorschläge zur Verbesserung des Innenraumklimas an Schulen sowie der Gesundheit der Kinder formulieren:

Die Qualität der Innenraumluft wird auch durch Außenluft mitbestimmt. Allerdings sind im Innenraum zahlreiche Quellen für Feinstaub zu finden. Um diesen in Schulen so gering als möglich zu halten, wird empfohlen

Reduktion der Feinstaubbelastung

- Klassen täglich feucht (ohne Reinigungsmittel) zu wischen,
- Tafelschwämme und Tücher regelmäßig zu waschen,
- verkehrsberuhigte Zonen um Schulen zu schaffen (z. B. Fußgeherzone, Tempo 30-Zone, Sackgassen etc.),
- die Gebäude nach Möglichkeit in Innenhöfe zu lüften.

Sowohl die Befunde der Lungenfunktionen wie auch der kognitiven Leistungstests zeigen, dass eine Beeinflussung vor allem durch das häusliche Umfeld gegeben ist. Bewusstseinsbildende Information über relevante Faktoren (Schimmel, Rauchen) der Eltern bzw. LehrerInnen wird empfohlen.

häusliches Umfeld

Kohlendioxid (CO₂) ist ein wesentlicher Indikator für die Qualität des Innenraumklimas und zeigt die Menge an zugeführter Frischluft an. Um den Faktor CO₂ erkennen zu können, wird empfohlen, Lüftungssampeln (siehe Kapitel 3.2.7) zu installieren, die durch Farbsignale die Notwendigkeit zum Lüften anzeigen. Weiters sollte das Bewusstsein für diesen Parameter bei den Lehrerinnen und Lehrern weiter geschärft werden, vor allem in Hinblick auf die Leistung der SchülerInnen bei ungenügender Frischluftzufuhr. So dies möglich ist, sollte möglichst in Innenhöfe gelüftet werden, um durch z. B. Straßenverkehr beeinträchtigte Luft zu vermeiden. Durch Fensterlüftung allein kann jedoch keine hinreichende Lüftung gewährleistet werden. Einem Trend folgend wird empfohlen, vermehrt mechanische Lüftungseinrichtungen zu fördern, um eine hohe Qualität der Innenraumluft zu gewährleisten. Generell gilt, dass eine Verbesserung der Lüftung positive Auswirkungen auf die Konzentrationen der meisten Schadstoffe des Innenraums hat.

Reduktion der CO₂-Belastung

Da einzelne gemessene Stoffe mit einer Abnahme der Lungenfunktion bzw. der kognitiven Leistung korreliert werden konnten, sind strengere stoffpolitische Maßnahmen notwendig, um Kinder vor der Exposition von Chemikalien aus Gebrauchsgegenständen zu schützen. Ein weiterer Beitrag zum Schutz kann auch in der Materialbeschaffung nach ökologischen Kriterien liegen bzw. im sorgsamem und bestimmungsgemäßen Gebrauch z. B. von Lösungsmittelhaltigen Produkten (z. B. Klebstoffe, ...).

Chemikalien aus Gebrauchsgegenständen

1 EINLEITUNG

1.1 Allgemeines

Aktionsplan der WHO

Die Weltgesundheitsorganisation (WHO) hat sich in den letzten Jahren verstärkt dem Thema „Umwelt und Gesundheit von Kindern“ gewidmet. Laut einer ihrer Studien ist etwa ein Drittel der Krankheitslast von Kindern bis zum 18. Lebensjahr ungesunden Umweltbedingungen zuzurechnen (WHO 2002). Auf Vorschlag der WHO wurde der Aktionsplan Children's Environment and Health Action Plan for Europe (CEHAPE) zur Verbesserung von Umwelt und Gesundheit der Kinder in der europäischen Region erarbeitet. Dieser enthält Instrumentarien und Vorschläge, wie Umweltbedingungen und Gesundheit von Kindern evaluiert, verbessert und erhalten werden können. Er wurde anlässlich der gemeinsamen Konferenz von Umwelt- und Gesundheitspolitikerinnen/-politikern sowie -ministerinnen/-ministern in Budapest 2004 beschlossen (LICARI et al. 2005).

Eines der Ziele des Aktionsplans betrifft die Verminderung und Verhütung der durch Verschmutzung von Innen- und Außenluft bedingten Erkrankungen der Atemwege und die Sicherstellung, dass alle Kinder in einem Lebensumfeld mit sauberer Luft leben können.

Kinder brauchen besonderen Schutz

Kinder und Jugendliche bedürfen aufgrund ihres noch in Entwicklung befindlichen Organismus eines besonderen Schutzes vor Umweltbelastungen und -gefahren. Sie reagieren aufgrund ihrer höheren Ventilationsrate oft empfindlicher auf Luftschadstoffe als Erwachsene. Zudem ist die Konzentration von Schadstoffen in Bodennähe höher, wodurch Kinder wiederum stärker betroffen sind als Erwachsene. In Österreich sind pro Jahr mehr als 20.000 Bronchitisfälle und mehr als 15.000 Asthmaanfälle bei Kindern auf die Abgase des Kfz-Verkehrs zurückzuführen (KÜNZLI et al. 2000).

Schulkinder und Jugendliche verbringen durchschnittlich fast ein Drittel ihrer Tageszeit in Schulen. Daher ist die Qualität der Innenraumluft in Schulen ein wichtiger Teil umwelthygienischer Betrachtungen. Trotz punktueller Studien der Luftqualität in Klassenzimmern gibt es noch viele offene Fragen, v. a. bezüglich der Optimierung der Lüftung und des Einflusses von Schadstoffen auf die Gesundheit der Kinder.

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurde die Exposition von Kindern (6 bis 10 Jahre) in ihrer Schule gegenüber Umweltfaktoren messtechnisch ermittelt. Analysen wurden in sieben Ganztagsvolksschulen in Wien, St. Pölten und Graz sowie in zwei Schulen mit ganztägiger Betreuung in Klagenfurt und Villach durchgeführt. Diese Schulen lagen fast alle in städtischen Gebieten unterschiedlicher Struktur.

Luft- und Staubmessungen in den Schulen

Analysiert wurden Luft, Hausstaub und Feinstaub auf eine Vielzahl relevanter Schadstoffe. Teilweise wurden Parameter erstmals in PM10- und PM2,5-Staubfraktionen gemessen. Außerdem wurde Kohlendioxid (CO₂) als Indikator für die anthropogene Belastung mitbestimmt. Feinstaub wurde darüber hinaus im Tagesgang aufgezeichnet.

zu viel Kohlendioxid zeigt Verschlechterung der Leistungsfähigkeit

Ein wichtiger Indikator für die vom Menschen verursachte Belastung des Innenraums ist Kohlendioxid (CO₂). Zunehmende Konzentrationen an CO₂ korrelieren mit einer Verschlechterung des Wohlbefindens und der Leistungsfähigkeit in Innenräumen und lassen zusätzliche Krankheiten erwarten. Dies ist insbesondere in Räumen mit hoher Belegung wie Klassenzimmern ein ernst zu nehmendes Problem (WARGOCKI et al. 2000).



Die Partikelbelastung hat eine hohe gesundheitliche Bedeutung. So wurden Auswirkungen von Feinstaub u. a. auf Atemwegssymptome, das Lungenwachstum, die Funktion des Immunsystems und die Sterblichkeit von Kindern (speziell Todesfälle aufgrund von Atemwegserkrankungen) erkannt. Eine umfassende Studie (BRAUER et al. 2006) konnte nachweisen, dass vermehrte Feinstaub- und Stickstoffdioxidbelastungen das Risiko von Mittelohrentzündungen bis zu 25 % ansteigen lassen.

Gesundheitsrisiko Feinstaub

Die alveolengängige Staubfraktion (PM_{2,5}) wurde aufgrund der Gesundheitsrelevanz und der Bedeutung der direkten Aufnahme über den Luftpfad auf eine Reihe innenraumrelevanter Schadstoffe überprüft (bei den meisten organischen Parametern erstmalig durchgeführt). Parallel dazu wurden mit einem Lasercounter die Verteilung und Menge der Staubfraktionen PM₁, PM_{2,5} und PM₁₀ ermittelt und der Tagesgang aufgezeichnet.

Um die Aufnahme von gasförmigen, flüchtigen Schadstoffen über die Luft zu erfassen, wurde weiters die Innenraumluft untersucht.

Viele Verbindungen, die in Gebrauchsgegenständen eingesetzt werden, lagern sich im Hausstaub an. Dieser wird daher als Indikator für die Belastung des Innenraumes mit schwerflüchtigen Substanzen betrachtet. Über das Auftreten dieser Stoffe im Feinstaub ist hingegen nur wenig bekannt.

Untersuchungen von Hausstaub

Weiters wurde eine umfangreiche Darstellung der toxikologischen Eigenschaften der untersuchten Stoffe erarbeitet und – so vorhanden – Grenz-, Richt- und Orientierungswerte zusammengestellt (siehe Langfassung). Um die Kinder aktiv in das Projekt einzubinden und deren Interesse für Umweltzusammenhänge zu fördern, wurden gemeinsam Asseln als Bioindikatoren gesammelt und die Zusammenhänge erklärt. Diese Asseln wurden später auf Schwermetalle analysiert, um die Hintergrundbelastung an den Schulstandorten aufzuzeigen.

toxikologische Eigenschaften

Asseln als Bioindikatoren

Außerdem wurden Haar- und Zahnproben der SchülerInnen auf Schwermetalle analysiert.

Um Einflüsse auf die kognitive Leistungsfähigkeit der SchülerInnen erfassen zu können, wurde ein standardisierter Test durchgeführt. Mittels Elternfragebogen wurden auch die Wohnumgebung sowie der Gesundheitsstatus der Kinder (vor allem der Atemwege) abgefragt und die Lungenfunktion bestimmt. Diese Daten wurden mit jenen der Schadstoffmessungen bzw. den Ergebnissen der Haar- bzw. Zahnanalysen in Verbindung gebracht, um die Auswirkungen der Schadstoffe auf die Atemwegsorgane bzw. durch sie verursachte toxische Effekte abzubilden.

1.2 Konzept und Durchführung

2005 begannen die Planungen zu diesem Vorhaben sowie die Erstellung des Projektdesigns, das mit vertretbar geringem Aufwand möglichst umfangreiche Ergebnisse bringen sollte. Anhand bestehender Erfahrungen wurden die Messparameter festgelegt. Als Partner wurden die Medizinische Universität Wien sowie das Innenraum Mess- und Beratungsservice des Österreichischen Instituts für Baubiologie und -ökologie für ein Konsortium gewonnen.

Bei einer Fachveranstaltung zum Thema „Innenraum und Gesundheit“, welche vom Projektkonsortium organisiert wurde, wurde das Studiendesign vorgestellt. Darauf kündigten DirektorInnen, ein Vertreter eines Schulerhalters sowie Vertreter

rinnen des Amtes der Kärntner Landesregierung ihr Interesse an der Teilnahme an der Studie an. In der weiteren Folge wurde eine Informationsveranstaltung für DirektorInnen und Lehrkräfte angeboten, um Fragen zur operativen Durchführung (Begehung, Beprobung und Durchführung der medizinischen Untersuchungen) zu diskutieren.

Zur Einholung der Genehmigung seitens der zuständigen Behörden wurden gemeinsam mit der medizinischen Universität entsprechende Schreiben verfasst (Ersuchen um Einverständnis der Stadt-/Landesschulräte) und Termine wahrgenommen (Schulerhalter der Stadt Wien, MA56; Stadtschulrat und Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kunst).

Auswahl und Beurteilung der Schulen

Im Zuge der Auswahl der Schulen erfolgten Ende Juni/Anfang Juli 2006, Ende August 2006 sowie März 2007 Begehungen vor Ort. Dabei wurden Gebäudeauffälligkeiten, Umgebungsbedingungen etc. erfasst, geeignete Messstellen zur Probenahme eruiert und Details für die Abwicklung der Beprobung/Untersuchungen mit den DirektorInnen und Schulwarten abgesprochen.

Darüber hinaus fand auch eine Beurteilung der gesamten Schulräumlichkeiten in Hinblick auf den baulichen Zustand der Räume, der verwendeten Materialien sowie der Aufteilung der Räumlichkeiten mittels eines Fragebogens statt. Der Fragebogen "Schule" wurde an einen validierten und bewährten Fragebogen (OÖ LANDESREGIERUNG 2003) angelehnt.

Die Schulen in Wien, St. Pölten und Graz wurden im Oktober/November 2006 und im März/April 2007 jeweils zweimal beprobt. Die Probenahme der Schule in St. Pölten musste im September 2007 wiederholt werden. Die Schulen in Klagenfurt und Villach wurden im April 2007 und September 2007 beprobt.

Gleichzeitig mit der ersten Beprobung wurden die medizinischen Untersuchungen durchgeführt und die Asseln mit den Schulkindern gesammelt. Die analytischen Untersuchungen wurden im Anschluss an die Probenahmen durchgeführt und im Spätherbst 2007 beendet. Es folgte die Auswertung der Daten und Verknüpfung mit den medizinischen Ergebnissen.

Die Ergebnisse werden ausschließlich anonymisiert dargestellt.



2 METHODIK

2.1 Medizinischer Teil

2.1.1 Kognitiver Test

Die Standard Progressive Matrices (SPM) wurden zur sprachfreien Erfassung des allgemeinen Intelligenzpotenzials im Sinne von Spearman und Raven entwickelt (SPEARMAN 1938, RAVEN 1938).

Der SPM-Test dient der Erfassung der unterschiedlichen Grade kognitiver Fähigkeiten. Dazu zählen Aufmerksamkeit, Wahrnehmungsfähigkeit, Erkenntnisfähigkeit, Entscheidungsfindung, Erinnerung/Merkfähigkeit, Lernfähigkeit, Abstraktionsvermögen und Rationalität.

Erfassung der kognitiven Leistungsfähigkeit

Vorgegeben werden geometrische Figuren oder Muster, die nach bestimmten Prinzipien aufgebaut sind. Ein Teil dieses Musters ist in der Aufgabe ausgelassen. Die Testperson muss das jeweilige der Aufgabe zugrunde liegende Prinzip herausfinden, um das Muster mit einer der sechs dargebotenen Antwortalternativen ergänzen zu können. Die Aufgaben werden zunehmend schwieriger. Die Stärke des SPM-Tests liegt darin, dass die Bearbeitung der Aufgaben in der Regel Spaß macht.

Es soll die gesamte kognitive Entwicklung erfasst werden, vom Kind, das begreift, dass es das fehlende Stück einer Figur finden soll, bis zur maximalen Fähigkeit eines Menschen, Vergleiche zu bilden und in Analogien zu denken.

Ziel des Tests

Der Test kann prinzipiell bei vielen Altersgruppen angewendet werden, es stehen aktuelle, repräsentative Altersnormen sowie schultypspezifische Klassenstufennormen der 6- bis 18-Jährigen zur Verfügung. Ausgewertet wurden nur Tests jener Kinder, deren Eltern der Verwendung der SPM-Daten zugestimmt hatten.

Die erreichte Gesamtpunktezahl einer Testperson stellt einen Indikator ihrer kognitiven Fähigkeiten, relativ unabhängig von ihrer Ausbildung und sozio-kulturellen Umwelt, dar. Für den Test stehen aktuelle, repräsentative Altersnormen sowie schultypspezifische Klassenstufennormen zur Verfügung.

Zur Auswertung wurden die Rohwerte entsprechend den Altersnormen in T-Werte umgerechnet. Diese betragen bei einer altersentsprechenden Durchschnittsleistung 50. Die Standardabweichung der T-Werte in der Bezugspopulation ist auf 10 festgelegt.

2.1.2 Lungenfunktion

Es wurden folgende Lungenfunktions-Parameter erhoben:

- **Vitalkapazität (VK):** Maximal mobilisierbares Lungenvolumen, gemessen bei langsamer Einatmung nach vorausgegangener maximaler langsamer Ausatmung.
- **Forcierte Vitalkapazität (FVC):** Nach tiefstmöglicher Einatmung forciert maximal ausatembares Luftvolumen.
- **Forciertes Expirationsvolumen** in einer bzw. einer halben Sekunde (FEV₁, FEV_{0.5}): Das Volumen, das man bei höchster Anstrengung in der ersten bzw. ersten halben Sekunde nach tiefer Einatmung ausatmen kann. Indikator obstruktiver Ventilationsstörungen.

- **Expiratorischer Fluss** bei 25/50/75 % der forcierten Vitalkapazität (MEF25/50/75): Maximale expiratorische Atemstromstärke bei 75/50/25 % im Thorax befindlicher Vitalkapazität (d. h. wenn noch 25/50/75 % der VK auszuatmen sind). Indikator für Strömungsbehinderungen in den mittleren und kleinen Atemwegen.
- **Höchste (Peak) expiratorische Flussrate** (PEF): Der expiratorische Spitzenfluss ist der größte Atemfluss während eines FVC-Manövers. Indikator für Strömungsbehinderungen in den größeren Atemwegen.
- **Maximaler mittexpiratorischer Atemstrom** (MMEF): Der maximale Atemfluss über den Mittelteil der Ausatmung (von 75 bis 25 % des FVC) gemittelt.

Im Rahmen der Analyse von Einflussfaktoren aus der Wohnsituation und Wohnumgebung wurde die Einschätzung des Zustandes der Atemwege durch die Eltern sowie die Variablen ‚pfeifende Atmung‘, ‚trockener Husten‘, ‚Asthma und länger andauernder Husten‘ herangezogen, weil insbesondere diese Parameter eine Beeinflussung durch Umweltfaktoren deutlich anzeigen können.

2.1.3 Fragebogen und Statistik

Der Elternfragebogen basierte auf den bei ISAAC (International Study on Asthma and Allergies in Childhood; ASHER et al. 1995) und AUPHEP (Austrian Project on Health Effects of Particulates; NEUBERGER et al. 2004) verwendeten Fragebögen. Der 9-seitige Fragebogen bestand aus fünf Teilen und erfasste gesundheitliche Beschwerden des Kindes sowie Angaben zu Lebensstil und Wohnumfeld.

Im analytischen Teil der Studie wurden insgesamt 252 Parameter bzw. Schadstoffe in Luft-, Fein- und Hausstaubproben analysiert. Diese Daten wurden einer fundierten statistischen Analyse unterzogen. Zunächst wurden die Mittelwerte und Standardabweichungen der einzelnen Schadstoffe pro Schule gebildet. Die Variation zwischen den Schulen wurde auf die Standardabweichung innerhalb der Schulen bezogen.

Als Bedingung wurde aus Konventionsgründen definiert, dass die Variabilität doppelt so groß zwischen den Schulen wie innerhalb der Schule sein soll. Daraus wurden jene Schadstoffe ermittelt, bei welchen sich die Schulen deutlich unterscheiden.

2.1.4 Biomonitoring

2.1.4.1 Haare und Milchzähne

Die Studie wurde bei der Ethikkommission der Medizinischen Universität Wien eingereicht (EK492/2006).

Haare und Milchzähne zeigen die Belastung des Körpers mit Schwermetallen auf. Sie haben den Vorteil gegenüber anderen Medien (z. B. Blut), nicht invasiv gewonnen werden zu können. Insgesamt wurden 413 Haarproben und 146 Milchzähne (Schneide- oder Backenzähne) gesammelt. Zähne wurden auf Blei und Cadmium untersucht, die Haarproben auf Blei, Cadmium und Quecksilber. Die Kinder erhielten ein Plastiksäckchen zur Aufbewahrung der Milchzähne. Die Lehrkräfte übernahmen das Einsammeln der Zähne sowie die Verteilung der Belohnungen (kleines Spielzeug) an die Kinder.

**statistische
Bewertung der
Messdaten**

**Indikatoren für
Schwermetalle**

Die Probenahme der Haare erfolgte in den Schulen. Mit einer Keramikscherer wurde jeweils eine Haarsträhne (ca. 100 Haare) am Hinterkopf abgeschnitten und in einem Kuvert aufbewahrt. Von jeder Haarprobe wurden die ersten drei Zentimeter (bezogen auf die Abschnittsstelle) verwendet, welche die Exposition der letzten drei Monate widerspiegelt.

2.1.4.2 Asseln

Asseln sind mehrjährige Lebewesen und sehr gute Bioindikatoren für die Hintergrundbelastung mit Schwermetallen. Um den Kindern die Möglichkeit zu geben, im Projekt aktiv mitzuarbeiten, wurden gemeinsam mit ihnen und ihren Lehrern/Lehrerinnen im Schulbereich pro Schule rund 20 Asseln gesammelt. Im Klassenzimmer wurden dann Becherlupen bestückt mit je einer lebenden Assel verteilt, womit die Kinder die Asseln sowohl von der Rückenseite als auch von der Bauchseite inspizieren konnten. Anhand eines Posters wurde erklärt, was Luftverschmutzung ist, wie eine allfällige Verschmutzung in der Umwelt verbreitet wird, und wie Schule und Kinder betroffen sein können.



Abbildung 1: Kinder beim Studium einer Assel über das Okular einer Becherlupe

2.2 Analytischer Teil

Um die Belastung des Innenraums „Schule“ beschreiben zu können, wurden die Innenraummedien Luft, Hausstaub und Feinstaub beprobt und auf eine große Zahl von Schadstoffen analysiert. Dazu wurde Luft (VOC, Aldehyde) über geeignete Absorber-Röhrchen beprobt bzw. Feinstaub (PM₁₀ und PM_{2,5}) an Filtern zur späteren Analytik abgeschieden. Gleichzeitig erfolgte die kontinuierliche Aufzeichnung der CO₂- und Feinstaubkonzentration. Hausstaub wurde nach Übermittlung einer Vorschrift durch die Schulwarte bzw. das Reinigungspersonal durch Staubsaugen gewonnen.

2.2.1 Beprobungen

Eine Messkampagne dauerte jeweils eine Woche pro Schule. In der Regel wurden die Beprobungs-/Messgeräte am Montag aufgestellt, die Probenahme wurde von 0:00 bis 24:00 Uhr MEZ programmiert. Tags darauf wurden die Geräte umgestellt und für 0:00 bis 24:00 Uhr MEZ des folgenden Tages programmiert. Danach wurden die Geräte abgebaut. Eine Ausnahme stellen die NO₂-Passivsammler dar, die für bis zu zwei Wochen an den Messorten verblieben.

Die Probenahme fand – wenn möglich – in Nebenräumen der ersten und zweiten Klassen statt. Wo keine Nebenräume vorhanden waren, wurde in Freizeiträumen bzw. auf dem Gang vor den entsprechenden Klassen gemessen. In allen Fällen wurde angenommen, dass die beprobte Innenraumluft repräsentativ für jene Luft ist, der die Schülerinnen und Schülern während des Aufenthalts in der Schule ausgesetzt sind.

Die erhaltenen Proben wurden im Labor des Umweltbundesamt registriert und gemäß den zu untersuchenden Parametern aufgeteilt. Folgende Parameter wurden in den einzelnen Kompartimenten untersucht:

Tabelle 1: Kompartimente und Parameter.

Luft	Feinstaub	Hausstaub
Aldehyde	EPA Überblicksanalyse	EPA Überblicksanalyse
VOC	PBDE	PBDE
NO ₂	Organozinnverbindungen	Organozinnverbindungen
	Schwermetalle	Schwermetalle
	TOC/EC/OC	REM Untersuchung
	anorgan. Hauptkomp.	

Die Analytik erfolgte mittels high-end Instrumenten (u. a. HPLC-MSMS, GC-MS, GC-HRMS, ICP-MS) nach entsprechend komplexer Aufarbeitung der Proben zur Mess-Aufbereitung. Eine detaillierte methodische Beschreibung befindet sich im Langtext der Studie.

2.2.2 Tagesgang der Feinstaub- und CO₂-Konzentration

Messungen in den Klassenräumen: Feinstaub und ...

Zusätzlich zur Entnahme der Feinstaub-Tagesproben wurden Feinstaubmessungen mit Hilfe eines Aerosolspektrometers direkt in den Klassenräumen durchgeführt, da die Beprobung im Gegensatz zu den Feinstaubsammlern bedeutend leiser ist. Außerdem erfolgte die Messung mittels Aerosolspektrometer jeweils kontinuierlich. Dieses optische Messgerät ermöglicht die Messung der Feinstaubbelastung in hoher zeitlicher Auflösung und erlaubt die Korrelation von Aktivitäten in der Klasse und der Feinstaubbelastung. Die Messung der in der Luft vorhandenen Partikel erfolgte nach dem Prinzip der Lichtstreuung in einer Laser-Messkammer. Dabei wird eine Massenkonzentration in µg/m³ für PM₁₀, PM_{2,5} und PM₁ berechnet.

... Kohlendioxid CO₂

Neben der Konzentration an Feinstaub wurde die Konzentration an CO₂ mit einem kalibrierten Messgerät (BICO Lüftungsampel) kontinuierlich gemessen und aufgezeichnet. Das Messgerät zeichnet den Verlauf der Konzentration auf und zeigt in den Farben der Straßenverkehrsampel an, wann niedrige CO₂-Konzentrationen vorliegen (grün), ein Zwischenstadium erreicht ist (gelb) und sobald dringend gelüftet werden muss (rot).



3 ERGEBNISSE

3.1 Medizinischer Teil

In der vorliegenden epidemiologischen Studie wurden Gesundheitszustand und Lebensumstände von Volksschulkindern mit besonderer Berücksichtigung der Atemwege und der kognitiven Leistungsfähigkeit erhoben. Mögliche Belastungsfaktoren innerhalb der Schule und der Wohnung wurden mit umfangreichen Messungen in der Schule sowie von Bioindikatoren (Haare, Zähne) erfasst bzw. mittels Elternfragebogen erhoben.

Die Beteiligung war insgesamt hoch. Es wurde von 449 Kindern der Elternfragebogen retourniert (Rücklaufquote 75,3 %), bei 433 Schülerinnen und Schülern wurden Lungenfunktionstests (Beteiligungsrates 72,7 %) und bei 436 Kindern kognitive Tests (Beteiligungsrates 73,1 %) durchgeführt. Diese hohe Beteiligung ist auf die intensive Vorbereitung und Kommunikation mit den Verantwortlichen in den Schulen zurückzuführen. Weiters fühlten sich die Eltern offenbar durch die Thematik auch unmittelbar angesprochen.

hohe Beteiligungsquote

Die Beteiligung war bei Buben und Mädchen und auch in den verschiedenen Schulstufen in etwa gleich hoch. Man kann daher davon ausgehen, dass die Ergebnisse nicht durch einen Selektionseffekt verzerrt wurden.

3.1.1 Beschreibung der Kinder und ihres Gesundheitszustandes

Es wurden 225 Buben und 224 Mädchen in die Untersuchung eingeschlossen. Die Kinder waren zwischen 5 und 9 Jahre alt (Durchschnittsalter 7 Jahre). Rund 86 % leben in städtischer, 14 % in ländlicher Umgebung.

Insgesamt 2,2 % der Kinder hatten in der Vergangenheit nach Angaben der Eltern Anfälle von Lungenasthma. In Übereinstimmung mit epidemiologischen Studien in Industrieländern war die Krankheitshäufigkeit (Prävalenz) bei Buben höher als bei Mädchen (4,0 % zu 0,5 %), insgesamt aber deutlich geringer als in anderen Untersuchungen (z. B. ISAAC-Studien; ASHER et al. 1995). Das geht darauf zurück, dass die oben angegebene Prävalenz von 2,2 % nur die spezifische Diagnose „Lungenasthma“ als solche berücksichtigt und nicht die Bewertung der Gesamtheit der Symptome. Denn zusätzlich wurde eine Reihe von respiratorischen Symptomen erhoben, die Rückschlüsse auf eine Entwicklung von Lungenasthma erlauben. Dazu gehören Fragen zu pfeifender Atmung, Schwierigkeiten beim Atmen (nachts), lang andauerndem Husten etc. Nimmt man diese Angaben als Hinweise für die Entwicklung einer chronisch-entzündlichen Atemwegserkrankung, dann steigt die Zahl der Kinder, die solche Symptome in der Vergangenheit aufwiesen, auf über 10 % an. Diese Zahl stimmt mit der Asthmaprävalenz, wie sie aus Industrieregionen bekannt ist, besser überein.

Lungenkrankheiten

Laut Elternangaben wiesen etwa 18 % der Kinder eine oder mehrere Allergien auf. In etwa einem Viertel dieser Fälle wurde eine Allergiebehandlung durchgeführt, bei fast allen wurde mittels Haut- oder Bluttest eine Allergieuntersuchung durchgeführt. Allergie auf Blütenstaub und Pollenallergien waren die am häufigsten genannten Allergieformen (6,0 %), gefolgt von Nahrungsmittelallergien (4,3 %) und Allergien auf Tierhaare (3,4 %) (Buben häufiger als Mädchen).

Allergien

Rund 58 % der Kinder waren in den letzten drei Monaten laut Eltern verkühlt. Bei rund 4 % hielt die Verkühlung länger als 4 Wochen an.

Atemwegsinfekte

Laut Eltern waren rund 50 % der Kinder mindestens einmal bereits an einer Mittelohrentzündung erkrankt. Etwa 10 % hatten schon einmal eine Lungenentzündung und 3 % Heuschnupfen.

Im Fragebogen schätzten die Eltern den Zustand der Atemwege (letzte drei Monate) ihrer Kinder ein. Der Zustand der Atmungsorgane (bezogen auf die letzten vier Wochen) des Kindes wurde von fast zwei Drittel (64,7 %) mit „sehr gut“ bzw. „gut“ (24 %) eingeschätzt.

3.1.2 Wohnsituation und Wohnumgebung

**rund 50 %
Raucherhaushalte**

Etwas mehr als die Hälfte der Kinder lebt mit Rauchern im gemeinsamen Haushalt (50,9 %). Am geringsten ist der Anteil der Kinder, die mit Rauchern zusammenleben, in Schule 9 (37,8 %), der höchste Anteil wurde in Schule 2 ermittelt (78,8 %). Es zeigen sich signifikante Unterschiede bei allen Indikatoren des Passivrauchens aktuell und während Schwangerschaft, Stillzeit und der ersten Lebensjahre des Kindes.

**Feuchtigkeit und
Schimmel**

Schimmelbefall oder Feuchtigkeitflecken wurden in etwa einem Viertel der Haushalte von Eltern berichtet. Es bestand kein signifikanter Unterschied im Auftreten von Schimmel zwischen den Untersuchungsgebieten.

Bei der Heizform dominieren Zentralheizungen (84,1 %). Bezüglich der eingesetzten Energieform wird Fernwärme am häufigsten in den Wohnungen der Kinder aus Schule 2 (73 %) eingesetzt, Holz am häufigsten bei Kindern der Schule 8 (19 %). Die neun Schulen unterscheiden sich hinsichtlich der Energieform und Art der Herde zum Kochen hoch signifikant ($p < 0,001$).

**unterschiedliche
Einschätzung der
Luftqualität**

Die Luftqualität wurde im Wohngebiet der Kinder der Schule 8 am besten (in 95,8 % als sehr bzw. eher zufriedenstellend) und der Schule 1 am schlechtesten beurteilt (in 57,4 % als sehr bzw. eher zufriedenstellend). Die vier Gebiete (Wien/St. Pölten/Graz/Kärnten) unterschieden sich hinsichtlich der Einschätzung der Luftqualität signifikant.

Das Verkehrsaufkommen wurde bei Schule 2 in fast 48,5 % als stark beurteilt (Wohnung an stark befahrenen Straßen). In den anderen vier Städten war der Prozentsatz geringer.

3.1.3 Kognitiver Test

3.1.3.1 Schadstoffbelastung – kognitive Leistungsfähigkeit

Der Test von insgesamt 436 Kindern (225 Kinder aus der ersten und 211 Kinder aus der zweiten Schulstufe) wurde ausgewertet. Bei den Testergebnissen konnte kein signifikanter Unterschied zwischen den Geschlechtern (jeweils 218 Mädchen und Buben) festgestellt werden.

Im Vergleich mit der relevanten SPM-Normstichprobe (siehe Kapitel 2.1.1) lagen 22,0 % ($n = 96$) der SchülerInnen unter, 71,1 % ($n = 310$) im und 6,9 % ($n = 30$) über dem Durchschnitt.



Analog zu den Analysen hinsichtlich der Lungenfunktion wurde der Zusammenhang der T-Werte der SPM mit den Mittelwerten der ausgewählten Schadstoffe untersucht. Die Analysen ergaben signifikante Korrelationen zwischen Tris(2-chlor-ethyl)phosphat (TCEP) in den Filterproben (PM₁₀, PM_{2,5}) sowie im Hausstaub mit den T-Werten des SPM-Tests. Mit Zunahme der TCEP-Konzentrationen korrelierte eine Abnahme der durchschnittlichen kognitiven Leistung. Weitere Einflussfaktoren (z. B. Fernsehkonsum, mangelnde Förderung,...) auf die kognitive Leistungsfähigkeit konnten in der Analyse allerdings nicht berücksichtigt werden, weshalb dieses Ergebnis nicht als Kausalzusammenhang zu sehen ist.

Einflüsse auf die Leistungsfähigkeit festgestellt

TCEP ist in Innenräumen weit verbreitet anzutreffen. SAGUNSKI et al. (1997) wiesen TCEP in fast allen Hausstaubproben von 59 untersuchten Wohnungen nach (Median 1 µg/g, 95. Perzentil 8 µg/g; Bestimmungsgrenze 0,1 µg/g). In Innenräumen mit spezieller Ausstattung wie z. B. TCEP-beschichteten Schallschutzplatten wurden höhere Werte gemessen: Beispielsweise fanden sich in zwölf Schulen und zwei Kindertagesstätten mit TCEP-beschichteten Akustikdecken TCEP-Konzentrationen im Hausstaub (Altstaub) bis 2.200 µg/g (HANSEN et al. 2000).

Der höchste Mittelwert im Hausstaub, der in einer Wiener Schule nachgewiesen wurde, betrug 21,5 µg/g und liegt demnach weit über dem 95. Perzentil der oben genannten Untersuchung (SAGUNSKI et al. 1997).

Toxikologische Daten zu TCEP beschränken sich auf tierexperimentelle Studien. TCEP schädigt vor allem das Nervensystem und die Niere. TCEP weist außerdem ein reproduktionstoxisches Potenzial auf. Beobachtungen am Menschen oder epidemiologische Untersuchungen zur Wirkung von TCEP liegen nicht vor.

Für die Interpretation der vorliegenden Studie sind v. a. die Hinweise auf die neurotoxische Wirkung von TCEP von Bedeutung. Bei hohen Dosen wurden im Tierversuch Effekte auf die Aktivität der Serum-Acetylcholinesterase mit Effekten in der Hippokampusformation¹ beobachtet (TILSON et al. 1990). In einem weiteren Versuch wurde der Einfluss von TCEP auf die Lernfähigkeit erwachsener weiblicher F344-Ratten geprüft. Drei Wochen nach einmaliger Gabe von 275 mg TCEP/kg Körpergewicht (KG) per Schlundsonde zeigten sich bei zwei von neun Tieren signifikante Verschlechterungen der räumlichen Gedächtnisleistung. Signifikante Verschlechterungen in zwei von vier Tests fielen bei der Anwendung des erworbenen Wissens auf. Da der Hippokampus am Lernen und an der Gedächtnisentwicklung beteiligt ist, vermuten die Autoren einen Zusammenhang der gefundenen Lern- und Gedächtnisstörungen mit den histologisch belegten Schädigungen im Hippokampus (TILSON et al. 1990).

neurotoxische Effekte durch TCEP

Obwohl der Querschnittscharakter der vorliegenden Untersuchung keine unmittelbare kausale Interpretation zulässt, sind alle in dieser Studie beobachteten Zusammenhänge von Schadstoffen in Luft, Schweb- und Hausstaub mit der Lungengesundheit und den kognitiven Leistungen aufgrund allgemeiner toxikologischer Überlegungen sowie der Ergebnisse von Tierversuchen und epidemiologischen Untersuchungen plausibel.

¹ Hippokampus: Gehirnteil, relevant für die Gedächtnisverarbeitung

3.1.4 Lungenfunktion

3.1.4.1 Ergebnisse der Staub- und Luftmessungen in den Schulen – Atemwegssymptome

Für die weiteren statistischen Analysen wurden aus 252 Parametern jene Schadstoffe ausgewählt, deren Konzentration sich zwischen den Schulen deutlich unterschied (siehe Kapitel 2). Eine Übersicht über diese Stoffe findet sich in Tabelle 2.

Es zeigten sich keine bedeutsamen Zusammenhänge zwischen den ausgewählten Schadstoffen (Mittelwerte) und der Einschätzung der Atmungsorgane der Kinder in den letzten drei Monaten durch die Eltern.

Die Konzentration der Schadstoffe Ethylbenzol, m,p-Xylol, o-Xylol und TDCPP (PM₁₀, PM_{2,5}) korrelierten mit den Volumswerten (FVC, FEV₁). Zwischen der Konzentration der Schadstoffe Formaldehyd, Benzylbutylphthalat und PBDE 196 fanden sich Zusammenhänge mit den Flusswerten (MEF₇₅, MEF₅₀).

3.1.4.2 Wohnsituation: Atemwegssymptome und Lungenfunktion

Die Messung der Lungenfunktion mit Hilfe der Spirometrie einerseits sowie die Befragung der Eltern über die Lungengesundheit andererseits erlaubt es, die mittel- und langfristigen Einflüsse auf den unterschiedlichen Stufen der Krankheitsentwicklung zu beurteilen. Dabei sind chronische Wirkungen an der Gestalt der Fluss-Volumenkurve abzulesen, können sich aber auch in den Volumenswerten (FVC, FEV₁) niederschlagen. Die klinischen Begleiterscheinungen, die andauernd oder nur intermittierend vorhanden sein können, lassen sich aber nur sinnvoll durch die Befragung der Eltern ermitteln. So ergänzen die erhobenen Daten einander gegenseitig.

Einfluss von Schimmel auf Lungenfunktion

Schimmel: Von allen Einflussgrößen der Wohn- und Lebenssituation eines Kindes zeigte lediglich Schimmel in der Wohnung einen signifikanten Zusammenhang mit der Einschätzung der Lungengesundheit durch die Eltern. Schimmel in der Wohnung zeigte auch bei den Lungenfunktionsparametern (v. a. MEF₂₅) eine Korrelation mit vermindertem Fluss. Der Befund steht im Einklang mit den Erwartungen, da der Effekt bei Exposition gegenüber Schimmelsporen sich oft zunächst in den kleinen Atemwegen ("small airway disease") niederschlägt.

Die negativen gesundheitlichen Auswirkungen von Schimmel auf die kindliche Gesundheit sind wissenschaftlich hinreichend belegt (ETZEL & RYLANDER 1999). In der vorliegenden Studie wurde von rund einem Viertel bis etwa einem Drittel der Haushalte in den verschiedenen Regionen über Schimmelbefall oder Feuchtigkeitsflecken berichtet. Die Anzahl der exponierten Kinder ist daher als hoch anzusehen.

Passivrauchen vermindert Lungenfunktion

Passivrauchen: Die Anzahl der gerauchten Zigaretten pro Tag zu Hause korreliert signifikant mit einer Verminderung der Lungenfunktion (MEF₂₅, MMEF). Dieser Zusammenhang – Auswirkungen v. a. auf die kleinen Atemwege – ist plausibel und wurde auch bereits in anderen Studien gefunden (COOK et al. 1998, GILLILAND et al. 2000, MANNINO et al. 2001, MOSHAMMER et al. 2006).

Stillen und Stildauer lassen einen günstigen Einfluss auf die beobachtete Lungenfunktion erkennen, obwohl die Kinder zumeist bereits sechs Jahre oder älter waren. Dies unterstreicht die Nachhaltigkeit der Wirkung des Stillens auf die Entwicklung der kindlichen Lunge (GILBERT et al. 2007).

Stillen fördert Lungenfunktion

Insgesamt sprechen diese Ergebnisse dafür, dass einzelne Faktoren aus der Wohn- und familiären Umwelt einen bedeutenden Einfluss auf die respiratorische Gesundheit der Kinder haben. Diese können von den Eltern maßgeblich mitbestimmt werden.

3.1.4.3 Schulumwelt: Atemwegssymptome und Lungenfunktion

Für die weiteren statistischen Analysen wurden jene Schadstoffe ausgewählt, deren Konzentration sich zwischen den Schulen deutlich unterschied. Darunter fanden sich im Wesentlichen aromatische und aliphatische Kohlenwasserstoffe, Terpene und Formaldehyd in der Luft sowie im Schweb- und Hausstaub polyaromatische Kohlenwasserstoffe, Trisphosphate, Phthalate und Polybromierte Diphenylether.

Da die Schadstoffmessungen in den einzelnen Schulen als repräsentativ für die Gesamtheit der untersuchten Kinder der jeweiligen Schulen gelten können, kann keine Analyse des Zusammenhangs mit Ergebnissen von Einzelpersonen vorgenommen werden. Deshalb sind – gleichgültig wie hoch und auffällig einzelne Messwerte sind – nur jene Schadstoffe von Interesse, die eine deutliche Streuung zwischen den Schulen zeigen, weil nur sie etwaige Unterschiede in der Lungengesundheit der Kinder begründen können. Während viele der gemessenen Parameter durchaus Wirkungen auf die Lungenfunktion haben können, sind im Rahmen der Studie also nur jene Wirkungen feststellbar, die auf Unterschieden zwischen den Schulen beruhen.

Tabelle 2: Schadstoffe, welche sich in der nachgewiesenen Konzentration zwischen den Schulen deutlich voneinander unterscheiden.

Luft	Feinstaub (PM10)	Feinstaub (PM2,5)	Hausstaub
Ethylbenzol	TCEP	TCEP, TDCPP	Octylphenol
o-Xylol	Phenanthren	Phenanthren	Benzylbutylphthalat
m,p-Xylol	Pyren	Pyren	TCEP
n Nonan	Benzo(a)pyren	Benzo(a)pyren	Nikotin
n Dekan	Indeno(1,2,3-cd)pyren	Indeno(1,2,3-cd)pyren	PBDE # 196
α- u. β-Pinen	Dibenzo(a,h)anthracen	Dibenzo(a,h)anthracen	Monobutylzinn Kation
Formaldehyd	Benzo(g,h,i)perylene	Benzo(k)fluoranthren	-
-	-	Kalzium	-

TCEP: Tris(2-chlorethyl)phosphat; TDCPP: Tris(1,3-dichlor-2-propyl)phosphat; PBDE: Polybromierte Diphenylether

Es konnten keine signifikanten Zusammenhänge zwischen den Konzentrationen der ausgewählten Schadstoffe und der Einschätzung des Zustands der Atmungsorgane der Kinder in den letzten drei Monaten durch die Eltern gefunden werden. Hingegen wurden Korrelationen der Konzentrationen einiger Stoffe mit Lungenfunktionsparametern ermittelt:

Lungenfunktion und Luftschadstoffe korrelieren

Die Konzentrationen der Schadstoffe Ethylbenzol, m,p-Xylol, o-Xylol und TDCPP korreliert mit den Volumswerten (FVC, FEV1). Zwischen den Konzentrationen von Formaldehyd, Benzylbutylphthalat und PBDE 196 fanden sich Korrelationen mit den Flusswerten (MEF75, MEF50).

Formaldehyd

Diese Zusammenhänge sind zunächst wegen des Querschnittscharakters der Untersuchung nicht als kausal zu betrachten. Dennoch ist ein Zusammenhang zwischen einzelnen Schadstoffen und der Verminderung der Lungenfunktion in manchen Fällen plausibel. Beispielsweise lagen für Formaldehyd die höchsten Messwerte mit rund $140 \mu\text{g}/\text{m}^3$ oberhalb des vom Lebensministerium vorgeschlagenen Richtwertes von $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (= WHO Kurzzeitmittelwert). Dieser Wert wurde an einer einzigen Schule gemessen, wobei die maximalen Ausatemungsflüsse gerade in dieser Schule auch deutlich niedriger als in allen anderen Schulen waren. Auch die Auswirkungen v. a. in den oberen Atemwegen (und deutlich geringer auf die kleineren Atemwege) spricht in diesem Fall für einen kausalen Zusammenhang. Darüber hinaus zeigen auch die übrigen Schulen einen in diesem Sinn ausgeprägten Trend.

Phthalate

Auch bei den Konzentrationen eines Weichmachers (Benzylbutylphthalat) wurden signifikante Zusammenhänge mit der Lungenfunktion gefunden. Hinsichtlich der Auswirkungen von Phthalaten auf die Gesundheit stehen Beeinträchtigungen der Fortpflanzungsfähigkeit und hormonelle Wirkungen im Vordergrund. DEHP führt im Tierversuch u. a. zu Hodenschädigungen und wurde auf Grundlage der vorhandenen tierexperimentellen Studien von der EU als „fortpflanzungsgefährdend“ eingestuft. Einige Studien (BORNEHAG et al. 2004) befassten sich mit den Auswirkungen auf die Lungenfunktion bzw. mit möglichen entzündlichen Effekten bei Einatmung. So zeigte sich u. a. ein deutlicher Zusammenhang zwischen Phthalat-Konzentrationen (u. a. DEHP) im Hausstaub von Kinderzimmern und dem Auftreten von Asthma, Hautekzemen und Katarrhen der Nasenschleimhaut bei den betroffenen Kindern. Der Einsatz unterschiedlicher Weichmacher in einer Vielzahl von Produkten bringt es mit sich, dass in unterschiedlichen Lebensräumen die Spektren vorhandener Phthalate unterschiedlich sind. Was die biologischen und gesundheitlichen Wirkungen betrifft, kann man derzeit nicht für alle Phthalate eine Aussage treffen. Zusammenhänge mit Metaboliten von Benzylbutylphthalat im Harn mit der Lungenfunktion wurden bereits früher beschrieben (HOPPIN et al. 2004).

Lösungsmittel

Auch von Lösungsmitteln sind Effekte auf die Atemwege bekannt. Eine Wirkung auf die Volumswerte der Atmung ist bei beruflich exponierten Personen beobachtet worden. Der Mechanismus, durch den diese flüchtigen Verbindungen auf die Lungenfunktion wirken, wird als komplex angenommen.

3.1.5 Biomonitoring

3.1.5.1 Schwermetallexposition der untersuchten Schulkinder

Blei-, Cadmium- und Quecksilberbelastung

Kinder der Schule 4 wiesen signifikant höhere Haar-**Bleiwerte** auf als Kinder an anderen Schulstandorten ($P < 0,001$). Kinder der Schule 8 zeigten die geringste Belastung. Am Schulstandort 7 wurden die höchsten, in Schule 8 die niedrigsten mittleren Konzentrationen gemessen. Die höchsten Werte in Haaren ($5,3 \text{ mg}/\text{kg}$) und Zähnen ($34 \text{ mg}/\text{kg}$) wurden jeweils in Kindern der Schule 4 gefunden.

Die höchsten **Cadmiumwerte** in Haaren zeigten Kinder in Schule 4, die geringste Cadmiumbelastung wurde in Schule 5 beobachtet ($P < 0,001$). Maximalwerte wurden in Schule 2 (Haare) bzw. Schule 6 (Zähne) beobachtet. Hingegen zeigten die Cadmiumgehalte in Zähnen keine statistisch signifikanten Unterschiede an neun Schulstandorten ($P > 0,05$).

Auch die **Quecksilbergehalte** im Haar variierten in Abhängigkeit vom Schulstandort ($P = 0,043$), wobei die höchste mittlere Belastung in Kindern der Schule 3, die niedrigste in Kindern der Schule 5 gemessen wurden. Die höchsten Werte wurden an den Schulstandorten 6 und 7 beobachtet.

3.1.5.2 Einflussfaktoren der Schwermetallbelastung

Es zeigte sich, dass die Schwermetall-Exposition in Schulen und die Belastung der untersuchten Kinder primär nicht korrelierten. Der Beitrag der schulspezifischen Schwermetall-Exposition zur Gesamtbelastung der Kinder zeigte keinen signifikanten Zusammenhang. Aufgrund der Analyse der statistischen Daten zeigt sich, dass Jungen die Bleibelastung am Schulstandort eher widerspiegeln als Mädchen.

**kein unmittelbarer
Zusammenhang
erkennbar**

Eine toxikologische Bewertung der Schwermetallbelastung der untersuchten Schulkinder ist insofern schwierig, als kaum Referenzwerte oder Richtlinien zu Metallgehalten in Haaren und Zähnen existieren. Im Rahmen dieser erstmalig in Österreich durchgeführten Screening-Studie mit Kindern im Volksschulalter wurde auf eine invasive Probenahme (Blutproben) oder eine wenig praktikable Probenahme (Urinproben) zugunsten einer möglichst großen Stichprobe verzichtet.

Eine Gegenüberstellung mit internationalen Daten weist auf eine vergleichsweise niedrige Schwermetallbelastung der untersuchten Kinder hin, was auf die insgesamt niedrige Hintergrundbelastung in Österreich zurückzuführen ist. Der Median der Bleiwerte im Haar betrug bei Jungen 848 $\mu\text{g}/\text{kg}$, bei Mädchen 401 $\mu\text{g}/\text{kg}$. Haarbleiwerte über 5.000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ werden als erhöhte Werte betrachtet (SANNA et al. 2003), dieser Wert wurde von zwei Kindern geringfügig überschritten (0,5 %); kritische Werte über 9.000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ wurden nicht erreicht. Einzelne Kinder wiesen sehr hohe Zahn-Blei-Gehalte auf, dies lässt auf eine chronische Belastung während der ersten sechs bis acht Lebensjahre schließen. Quecksilbergehalte im Haar, die über 1.000 $\mu\text{g}/\text{kg}$ liegen, weisen auf eine erhöhte Exposition während der letzten drei Monate hin; dieser Wert wurde von sieben Kindern bzw. 2 % der Untersuchten überschritten (BEGEROW et al. 1994, WILHELM et al. 1994, EWERS et al. 1996, CIKRT et al. 1997, KREJPDO et al. 1999, STRUMYLAITE 2000, TVINNEREIM et al. 2000, BAYO et al. 2001, PESCH et al. 2002, SANNA et al. 2003, MCDOWELL et al. 2004, KOMMISSION HBM 2005, OZDEN et al. 2007).

**vergleichsweise
geringe Belastung
an Schwermetallen**

Die Schwermetall-Exposition der untersuchten Schulkinder variierte stark zwischen den Standorten. Dies dürfte nur in Bezug auf die Bleibelastung von Jungen auch auf die schulspezifische Exposition zurückzuführen sein. Die Blei-Expositionsdaten der Mädchen zeigten keine Korrelationen mit den Umweltkonzentrationen an den Schulstandorten. Studien an Erwachsenen belegen, dass die Blei-Exposition von Männern zu 95 %, die der Frauen hingegen nur zu 60 % von Umweltfaktoren bestimmt wird (BJÖRKMAN et al. 2000). Inwieweit solche Ergebnisse auf die Belastungssituation von Kindern übertragbar sind, wurde noch nicht untersucht.

**maßgebliche
Schwermetall-
quellen außerhalb
der Schulen**

Die hauptsächlichen Belastungsquellen für Schwermetalle liegen außerhalb der Schulgebäude. Sie betreffen einerseits die Ernährungsgewohnheiten der Kinder, was plausibel ist, da viele Nahrungsmittel (Fisch, Gemüse, Pilze, Innereien) höhere Mengen an Schwermetallen aufweisen können. Ein Faktor war durchgängig mit erhöhten Blei-, Cadmium- oder Quecksilbergehalten der Kinder assoziiert: die subjektive Unzufriedenheit der Eltern mit der Luftqualität am Wohnort spiegelt möglicherweise reale Belastungsszenarien wider.

Gender-Faktor

Die Blei- und Cadmium-Exposition der Kinder wurde maßgeblich durch den Geschlechter-Faktor 'Gender' bestimmt. Die Jungen weisen im Mittel etwas mehr als doppelt so hohe Blei- und Cadmiumbelastungen auf wie Mädchen. 'Gender' ist ein Surrogatfaktor, der biologische und sozio-kulturelle Einflussgrößen subsumiert. Die durchwegs höhere Belastung von Jungen wird damit erklärt, dass diese durch ihr spezifisches Spiel- und Freizeitverhalten mehr Kontakt mit kontaminierten Böden oder Staub haben (DE FREITAS et al. 2007). Ein weiterer wichtiger Faktor für erhöhte Blei-Exposition war das Baujahr des Wohnhauses. Je älter das Baujahr, desto höher die Bleibelastung der Kinder, was darauf zurückzuführen sein dürfte, dass bleihaltige Trinkwasserverrohrungen in neueren Häusern nicht mehr vorkommen.

**kognitive
Leistungsdefizite
durch
Bleibelastung?**

In den letzten Jahren mehren sich die Befunde, die dafür sprechen, dass jegliche Bleibelastung der Kinder zu kognitiven Defiziten führt (MARGAI & HENRY 2003, WIGLER & LANPHEAR 2005). Dies könnte insbesondere Jungen betreffen, da diese Blei in höherem Ausmaß anreichern, bei kognitiven Leistungstests häufiger schlechter abschneiden als Mädchen (LANPHEAR et al. 2000, FROELICH et al. 2007) und insgesamt deutlich häufiger von Lernschwächen und ADHS (Aufmerksamkeitsdefizit/Hyperaktivitätsstörung) betroffen sind als Mädchen. Bleibelastungen der Kinder sollten daher weitestgehend vermieden bzw. reduziert werden.

Die Quecksilberbelastung der Kinder differierte in Abhängigkeit von den verschiedenen Standorten ebenfalls. Der Verzehr von Fischen und Meeresfrüchten stellte die hauptsächliche Ursache für erhöhte Quecksilberbelastungen dar. Auch die Schulbildung der Eltern war ein signifikanter Prädiktor² für die Quecksilber-Exposition der Kinder. Dies könnte mit den unterschiedlichen Ernährungsgewohnheiten von Eltern mit unterschiedlicher Schulbildung erklärt werden. So verzehren beispielsweise Kinder von Eltern mit höherer Schulbildung signifikant häufiger Fisch und Meeresfrüchte als Kinder von Eltern mit niedrigerer Schulbildung (KNOBELOCH et al. 2005, GUNDAKER et al. 2006).

**Bleirohre weiterhin
Belastungsquelle**

Die Analyse der SPM Testergebnisse in Zusammenhang mit der Schwermetall-Exposition der Kinder brachte keine Korrelation. Kinder, in deren Wohnhäusern Bleirohre installiert sind, schnitten jedoch signifikant schlechter ab als Kinder, für die keine solche Exposition vorliegt. Die Messung von Blei im Haar hat den Vorteil, bei Kindern nicht invasiv Proben gewinnen zu können. Die Validität von Blei im Haar als Expositionsmarker ist zurzeit nicht geklärt (BARBOSA et al. 2005). Die Diagnose bleibedingter Schädigungen erfolgt in der Regel aus Blutanalysen.

² Prädiktor: in der Statistik herangezogene Variable zur Vorhersage eines Merkmals



3.1.6 Kinderprojekt Asseln

Die Ergebnisse der Schwermetalluntersuchungen von Asseln bestätigen, dass diese als Bioindikatoren für Umweltbelastungen sehr gut geeignet sind, da sie Metalle in hohem Maße anreichern können. Dies ist im Wesentlichen auf ihre Ernährungsweise und die hohe Speicherkapazität im Mitteldarmdrüsengewebe zurückzuführen. Darüber hinaus variierten die Metallgehalte in Abhängigkeit vom Standort, was auf eine unterschiedlich starke Hintergrundbelastung des Bodens bzw. der Vegetation an den jeweiligen Standorten schließen lässt. Die höchsten Messwerte der Metall-Exposition wurden in Schule 1 (Blei), Schule 6 (Cadmium) und Schule 9 (Quecksilber) erhalten.

Tabelle 3: Mittelwerte und Median der Blei, Cadmium- und Quecksilbergehalte in Asseln.

	Schwermetallgehalte (µg/kg)		
	Pb	Cd	Hg
Mittelwert	3.825	1.486	240
Median	2.504	1.228	189

Staubniederschlag- und Hausstaubwerte zeigen, dass in der Umgebung von und in Schule 1 (teilweise auch in Schule 9) die Bleibelastung am höchsten ist, was auch von den Tieren reflektiert wird. Allerdings korrelieren die Bleigehalte im Schulstaub und in den Asseln nicht signifikant. Ein ähnliches Bild ergab sich für Cadmium, hier fiel Schule 3 mit den zweithöchsten Cadmiumwerten im Hausstaub und Höchstwerten in Asseln auf. Für Quecksilber konnte keine Korrelationen abgeleitet werden.

Insgesamt weisen die Ergebnisse zur Assel *Porcellio scaber* darauf hin, dass die unterschiedliche Schwermetallbelastung an den Schulstandorten schon seit längerem besteht, da es sich bei den Asseln um mehrjährige Lebewesen handelt, wobei allerdings nicht die Lebenszeit, sondern die biologische Halbwertszeit der Schwermetalle in Asseln maßgeblich in Betracht zu ziehen ist.

Das Assel-Monitoring kann wertvolle Zusatzinformationen zum Belastungsszenario an ausgewählten Standorten liefern. Allerdings zeigen diese Daten nur einen Teil der Exposition der Schulkinder an diesen Standorten an, da vielfach andere Faktoren (Wohnungssituation, Ernährung) maßgeblichen Einfluss auf die Gesamtexposition haben und nicht die Hintergrundbelastung am jeweiligen Schulstandort.

**Asseln reflektieren
Hintergrund-
belastung**

3.2 Analytischer Teil

3.2.1 Analytische Ergebnisse

Gemessene Parameter:

- VOC und Aldehyde
- NO₂ aus Passivsammlern
- Tagesgang Feinstaub
- CO₂
- EPA Überblicksanalyse (mit deren Untergruppierungen)

- PBDE
- Organozinnverbindungen (OZinn)
- Schwermetalle (SM)
- TOC/EC/OC
- anorgan. Hauptkomponenten

Da es für Innenraumschadstoffe nur wenige gesetzliche Grenzwerte gibt, ist es wichtig, andere Kriterien zur Bewertung der gemessenen Konzentrationen im Hinblick auf eine Gefährdung der BewohnerInnen zur Verfügung zu haben.

Orientierungswerte für Innenraum- schadstoffe

Die von der Arbeitsgemeinschaft Ökologischer Forschungsinstitute AGÖF publizierten Orientierungswerte sind **keine** toxikologisch begründeten Orientierungswerte. Sie basieren auf einer statistischen Auswertung gemessener Werte und umfassen Hintergrundwert (10. Perzentil), Normalwert (50. Perzentil) und Auffälligkeitswert (90. Perzentil). Der Auffälligkeitswert beschreibt eine Überschreitung von in Innenräumen üblichen Werten und legt das Vorhandensein einer Quelle dar. Generell empfiehlt sich bei Identifikation von auffälligen Werten eine Kontrollmessung, was im Rahmen dieses Projektes aber nicht durchführbar war.

3.2.2 Ergebnisse Flüchtige Organische Verbindungen (VOC) und Aldehyde

Aus den Ergebnissen der Luftmessungen lassen sich folgende Aussagen treffen:

Bei fast allen Parametern wurden von allen 36 Proben Messwerte über der Bestimmungsgrenze (BG) festgestellt. Ausnahmen stellen die nachfolgenden chemischen Verbindungen dar (die Anzahl der Messwerte über der Bestimmungsgrenze in Klammern):

- Trichlorethan (8)
- Trichlormethan (1)
- Tetrachlorethan (4)
- Isopropylacetat (0)
- Benzophenon (3)
- Propionaldehyd (7)
- Pentanal (10)
- Heptanal (1)
- Octanal (1)
- Dekanal (2)



Weiters wurden bei folgenden Parametern Überschreitungen der Auffälligkeitswerte der AGÖF identifiziert (siehe Tabelle 4). In der weiteren Diskussion bezieht sich die Bezeichnung „Auffälligkeitswert“ auf die AGÖF-Bewertung (AGÖF 2007):

Tabelle 4: Anzahl der Überschreitungen der Konzentrationen von VOC und Aldehyden im Vergleich zu den Orientierungswerten der AGÖF.

Parameter	Anzahl der Konz. > AGÖF-Auffälligkeitswert
iso-Propanol	1
n-Butanol	3
n-Hexan	1
Cyclohexan	3
Methyl-Cyclohexan	2
n-Heptan	1
n-Dekan	12
α -Pinen	2
β -Pinen	1
Limonen	1
Ethylacetat	4
Acetophenon	22
Nonanal	1
Formaldehyd	4 (alle Schule 2)

Ein Vergleich der gemessenen Konzentrationen einiger ausgewählter Verbindungen mit Ziel- und Richtwerten ist in Tabelle 5 dargestellt:

Tabelle 5: Vergleich mit Ziel- und Richtwerten ausgewählter Verbindungen

Parameter	Maximum (Median) dieser Studie	Ziel- u. Richtwerte (Quelle)
Benzol	2,9 (1,15) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Aktionswert, IRK 1996)
Styrol	6,7 (0,8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WIR-Langzeitwert, BMLFUW 2006)
		10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WIR-Kurzzeitwert, BMLFUW 2006)
		70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO 2000)
Toluol	13,2 (5,5) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WIR, BMLFUW 2006)
		260 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (WHO 2000)
Formaldehyd	136 (29,8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24h Mittelwert, BMLFUW 2008)
		100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Kurzzeitmittelwert, BMLFUW 2006, WHO 2000)

Selbst die gemessenen Maximalwerte für Toluol, Benzol und Styrol liegen teilweise weit unter den angeführten Vergleichswerten. Einzig die Werte für Formaldehyd liegen über den Orientierungswerten des Lebensministeriums und der WHO (siehe Tabelle 5). Die Überschreitungen wurden in einer Schule festgestellt (Schule 2). Eine erneute Untersuchung des Innenraums wäre zielführend, um abzuklären, ob es sich um eine dauerhafte Belastung handelt.

3.2.3 Ergebnisse NO₂

NO₂-Werte unter Richtwerten

NO₂ wurde als Tracer für Emissionen aus dem Verkehr gemessen. In allen Schulen wurden Werte über der Bestimmungsgrenze (BG) ermittelt. Dennoch liegen die Werte in einem relativ engen Bereich von 8,7 bis 28 µg/m³ (als Mittelwert über 4–14 Tage Exposition). Sie zeigen, dass die Innenraumlufte durch die Luft der Schulumgebung beeinflusst ist, so sich keine ernst zu nehmenden Emissionsquellen in der Schule befinden (Rauchen bzw. offene Flammen). Die Werte liegen deutlich unter dem Richtwert der Ad-hoc-Arbeitsgruppe der Innenraumluftekommission von 60 µg/m³ (IRK 1998b).

Messungen von NO₂ in zwei Wiener Schulen, sowohl mit kontinuierlichen Messgeräten als auch mit Passivsammlern (UMWELTBUNDESAMT 2007) zeigten ein vergleichbares Bild. Die Mittelwerte über eine zweiwöchige Messperiode im Mai/Juni 2006 lagen bei rund 15 bzw. 24 µg/m³ im Gangbereich der beiden Schulen. Passivsammlermessungen in einem Raum direkt neben einer stark befahrenen Straße ergaben rund 43 µg/m³. Es konnte in jener Studie gezeigt werden, dass der Konzentrationsverlauf von NO₂ im Inneren der Schulen klar jenem in der Außenluft folgte.

3.2.4 Feinstaub

Die Filterproben mit PM₁₀ und PM_{2,5} wurden in einer Überblicksanalyse auf ihre organischen und anorganischen Inhaltsstoffe untersucht. Die in Tabelle 6 angeführten Substanzgruppen bzw. Substanzen wurden in mehr als der Hälfte der Proben über der Bestimmungsgrenze bestimmt.

Tabelle 6: Stoffgruppen im Feinstaub, die in der Mehrzahl der Proben über der Bestimmungsgrenze ermittelt wurden.

Verbindungs-kategorie/Stoff	Anzahl > BG / Gesamtzahl Proben
Industriechemikalien	
Nonylphenol	70/70
Bisphenol A	65/70
Phthalate	
Diethylphthalat	52/70
DEHP	70/70
Trisphosphate	
TBP	70/70
TPP	70/70
TKP	39/70
TBoEP	69/70
TCEP	70/70
T CPP	67/70
TDCPP	70/70
PAH	
Benz(b)fluoranthren	38/70
Benz(a)pyren	47/70
Indeno(1,2,3-cd)pyren	53/70
Benzo(g,h,i)perylene	53/70
Schwermetalle	
Al, Ti, Pb	18, 14, 15/30
PBDE	
fast alle Kongenere in der Mehrzahl der Proben	14/14
Anorganische Hauptkomponenten	72/72

In der Überblicksanalyse der Feinstaub-Inhaltsstoffe wurden die folgenden Parametergruppen **in keiner Probe** nachgewiesen (Einzelstoffe als Ausnahme in Klammern – Anzahl der Befunde/Gesamtzahl der Proben):

- leichtflüchtige aromatische Verbindungen,
- mittelflüchtige organische Verbindungen (Ausnahme: Carbazol 1/70),
- Moschusverbindungen (Ausnahme: Moschus Xylol 6/55, Tonalid 6/70),
- phenolische Verbindungen (Ausnahme: Phenol 14/55, 4-Nitrophenol 14/70, Pentachlorphenol 4/70, m/p-Cresol 1/70),
- PCB,
- Organophosphorsäureester,
- Organochlorpestizide (Ausnahme: Dieldrin 2/70, Endrinldehyd 1/70),
- Pyrethroide (Ausnahme: Phenothrin 1/70),
- Desinfektionsmittel (Triclosan 1/70).

3.2.5 Vergleich Hausstaub- und Feinstaubbelastung

Die Konzentrationen des Feinstaubes wurden auf die gesammelte Staubmasse bezogen (mg/kg), um die Belastung mit dem Hausstaub vergleichbar zu machen. Damit soll auch gezeigt werden, ob bei einzelnen Parametern die Beladung der Partikel mit Schadstoffen aufgrund der Partikelgröße variiert. Dazu wurden die am häufigsten bestimmten Parameter herangezogen (Nonylphenol, DEHP, TBoEP, Nikotin, PBDE und Schwermetalle).

Der Vergleich zeigt, dass der Medianwert von **Nonylphenol** im Hausstaub (22 mg/kg) deutlich geringere Konzentrationen aufweist als im Feinstaub (620 mg/kg PM₁₀, 1.500 mg/kg PM_{2,5}).

DEHP wurde im Median im Hausstaub mit 3.080 mg/kg bestimmt. Im Feinstaub wurden 10.000 mg/kg (PM₁₀) und 21.000 mg/kg (PM_{2,5}) ermittelt.

Beim Trisphosphat **TBoEP** liegen die Medianwerte der Konzentrationen des Hausstaubs (2.000 mg/kg) und des Feinstaubes (1.600 mg/kg PM₁₀, 2.100 mg/kg PM_{2,5}) in ähnlichen Bereichen. Die Konzentrationen im PM_{2,5} sind jedoch bei allen Trisphosphaten im PM_{2,5} geringfügig höher als im PM₁₀.

Ein sehr deutlicher Konzentrationsunterschied zwischen den gröberen und feinen Fraktionen zeigt sich bei **Nikotin**. Im Hausstaub wurden im Median 3,5 mg/kg gemessen, in der PM₁₀-Fraktion wurde ein Medianwert von 900 mg/kg ermittelt und in der PM_{2,5}-Fraktion von 1.700 mg/kg. Nikotin wird hauptsächlich im Zigarettenrauch freigesetzt.

Im Hausstaub von Nichtraucherhaushalten werden Nikotin-Konzentrationen um 1 mg/kg beschrieben (der AGÖF Normalwert beträgt 5 mg/kg). In Raucherhaushalten kann die Konzentration allerdings bis zu 100 mg/kg betragen. Die in dieser Studie gemessenen Konzentrationen zeigen, dass in den Schulen nur geringe Nikotinkonzentrationen auftraten.

Bei **PBDE** zeigt sich, dass vor allem die schwerer flüchtigen Kongenere eher im Hausstaub als in den Feinstaubfraktionen gemessen werden (#209 Median des Hausstaubs: 600 mg/kg, Median PM₁₀: 300 mg/kg, Median PM_{2,5}: 275 mg/kg).

Schwermetalle zeigen unterschiedliches Verhalten. Die Konzentrationen einiger Schwermetalle (Al, Fe, Ti) sind in beiden Medien vergleichbar. Die Konzentration von Pb, Hg und Cd zeigten im Feinstaub höhere Werte.

Die Messwerte der **Anorganischen Hauptkomponenten** zeigen (Medianvergleich), dass bei den Kationen Kalzium und bei den Anionen Sulfat die höchsten Messwerte lieferten. Dies kann auf den Kreidestaub zurückzuführen sein, da Tafelkreide in Österreich fast ausschließlich aus Gips (Kalziumsulfat) produziert wird.

3.2.6 Tagesgang der Feinstaubkonzentration (mittels Aerosolspektrometer)

3.2.6.1 Allgemeines

keine Feinstaubgrenzwerte im Innenraum

Grenzwerte für Feinstaub in der Raumluft von Innenräumen sind in Österreich nicht vorhanden. Für die Außenluft sind Grenzwerte im österreichischen Immissionschutzgesetz Luft in Umsetzung der Richtlinie 1999/30/EG festgesetzt. Es ist allerdings anzumerken, dass sich die chemische Zusammensetzung des Feinstaubes in Innenräumen in der Regel deutlich von der der Außenluft unterscheiden kann.

Insbesondere die feineren Partikel des Schwebstaubs in der Luft (PM₁₀, PM_{2,5} und PM_{1,0}) können bis tief in die Lunge gelangen und zu negativen gesundheitlichen Auswirkungen, wie z. B. Herz-Kreislaufkrankungen, führen. Aus lufthygienischer Sicht ist Feinstaub als jener Luftschadstoff anzusehen, der mit den gravierendsten gesundheitlichen Auswirkungen verbunden ist. Maßnahmen zur Reduktion der Feinstaubbelastung sollten daher zum Schutz der Gesundheit mit hoher Priorität umgesetzt werden (UMWELTBUNDESAMT 2005).

3.2.6.2 Bewertung der Ergebnisse

Die Ergebnisse der Feinstaubuntersuchungen mittels Aerosolspektrometer zeigen, dass die Fraktion PM_{1,0} (sehr kleine lungengängige Staubpartikel) in der Raumluft der untersuchten Schulen an nahezu allen Messstellen in einem ähnlichen Konzentrationsbereich wie er in der Außenluft zu erwarten ist, vorhanden waren. In Bezug auf die gröberen, jedoch ebenfalls zu einem Großteil lungengängigen Fraktionen PM_{2,5} und PM₁₀ zeigten sich in den Klassenzimmern während der Schulstunden deutlich erhöhte Werte.

Feinstaub zeigt ausgeprägten Tagesgang

Generell konnte in den untersuchten Schulklassen beobachtet werden, dass mit der Aufnahme von Aktivität in den Räumen auch die Feinstaubkonzentration sprunghaft anstieg. Ein nennenswerter Feinstaubeintrag des gröberen Anteils durch die Außenluft ist dabei nicht anzunehmen. Die Zunahme der PM₁₀-Fraktion in der Raumluft lässt sich daher vermutlich auf die dichte Raumbelastung, das Hantieren mit Unterrichtsmaterialien (z. B. Tafelstaub) und die Wiederaufwirbelung von sedimentierten Feinstpartikeln vom Boden durch die Aktivität der Schüler erklären.

In der überwiegenden Zahl der Klassenräume lag damit während der Unterrichtsstunden die mittels Aerosolspektrometer gemessene Konzentration deutlich über dem zur Orientierung herangezogenen Grenzwert für PM₁₀ für den Tagesmittelwert.



Es ist jedoch zu beachten, dass die Konzentrationsbestimmung mittels Aerosolspektrometer auf Annahmen zur Dichte der Partikel beruht und keine Standardmethode zum Vergleich mit Grenzwerten darstellt. Der Vorteil dieser Methode ist das Aufzeigen kurzfristiger Änderungen in der Konzentration (z. B. Pausen).

3.2.6.3 Vergleich mit Resultaten der Filter-Probenahme (Gravimetrie)

Die gravimetrisch bestimmten Konzentrationen von PM_{2,5} sind in den meisten Fällen mit den mittels Aerosolspektrometer bestimmten Konzentrationen vergleichbar. Bei den PM₁₀-Konzentrationen bestehen hingegen größere Unterschiede. Diese lassen sich einerseits dadurch erklären, dass das Aerosolspektrometer direkt in den Klassen aufgestellt war und aufgewirbelte grobe Fraktionen direkt messen konnte; andererseits sind Unterschiede auch durch die unterschiedlichen Messprinzipien und damit verbundenen Annahmen zu erklären. Die Probennehmer für die Filtersammlung des Feinstaubes zur Analytik der Feinstaubinhaltsstoffe wurden in Nebenräumen der Klassen oder in den Gängen davor platziert.

Das Verhältnis der gravimetrisch gemessenen Konzentrationen von PM₁₀ zu PM_{2,5} lag in den meisten Fällen bei 0,5. An Außenluftmessstationen liegt das Verhältnis PM_{2,5}/PM₁₀ meist zwischen 0,7 und 0,8. Bei dem in den Klassenräumen gemessenen Feinstaub spielt der Anteil von PM₁₀ also eine größere Rolle als in der Außenluft. Dies deckt sich mit den Resultaten der Messungen mittels Aerosolspektrometer, die relevante zusätzliche Quellen für die gröberen Fraktionen in den Innenräumen aufzeigten.

höherer Anteil der gröberen Fraktion im Innenraum

Die Größenordnungen der gravimetrisch gemessenen Konzentrationen von PM_{2,5} und PM₁₀ sind mit den in der Außenluft gemessenen Werten vergleichbar. Da zwischen der Außenluft und den Innenräumen ein regelmäßiger Luftaustausch besteht (Lüften), spiegeln sich die je nach Wetterlage variierende Feinstaubkonzentrationen auch in den Klassenräumen wider. Für eine weitere Diskussion von Zusammenhängen zwischen Feinstaubkonzentrationen in der Außen- und Innenraumluft am Beispiel von Wiener Schulen siehe UMWELTBUNDESAMT (2007).

3.2.7 Bewertung der untersuchten CO₂-Konzentrationen

CO₂ ist ein guter Indikator für die durch den Menschen verursachte Raumluftbelastung. Bei 0,1 Vol.% (= 1.000 ppm) empfinden rund 20 % der Personen die Raumluft als unbefriedigend (BUA 1997). Bei ansteigenden CO₂-Konzentrationen erhöht sich deren Zahl und die Konzentrationsfähigkeit nimmt ab. Bei zunehmender Konzentration an CO₂ steigt auch das Risiko, an Beschwerden des Sick-Building Syndroms (s. u.) zu erkranken. Bei Werten ab 1.400 ppm erfüllt die Raumluft nach übereinstimmender Meinung von Fachleuten nicht mehr die notwendigen hygienischen Anforderungen an saubere Raumluft (unter anderem definiert in der Österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, BMLFUW 2006). Erhöhte Konzentrationen entstehen in Schulräumen, bei Überbelegung von Innenräumen und unzureichender Belüftung.

Über die physiologischen Wirkungen erhöhter CO₂-Konzentrationen liegen umfangreiche Erkenntnisse aus der Arbeitsmedizin, aber auch aus luft- und raumfahrtmedizinischen Untersuchungen vor. In den bisher angesprochenen Konzentrationsbereichen deutlich unterhalb von 1 Vol.% (10.000 ppm) sind keine unmittel-

CO₂ beeinflusst Leistungsfähigkeit negativ

baren physiologischen Wirkungen des CO₂ zu erwarten (PLUSCHKE 1996). CO₂ hat schon im üblicherweise auftretenden Konzentrationsbereich deutliche Auswirkungen auf die Leistungsfähigkeit (WARGOTZKI & WYON 2007).

Eine Zusammenschau von Studien zu gesundheitlichen Wirkungen und Kohlendioxid zeigte, dass sich in 50 % der Untersuchungen mit abnehmender CO₂-Konzentration so genannte Sick-Building-Syndrom-assoziierte Beschwerden (z. B. Reizungen und Trockenheit von Schleimhäuten, Müdigkeit, Kopfschmerzen) verringern (SEPPÄNEN et al. 1999). In etwa der Hälfte der betrachteten Studien wurden statistisch signifikante, positive Korrelationen mit dem Auftreten einer oder mehrerer Beschwerden des Sick-Building-Syndroms festgestellt. In keiner einzigen Arbeit nahmen die Symptome mit abnehmender CO₂-Konzentration zu.

Eine amerikanische Studie in Gebäuden mit raumluftechnischen Anlagen konnte statistisch signifikante, positive Korrelationen zwischen Beschwerden wie z. B. trockener Kehle oder Schleimhautreizungen und einem Anstieg der CO₂-Konzentrationen nachweisen – bereits in einem Konzentrationsbereich von unter 1.000 ppm absolut (APTE et al. 2000). Eine Folgestudie mit einer stark erweiterten Datengrundlage brachte Ergebnisse, die in die gleiche Richtung weisen und zeigen, dass die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer Beschwerde pro 100 ppm CO₂ um 20 % zunimmt (ERDMANN et al. 2002).

WARGOCKI et al. (2000) setzten Probanden in Prüfräumen unterschiedlichen personenbezogenen Zuluftvolumenströmen aus und befragten sie hinsichtlich Befindlichkeitsstörungen. Es zeigte sich ein signifikanter Zusammenhang. Höhere Ventilationsraten reduzierten signifikant den Anteil der Personen, die mit der Luftqualität und der Geruchsintensität unzufrieden waren. Weiters reduzierten sie den Anteil der Personen, die ein Gefühl von Trockenheit in Hals und Rachen und das Gefühl, nicht klar denken zu können, angaben. Höhere Ventilationsraten korrelierten mit einem höheren Prozentsatz von Personen, die angaben, sich generell besser zu fühlen.

In der vom Lebensministerium und der österreichischen Akademie der Wissenschaften herausgegebenen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft (BMLFUW 2006) werden Richtwerte für die Innenraumluft festgelegt, die sich zum Teil an die Klassifizierung der Raumluftqualität nach ÖNORM EN 13779 (2008) anlehnen. Aufgrund der Tatsache, dass keine definierten Grenzen für das Wohlbefinden und die Leistungsfähigkeit beeinträchtigende Konzentrationen vorliegen, sondern steigende Konzentrationen ab etwa 700 ppm zu einer kontinuierlichen Verschlechterung der Raumluftqualität führen, werden in der österreichischen Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft keine Richt-, sondern Orientierungswerte vorgeschlagen.

In den untersuchten Schulräumen konnten zum Großteil deutlich erhöhte Konzentrationen an CO₂ über längere Zeiträume nachgewiesen werden. Die Anforderungen an natürlich belüftete Innenräume in Hinblick auf CO₂ nach Arbeitskreis Innenraumluft am BMLFUW/Österreichischen Akademie der Wissenschaften (gleitender Stundenmittelwert maximal 1.400 ppm, Maximalwerte absolut 1.900 ppm, BMLFUW 2006) wurden in nahezu allen Klassenräumen zum Teil über längere Zeiträume überschritten.

**erhöhte CO₂
Konzentrationen
gemessen**

**Richtwert in 80 %
der Messungen
überschritten**

Der maximale gleitende Stundenmittelwert von 1.400 ppm CO₂ wurde in 16 von 18 untersuchten Klassen überschritten (davon in 5 der 6 Klassen, die zweimal gemessen wurden, bei beiden Messterminen) und in 2 Klassen unterschritten. In einer der Klassen, die zweimal gemessen wurden, wurde der maximale gleitende Stundenmittelwert an einem Messtermin unterschritten, am anderen überschritten.

Der absolute Maximalwert von 1.900 ppm CO₂ wurde in 15 von 18 untersuchten Klassen überschritten (davon in 3 der 6 Klassen, die zweimal gemessen wurden, bei beiden Messterminen) und in 3 Klassen unterschritten. In 3 der Klassen, die zweimal gemessen wurden, wurde der Maximalwert an einem Messtermin unterschritten, am anderen überschritten.

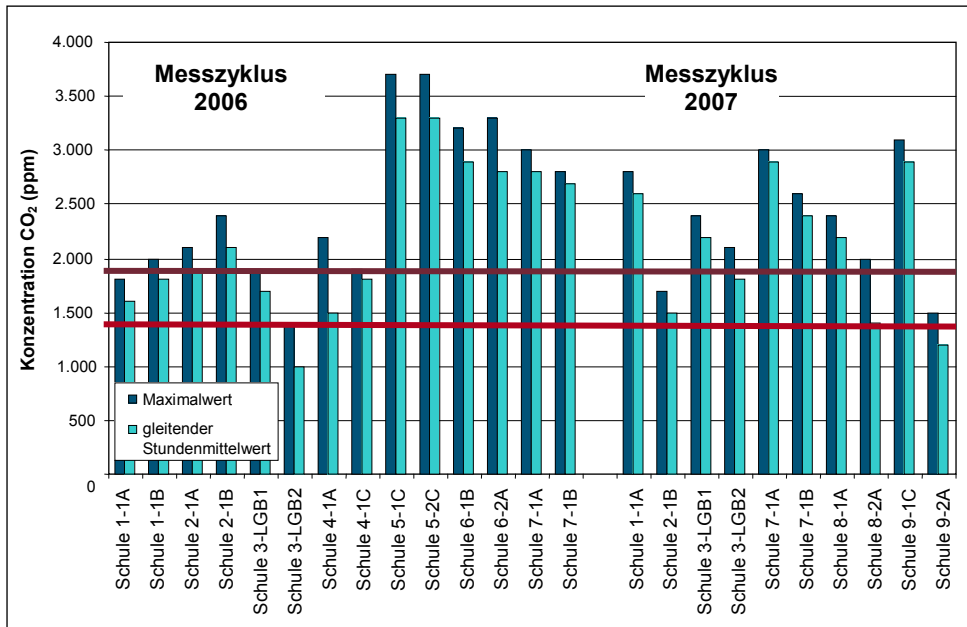


Abbildung 2: Maxima der gleitenden Stundenmittelwerte und Maximalwerte aus den Ergebnissen der Messung von CO₂ in den Klassenräumen unter Angabe der Richtwerte des BMLFUW (1.400 und 1.900 ppm).

In 17 von 18 Schulklassen wurden die Richtwerte gemäß BMLFUW (2006) zumindest in einem Aspekt überschritten: In diesen Schulklassen ist der Luftwechsel als zu gering anzusehen. Die Ergebnisse zeigen, dass diesen Schulklassen die für eine Aufrechterhaltung hygienischer Bedingungen notwendige Frischluftmenge nicht zugeführt wird. Nur in einer der 18 untersuchten Schulklassen wurden alle Anforderungen der Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft auf CO₂ erfüllt.

Im Lichte der Ergebnisse von WARGOCKI & WYON (2007), die schon bei 1.300 ppm signifikante Leistungsverluste belegten und anderer ähnlicher Studien, die bei erhöhten Konzentrationen gesundheitliche Effekte nachwiesen (SEPPÄNEN et al. 1999, APTE et al. 2000, WARGOCKI et al. 2000, ERDMANN et al. 2002) ist davon auszugehen, dass bei den aktuell gemessenen CO₂-Konzentrationen nicht nur die Leistungsfähigkeit der SchülerInnen deutlich unter der bei ausreichender Belüftung möglichen Leistungsfähigkeit liegt, sondern dass auch signifikant mehr Krankheitsfälle zu erwarten sind.

Die Detailergebnisse spiegeln den Zusammenhang zwischen dem Anstieg der CO₂-Konzentration und der Personenbelegung bzw. Lüftungssituation des Raumes wider.

**Leistungsverlust
und Krankheitsfälle
zu erwarten**

4 HANDLUNGSFELDER

Die beschriebenen Ergebnisse werden im Folgenden kurz zusammengefasst und aus ihnen werden Handlungsfelder abgeleitet, die die Belastung der Kinder in Schulen verringern und deren Gesundheit fördern sollen. Als Zielgruppe für Handelnde ist in erster Linie an die Eltern und Kinder, den Lehrkörper sowie den Schulerhalter gedacht. Maßnahmen sollen einfach und in Kosten und Aufwand gering sein.

In einer zweiten Ebene werden Empfehlungen abgegeben, die aufgrund der Komplexität durch den Einzelnen nicht umgesetzt werden können. Sie sollen ein Beitrag zum CEHAPE sein, der vor allem auf der Ebene der Gesetzgebung eine Verbesserung der Kindergesundheit durch Verbesserung der Umweltsituation erreichen soll. Weiters soll die planerische Ebene bei Schulneu- und -umbauten angesprochen werden.

4.1 Potenzielle Exposition in der Schule

Analyse	Schadstoffmessungen (Luft, PM10/2,5, Hausstaub)
Ergebnis	Erhöhte Messdaten von Trisphosphaten, Polybromierten Diphenylethern, Phthalaten in den Schulen
Empfehlung Schule	Bei Beschaffung entsprechende Produkte vermeiden (wenn möglich); Klassenräume häufiger reinigen (keine (Lösungsmittelhaltigen) Reinigungsprodukte, nur Wasser)
Empfehlung Gemeinde	Schulerhalter: Augenmerk auf ökologische Beschaffung (z. B. Ökokauf in Wien); ökologische Kriterien in Ausschreibungen
Empfehlung Bund/EU	Verbot oder Beschränkung problematischer Stoffgruppen in Produkten (z. B. Bau, Einrichtung)

Analyse	Feinstaubmonitoring (Tagesgang Feinstaub)
Ergebnis	Ausgeprägte Variation der PM10- und PM2,5-Messwerte im Tagesgang PM10-Quellen auch im Innenraum Innenraum wird auch durch die Außenluft beeinflusst
Empfehlung Schule	Klassen täglich feucht reinigen/Teppiche saugen, Tafeltuch/-schwamm regelmäßig waschen Bewusstseinsbildung bei Lehrern/Lehrerinnen und Eltern, Schulwege ohne Pkw Lüften primär zu Innen-/Schulhöfen (wenn möglich)
Empfehlung Gemeinde	Schaffung verkehrsberuhigter Zonen rund um Schulen (Fußgängerzone, Wohnstraße, Sackgasse, Tempo 30-Zone etc.)
Empfehlung Bund/EU	Verpflichtung von mechanischen Lüftungsanlagen in Schulen/Klassenzimmern; Nachrüstung bestehender Schulen mit mechanischen Lüftungsanlagen



Analyse	CO ₂ -Messungen
Ergebnis	Werte deutlich über Orientierungswerten Ausgeprägter Tagesgang
Empfehlung Schule	Lüftungsregime überarbeiten: z. B. häufiger Lüften, Lüftungsampel installieren Bewusstseinsbildung bei Lehrern/Lehrerinnen
Empfehlung Gemeinde	Schulbehörde: Vorgabe Lüftungsregulativ
Empfehlung Bund/EU	Verpflichtung von mechanischen Lüftungsanlagen in Schulen/Klassenzimmern; Nachrüstung bestehender Schulen mit mechanischen Lüftungsanlagen

*Es gilt, dass eine verbesserte Lüftungssituation zu deutlich geringeren Konzentrationen fast **aller** Schadstoffe führt.*

4.2 Einfluss des Wohn- und Familienumfeldes auf die respiratorische Gesundheit

Analyse	Wohnsituation u. Wohnumgebung – Atemwegs-symptome
Ergebnis	Bei Schimmel in der Wohnung wird der Zustand der Atemorgane durch die Eltern schlechter eingeschätzt
Empfehlung Schule	Information der Eltern über gesundheitlich relevante Innenraumfaktoren zuhause Schimmel erkennen (hinter Kasten, Geruch), Hausstaubfänger
Empfehlung Gemeinde	Bewusstseinsbildende Kampagnen stärkere Aufklärung zu „Wohnen und Gesundheit“
Empfehlungen Bund/EU	Bewusstseinsbildung; stärkere Aufklärung zu „Wohnen und Gesundheit“

Analyse	Wohnsituation u. Wohnumgebung – Lungenfunktion
Ergebnis	Schimmel, Rauchen in der Wohnung assoziiert mit Abnahme der Lungenfunktion Stillen verbessert Lungenfunktion
Empfehlung Schule	Information der Eltern über gesundheitsbeeinträchtigende Innenraumfaktoren in der Wohnung
Empfehlung Gemeinde	Bewusstseinsbildende Kampagnen, stärkere Aufklärung zu Wohnen und Gesundheit
Empfehlungen Bund/EU	Kampagnen zu Rauchen, Stillen, Schimmel

4.3 Einfluss des Schulumfeldes auf die respiratorische Gesundheit

Analyse	Ergebnisse der Staub- und Luftmessungen in den Schulen – Lungenfunktion
Ergebnis	Belastung mit folgenden Stoffen stehen im Zusammenhang mit verminderter Lungenfunktion: Ethylbenzol, m,p-Xylol, o-Xylol, TDCPP, Formaldehyd, Benzylbutylphthalat, PBDE 196
Empfehlung Schule	Auf bestimmungsgemäßen Gebrauch lösungsmittelhaltiger Produkte achten Einsatz von Produkten mit Lösungsmittel beschränken – lösungsmittelfreie Produkte einsetzen Werkraum verschlossen halten, Lüften nach Lösungsmittelsatz bzw. mechanische Lüftung im Werkraum
Empfehlung Gemeinde	
Empfehlung Bund/EU	Strengerer Vollzug der Lösungsmittelvorschriften Strengerer Regelungen von Flammschutzmitteln

4.4 Einfluss von Schadstoffen auf die kognitive Leistungsfähigkeit

Analyse	Schadstoffbelastung – kognitive Leistungsfähigkeit
Ergebnis	Korrelationen zwischen der Konzentration von Tris(2-chlorethyl)phosphat (Filterproben, Hausstaub) und Ergebnissen des SPM-Tests Zunahme der Konzentration korreliert mit Abnahme der kognitiven Leistung
Empfehlung Schule	Eventuell bei Beschaffung entsprechende Produkte vermeiden (kaum möglich); Häufiger Klassenräume reinigen (ohne Putzmittel = täglich feucht Wischen)
Empfehlung Gemeinde	
Empfehlung Bund/EU	Verbot, Beschränkung problematischer Stoffgruppen in Produkten

4.5 Schulumfeld und Schadstoffbelastung

Analyse	Schwermetallgehalt in Haaren, Zähnen, Asseln
Ergebnis	Einfluss der Ernährung auf Schwermetalle Konzentrationen der Schwermetalle im Hausstaub in Schule und im Haar haben keinen Zusammenhang Langfristige Hintergrundbelastung durch Deposition
Empfehlung Schule	Information der Eltern über gesundheitsbeeinträchtigende Innenraumfaktoren in der Wohnung Erährungsberatung
Empfehlung Gemeinde	
Empfehlung Bund/EU	Nutzungsverbote bzw. Nutzungsbeschränkungen von Schwermetallen und schwermetallhaltigen Produkten

LITERATURVERZEICHNIS

- AGÖF – Arbeitsgemeinschaft ökologischer Forschungsinstitute (2007): Orientierungswerte für flüchtige organische Verbindungen in der Raumluft. Fassung 9.10.2007.
http://agoef.de/agoef/oewerte/photoarchiv/pdfs/AGOEF_Orientwerte
- APTE, M.G.; FISK, W.J. & DAISEY, J.M. (2000): Associations between indoor CO₂ concentrations and sick building syndrome symptoms in U.S. office buildings: An analysis of the 1994–1996 BASE study data. *Indoor Air* 10: 246–257.
- ASHER, M.I.; KEIL, U.; ANDERSON, H.R.M.; BEASLEY, R.; CRANE, J.; MARTINEZ, F.; MITCHELL, E.A.; PEARCE, N.; SIBBALD, B.; STEWART, A.W.; STRACHAN, D.; WEILAND, S.K. & WILLIAMS, H.C. (1995): International Study of Asthma and Allergies in Childhood (ISAAC): rationale and methods. *Eur Respir J* 8: 483–491.
- BARBOSA F.; TANUS-SANTOS, J.E.; GERLACH, R.F.; PARSONS, P.J. (2005): A critical review of biomarkers used for monitoring human exposure to lead: advantages, limitation and future needs. *Environmental Health Perspectives* 113(2): 1669–1674.
- BAYO, J.; MORENO-GRAU, S.; MARTINEZ, M.J.; MORENO, J.; ANGOSTO, J.M.; MORENO-CLAVEL, J.; GUILLEN PEREZ, J.J. & GARCIA MARCOS, L. (2001): Electroanalytical determination of cadmium and lead in deciduous teeth after microwave oven digestion. *Journal Of AOAC International* 84: 111–116.
- BEGEROW, J.; FREIER, I.; TURFELD, M.; KRAMER, U. & DUNEMANN, L. (1994): Internal lead and cadmium exposure in 6-year-old children from western and eastern Germany. *International Archives Of Occupational And Environmental Health* 66: 243–248.
- BJORKMAN, L.; VAHTER, M. & PEDERSEN, N.L. (2000): Both the environment and genes are important for concentrations of cadmium and lead in blood. *Environmental Health Perspectives* 108: 719–722.
- BMLFUW – Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft (2006): Richtlinie zur Bewertung der Innenraumluft, erarbeitet vom Arbeitskreis Innenraumluft am Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Blau-Weiße Reihe (Loseblattsammlung).
- BORNEHAG, C.G.; SUNDELL, J.; WESCHLER, C.J.; SIGSGAARD, T.; LUNDGREN, B.; HASSELGREN, M. & HÄGERHED-ENGMAN, L. (2004): The Association Between Asthma and Allergic Symptoms in Children and Phthalates in House Dust: a Nested Case-Control Study *Environmental Health Perspectives* 112(14): 1393–1397.
<http://ehp.niehs.nih.gov/members/2004/7187/7187.pdf>.
- BUA (1997): Luftqualität in Innenräumen. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Schriftenreihe Umwelt Nr. 287
- CIKRT, M.; SMERHOVSKY, Z.; BLAHA, K.; NERUDOVA, J. & SEDIVA, V. (1997): Biological monitoring of child lead exposure in the Czech Republic. *Environ Health Perspect* 105: 406–411.
- COOK, D.G.; STRACHAN, D.P. & CAREY, I.M. (1998): Health effects of passive smoking: 9. Parental smoking and spirometric indices in children. *Thorax* 53: 884–893.

- DE FREITAS, C.U.; DE CAPITANI, E.M.; GOUVEIA, N.; SIMONETTI, M.H.; DE PAULA, E.; SILVA, M.R.; KIRA, C.S.; SAKUMA, A.M.; DE FATIMA HENRIQUES CARVALHO, M.; DURAN, M.C.; TIGLEA, P. & DE ABREU, M.H. (2007): Lead exposure in an urban community: Investigation of risk factors and assessment of the impact of lead abatement measures. *Environmental Research* 103: 338–344.
- ERDMANN, C.A.; STEINER, K.C. & APTE, M.G. (2002): Indoor carbon dioxide concentrations and sick building syndrome symptoms in the BASE study revisited: Analyses of the 100 building dataset. *Proc. INDOOR AIR '02, 9th Internat. Conf. on Indoor Air Quality and Climate. 30 June - 05 July 2002, Monterey, USA, Vol. 3: 443–444.*
- ETZEL, R. & RYLANDER, R. (1999): Indoor mold and Children's health. *Environ Health Perspect* 107 Suppl 3: 463.
- EWERS, U.; TURFELD, M.; FREIER, I.; HOFSTETTER, I.; STEMMANN, G. & BROCKHAUS, A. (1996): Lead and cadmium content in deciduous teeth of children of Stolberg and other cities of North-Rhine-Westphalia: a chronological trend 1968-1993. *Zentralblatt Fur Hygiene Und Umweltmedizin = International Journal Of Hygiene And Environmental Medicine* 198: 318–330.
- FROELICH, T.E.; LANPHEAR, B.P.; DIETRICH, K.N.; CORY-SLECHTA, D.A.; WANG, N. & KAHN, R.S. (2007): Interactive Effects of a DRD4 Polymorphism, Lead, and Sex on Executive Functions in Children. *Biological Psychiatry* 62: 243–249.
- GILBERT, T.; STERN, D.A.; MORGAN, W.J.; MARTINEZ, F.D. & WRIGHT, A.L. (2007): Effect of breastfeeding on lung function in childhood and modulation by maternal asthma and atopy. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 176: 843–848.
- GILLILAND, F.D.; BERHANE, K.; MCCONNELL, R.; GAUDERMAN, W.J.; VORA, H.; RAPPAPORT, E.B.; AVOL, E. & PETERS, J.M. (2000): Maternal smoking during pregnancy, environmental tobacco smoke and childhood lung function. *Thorax* 55: 271–276.
- GUNDAKER, C.; KOMARNICKI, G.; ZODL, B.; FORSTER, C.; SCHUSTER, E.; WITTMANN, K. (2006): Whole blood mercury and selenium concentrations in a selected Austrian population: does gender matter?. *Sci Tot Env* 371: 76–78.
- HANSEN, D.; VOLLAND, G. & ZÖLTZER, D. (2000): Ausgewählte phosphororganische Verbindungen (Organophosphate, POV) in den Innenraummedien Hausstaub und Raumluft am Beispiel der Verbindungen Tris(2-chlorethyl)phosphat (TCEP), Tris(2-butoxyethyl)phosphat (TBEP) und Triphenylphosphat (TPP). *Forschungsbericht V/99 6274. Universität Stuttgart.*
- HOPPIN, J.A.; ROSS ULMER, R. & LONDON, S.J. (2004): Phthalate exposure and pulmonary function. *Environmental Health Perspectives* 112: 571–574.
- IRK (1996): Innenraumkommission, Sagunski, H.: Richtwerte für die Innenraumluft: Toluol. *Bundesgesundheitsblatt* 39 (1996). S. 416–421.
- IRK (1998a): Innenraumkommission, Sagunski, H.: Richtwerte für die Innenraumluft: Styrol. *Bundesgesundheitsblatt* 41 (1998). S. 392–421.
- IRK (1998b): Innenraumkommission, Englert, N.: Richtwerte für die Innenraumluft: Stickstoffdioxid. *Bundesgesundheitsblatt* 41 (1998). S. 9–12.
- KNOBELOCH, L.; ANDERSON, H.A.; IMM, P.; PETERS, D.; SMITH, A. (2005): Fish consumption, advisory awareness and hair mercury levels among women of childbearing age. *Environmental Research* 97: 219–226.

- KOMMISSION HBM (2005): Haaranalyse in der Umweltmedizin. Stellungnahme der Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung – Gesundheitsschutz 48: 246–250.
- KREJPDO, Z.; OLEJNIK, D.; WÓJCIAK, R.W. & GAWĘCKI, J. (1999): Comparison of Trace Elements in the Hair of Children Inhabiting Areas of Different Environmental Pollution Types. Polish JOURNAL of Environmental Studies 8(4): 227–229.
- LANPHEAR, B.P.; Dietrich, K.; Auinger, P. & Cox, C. (2000): Cognitive deficits associated with blood lead concentration <10 µg/dL in US children and adolescents. Public Health Reports (115): 521–529.
- LICARI, L.; NEMER, L. & TAMBURLINI, G. (2005): Children's health and environment Developing action plans.
- MANNINO, D.M.; MOORMAN, J.E.; KINGSLEY, B.; ROSE, D. & REPACE, J. (2001): Health effects related to environmental tobacco smoke exposure in children in the United States. Arch Pediatr Adolesc Med 155: 36–41.
- MARGAI, F. & HENRY, N. (2003): A community-based assessment of learning disabilities using environmental and contextual risk factors. Social Science & Medicine 56: 1073–1085.
- MCDOWELL, M.A.; DILLON, C.F.; OSTERLOH, J.; BOLGER, P.M.; PELLIZZARI, E.; FERNANDO, R.; DE OCA, R.M.; SCHOBER, S.E.; SINKS, T; JONES, R.L. & MAHAFFEY, K.R. (2004): Hair mercury levels in U.S. children and women of childbearing age: reference range data from NHANES 1999–2000. Environmental Health Perspectives 112 (11): 1165–1171.
- MOSHAMMER, H.; HUTTER, H-P.; HAUCK, H. & NEUBERGER, M. (2006): Low levels of air pollution induce changes of lung function in a panel of schoolchildren. Eur Respir J 27: 1138–1143.
- NEUBERGER, M.; SCHIMEK, M.G.; HORAK, F.JR.; MOSHAMMER, H.; KUNDI, M.; FRISCHER, T.; GOMISCEK, B.; PUXBAUM, H. & HAUCK, H. (2004): Acute effects of particulate matter on respiratory diseases, symptoms and functions. Epidemiological results of the Austrian Project on Health Effects of Particulate Matter (AUPHEP). Atmospheric Environment 38:3971-3981.OÖ. LANDESREGIERUNG – Amt der OÖ Landesregierung (2003): Innenraumsituation in Oberösterreichischen Pflichtschulen, Berufsschulen und Landwirtschaftlichen Fachschulen, Erhebungs- und Messprogramm: Kohlenstoffdioxid und Raumklima. Amt der OÖ Landesregierung, Eigenverlag.
- OZDEN, T.A.; GOKCAY, G.; ERTEM, H.V.; SUOGLU, O.D.; KILIC, A.; SOKUCU, S. & SANER, G. (2007): Elevated hair levels of cadmium and lead in school children exposed to smoking and in highways near schools. Clinical Biochemistry 40: 52–56.
- PESCH, A.; WILHELM, M.; ROSTEK, U.; SCHMITZ, N.; WEISHOFF-HOUBEN, M.; RANFT, U. & IDEL, H. (2002): Mercury concentrations in urine, scalp hair, and saliva in children from Germany. 12: 252–258.
- PLUSCHKE, P. (1996): Luftschadstoffe in Innenräumen. Springer Verlag Berlin Heidelberg New York.
- RAVEN, J.C. (1938): Progressive Matrices. London: Lewis & Co.
- SAGUNSKI, H.; INGEROWSKI, G.; MATTULAT, A. & SCHEUTWINKEL, M. (1997): Tris(2-chlorethyl)phosphat. Exposition und umweltmedizinische Bewertung. Umweltmed Forsch Prax 2: 185–192.

- SANNA, E.; IOVINE, M.C. & VALLASCAS, E. (1990): Hair lead levels in boys and girls from two Sardinian communities with different environmental backgrounds. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology* 247(1):283–290.
- SANNA, E.; LIGUORI, A.; PALMAS, L.; SORO, M.R. & FLORIS, G. (2003): Blood and hair lead levels in boys and girls living in two Sardinian towns at different risks of lead pollution. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 55: 293–299.
- SEPPÄNEN, O.A.; FISK, W.J. & MENDELL, M.J. (1999): Association of ventilation rates and CO₂ concentrations with health and other responses in commercial and institutional buildings. *Indoor Air* 9: 226–252.
- STRUMYLAITĖ, L.; RYSELIS, S. & KREGŽDYTĖ, R. (2000): The Use of Hair Lead as a Biomarker in OCCUPATIONAL and Environmental Settings. *ECOHSE 2000 Symposium*, Kaunas, Lithuania.
- SPEARMAN, C. (1938): Measurement of intelligence. *Scientia* 64: 75–62.
- TILSON, H.A.; VERONESI, B.; MCLAMB, R.L. & MATTHEWS, H.B. (1990): Acute exposure to tris(2-chloroethyl)phosphate (TRCP) produces hippocampal neuronal damage loss and impairs learning in rats. *Toxicol Appl Pharmacol* 106: 254–269.
- TVINNEREIM, H.M.; EIDE, R. & RIISE, T. (2000): Heavy metals in human primary teeth: some factors influencing the metal concentrations. *The Science Of The Total Environment* 255: 21–27.
- UMWELTBUNDESAMT (2005): Schneider, J.; Spangl, W.; Placer, K.; Moosmann, K.: Abschätzung der Gesundheitsauswirkungen von Schwebstaub in Österreich. Wien, Reports, Bd. REP-020. Umweltbundesamt, Wien. 52 S.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0020.pdf>
- UMWELTBUNDESAMT (2007): Pilotstudie zur verkehrsbedingten Schadstoffbelastung von Kindern in Wien. Umweltbundesamt, Wien. In Druck.
- WARGOCKY, P. & WYON, D.P. (2007): The effect of Outdoor Air Supply Rate and Supply Air Filter Condition in Classrooms on Performance of Schoolwork by Children. *HVAC&R Research*, 13, 2. 165–190.
- WARGOCKI, P.; WYON, D.P.; SUNDELL, J.; CLAUSEN, G. & FANGER, P.O. (2000): The effects of outdoor air supply rate in an office on perceived air quality, Sick Building Syndrome (SBS) symptoms and productivity. *Indoor Air* 10: 222–236.
- WHO – World Health Organisation (2000): WHO Air quality guidelines for Europe. Second Edition. World Health Organisation. Regional Office for Europe, Copenhagen, Regional publications. European Series Nr. 91.
- WHO – World Health Organisation (2002): Europe/European Environmental Agency: Children's health and environment (2002): A review of evidence. Environmental issue report No 29. Copenhagen.
- WIGLE, D.T. & LANPHEAR, B.P. (2005): Human health risks from low-level environmental exposures: No apparent safety thresholds. *PLoS Med* 2(12): 1232–34.
- WILHELM, M.; LOMBECK, I. & OHNESORGE, F.K. (1994): Cadmium, copper, lead and zinc concentrations in hair and toenails of young children and family members: a follow-up study. *The Science of The Total Environment* 141: 275–280.



Rechtsnormen und Leitlinien

IMMISSIONSSCHUTZGESETZ-LUFT (IG-L; BGBl. I Nr. 115/1997): Bundesgesetz zum Schutz vor Immissionen durch Luftschadstoffe, mit dem die Gewerbeordnung 1994, das Luftreinhaltegesetz für Kesselanlagen, das Berggesetz 1975, das Abfallwirtschaftsgesetz und das Ozongesetz geändert werden.

RL 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft.

ÖNORM EN 13779 "Lüftung von Nichtwohngebäuden - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen an Lüftungs- und Klimaanlage". 1.1.2008.



Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04

Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at

www.umweltbundesamt.at

Der Report „LUKI – LUft und KInder“ fasst Studienergebnisse zu Einflüssen von Innenraumfaktoren in Ganztageschulen auf die Gesundheit von Kindern zusammen. Dazu wurden Lungenfunktion und kognitive Leistung der Kinder bestimmt, Schadstoffe in Luft, Feinstaub und Hausstaub von Schulen gemessen und die Schwermetallbelastung von Milchzähnen und Haarproben erfasst.

Die Daten wurden statistisch ausgewertet und mit weiteren Einflussfaktoren (familiäres Umfeld, Nahrung) korreliert. Anhand der Ergebnisse werden Maßnahmen vorgeschlagen, die mit geringem Aufwand das Innenraumklima verbessern sollen.

Das Projekt ist Beitrag zur Umsetzung des Children Environment and Health Plan for Europe (CEHAPE) der Weltgesundheitsorganisation WHO, beteiligt waren die Medizinische Universität, das Innenraum Mess- und Beratungsservice und das Umweltbundesamt.