

Aus dem Institut und der Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der
Ludwig-Maximilians-Universität München

Direktor: Prof. Dr. med. D. Nowak

**Messung und Bewertung der Wirkung von umweltbedingten
Partikelexpositionen (PM10 und PM2.5) auf die Lungenfunktion und
Befindlichkeit von Kindern**

Dissertation

zum Erwerb des Doktorgrades der Zahnheilkunde

an der Medizinischen Fakultät der

Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von

Tanja Frey

aus

Bad Tölz

2006

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Prof. Dr. Peter Höppe

Mitberichterstatter: Prof. Dr. T. Nicolai

Dekan: Prof. Dr. med. D. Reinhardt

Tag der mündlichen Prüfung: 19.10.2006

Dankeswort

Mein Dank gilt dem Direktor des Instituts für Arbeits- und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität München, Herrn Prof. Dr. med. Dennis Nowak, für die Möglichkeit an seinem Institut diese Dissertation anzufertigen.

Ganz besonders herzlich bedanke ich mich bei Herrn Prof. Dr. Dr. Peter Höppe für die große Hilfe bei der Durchführung der Arbeit und für die herausragende Betreuung bei der Ausarbeitung.

Des Weiteren möchte ich Herrn Dr. med. Wolfgang Guth für sein Engagement als Projektarzt danken. Herrn Dr. Rudolf Schierl sei für die Ermittlung der Partikelkonzentrationen gedankt.

Für die große Unterstützung bei der Durchführung der Studie möchte ich mich auch recht herzlich bei Frau Fränkl, Rektorin der Grundschule am Strehleranger und allen Lehrern/innen und Mitarbeitern der Schule bedanken. Allen Probanden/innen danke ich für ihre Kooperationsbereitschaft.

Ebenfalls möchte ich mich bei allen Instituten bedanken, die mit uns zusammengearbeitet haben. Der Abteilung Kardiologie der 1. Medizinischen Klinik und Poliklinik der TUM danke ich für die Analyse der EKG Daten, dem Bayerischen Landesamt für Umweltschutz für die Ergänzung der Luftschadstoffdaten. Der Harvard School of Public Health danke ich für die Kooperation bei der Analyse der Daten des Seniorenkollektivs, da dieses Analysemodell auch bei der Auswertung der Daten des Kinderkollektivs verwendet wurde. Dem Institut für Epidemiologie der GSF danke ich für die epidemiologische Beratung bei der Datenanalyse. Ebenfalls möchte ich mich beim Meteorologischen Institut der LMU für die Überlassung sämtlicher meteorologischer Daten bedanken.

Inhaltsverzeichnis

		Seite
1	Einleitung	1
2	Methodik	5
2.1	Probanden	5
2.2	Partikelmessung und Messung von Klimaparametern	7
2.3	Untersuchungsablauf	8
2.3.1	Befragung	9
2.3.2	Lungenfunktionsuntersuchung	11
2.3.2.1	Bodyplethysmographie	11
2.3.2.2	Fluss-Volumen-Kurve	13
2.4	Methoden der statistischen Auswertung	14
3	Ergebnisse	17
3.1	Partikelmessung und Klimaparameter	20
3.1.1	PM10, PM2.5	20
3.1.2	Gesamtpartikelkonzentration	22
3.2	Befragung	24
3.2.1	Probandenstatus	24
3.2.2	Routinebefragung	25
3.2.2.1	Gesundheitliche Beschwerden	25
3.2.2.2	Colakonsum, Exposition mit Tabak- und Bratenrauch, besondere Einflüsse (z.B. Medikamenteneinnahme)	27
3.2.2.3	Aufenthaltsdauer im Freien, Aufenthalt außerhalb des Stadtgebietes	28
3.2.3	Faktoranalyse	29
3.2.4	Regressionsanalyse	29
3.3	Lungenfunktion	31
3.3.1	Atemwegswiderstände	31
3.3.2	Vitalkapazität und Einsekundenkapazität	37
3.3.3	Atemflüsse	41
3.3.4	PET	43

4	Diskussion	44
4.1	Diskussion der Methoden	44
4.1.1	Studienform	44
4.1.2	Untersuchungsablauf	45
4.1.3	Untersuchungskollektiv	45
4.1.4	Routinebefragung	46
4.1.5	Lungenfunktionsuntersuchung	47
4.2	Diskussion der Ergebnisse	48
4.2.1	Partikel	48
4.2.2	Symptommhäufigkeit	49
4.2.3	Lungenfunktionsuntersuchung	50
5	Zusammenfassung	53
6	Literatur	56
7	Anhang	
	Anhang 1: Erstuntersuchungsfragebogen	
	Anhang 2: Fragebogen-Tagesbefund	
	Anhang 3: Zusammenarbeit mit anderen Instituten	
	Anhang 4: Abkürzungsverzeichnis	
	Lebenslauf	

1 Einleitung

Trotz der insgesamt verbesserten lufthygienischen Verhältnisse werden seit einigen Jahren vermehrt umweltmedizinische Studien veröffentlicht, deren Ergebnisse Hinweise auf adverse Gesundheitseffekte der Luftschadstoffe geben. Die gesundheitlichen Auswirkungen werden vor allem auf die inhalierbare Fraktion des Schwebstaubes zurückgeführt. So fanden Pope et al. (2000) in einer Metastudie ein erhöhtes relatives Mortalitätsrisiko (pro Anstieg von PM₁₀ um 50 µg/m³) von circa 15% für respiratorische und 6,5% für kardiovaskuläre Ursachen. Darüber hinaus konnten Assoziationen zwischen Krankenhauseinweisungen aufgrund von Atemwegs- (Schwartz, 1995, 1996) und Herz-Kreislaufkrankungen (Schwartz, 1995) und einer erhöhten Partikelkonzentration in der Außenluft nachgewiesen werden. Ergebnisse der europäischen ULTRA-Studie (Peters et al., 2000) zeigten signifikante Assoziationen zwischen erfragten subjektiven Symptomen und Ultrafeinstaubkonzentrationen (schwächer mit PM_{2.5}, keine mit PM₁₀).

Als Schwebstaub werden Partikel bezeichnet, welche einen Durchmesser zwischen 1 nm und 100 µm besitzen und in festem oder flüssigem Aggregatzustand in Gasen suspendiert vorliegen. Zur inhalierbaren Fraktion zählen Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser kleiner als 10 µm (PM₁₀), feine Partikel kleiner 2,5 µm (PM_{2.5}) und ultrafeine Partikel kleiner als 0,1 µm. Diese kleinen Partikel gelangen vorwiegend über Verbrennungsprozesse in Kraftfahrzeugen als auch durch den Hausbrand in die Umwelt. Tabelle 1 gibt eine Übersicht über die gängigen Staubparameter hinsichtlich ihrer Größe und ihrer Quellen in Innen- und Außenluft. „Für die gesundheitlichen Auswirkungen der Partikel sind sowohl die Größe und die Form der Partikel als auch die chemischen Komponenten von Bedeutung, da ihre aerodynamischen und/oder thermodynamischen Eigenschaften über die Deposition der Partikel und den Depositionsort im Atemtrakt entscheiden, während die chemisch-physikalischen und biologischen Eigenschaften der Partikel ihre Wechselwirkung mit den Zellen determinieren“ (Peters et al., 1998). So wird beispielsweise dem Eisen, welches die Bildung von Hydroxyl-Radikalen fördert, eine besondere Bedeutung zugeschrieben, da es zu einer Schädigung des Lungengewebes führt (Gilmore et al., 1996). Des Weiteren spielt das Atemmuster

eine wichtige Rolle. Bei ruhiger Mundatmung werden die meisten Partikel mit einem aerodynamischen Durchmesser größer als 5 µm im Mund-Rachen-Raum abgeschieden. Kleinere Partikel gelangen bis zur Lungenperipherie. Aufgrund der besseren Filterfunktion (vor allem Partikel > 2,5 µm) verändert sich bei Nasenatmung das Depositionsmuster. Die Belastung der Lungenperipherie wird reduziert. Die Elimination von Partikeln aus dem Atemtrakt erfolgt in den extrathorakalen Atemwegen, der Trachea und den Bronchien innerhalb von 1 bis 3 Tagen über die mukoziliare Clearance. Im Bereich der Bronchiolen und Alveolen kommt es zur Aktivierung von alveolären Makrophagen, welche die Partikel phagozytieren und über den Lymphweg abtransportieren. Die Verweildauer der Partikel kann im alveolären Bereich Jahre dauern. Die genannten unspezifischen Abwehrmechanismen der Luftwege äußern sich in einer typischen Form. „Ihre klinischen Leitsymptome sind bekannt: Husten, vermehrte Sekretproduktion und vor allem bei kleineren Kindern Zeichen einer bronchialen Obstruktion mit Asthmasymptomen“ (Rutishauser, 1985).

	Abkürzung	Durchmesser	Quelle Außenluft	Quelle Innenraum
Gesamtschwebstaub	TSP ¹	<35µm	Aufwirbelungen, Industrieabgase, Hausbrand, Verkehr	Aufwirbelungen, Staubsaugen, Kochen, Rauchen
Inhalierbarer Schwebstaub	PM10 ¹	<10µm	Aufwirbelungen, Industrieabgase, Hausbrand, Verkehr	Aufwirbelungen, Staubsaugen, Kochen, Rauchen
Lungengängiger Schwebstaub	PM2.5 ¹	<2,5µm	Industrieabgase, Hausbrand, Verkehr	Staubsaugen, Kochen, Rauchen
Ultrafeine Partikel	UFS ²	<0,1µm	Industrieabgase, Hausbrand, Verkehr	Kochen, Rauchen

Tab. 1: Charakterisierung der einzelnen Partikel hinsichtlich ihrer Größe und ihrer Quellen in Innen- und Außenluft (Peters et al., 1998)

¹ gemessen als Massenkonzentration in µg/m³ (TSP= total suspended particulates, PM= particulate matter)

² gemessen als Anzahlkonzentration in cm⁻³

Ziel der vorliegenden umweltepidemiologischen Longitudinalstudie war der wissenschaftliche Nachweis, ob die umweltbedingte Partikelexposition (PM_{2.5}, PM₁₀ und Ultrafeinstaub) im Raum München zu einer Beeinträchtigung der Lungenfunktion und dem subjektiven Befinden von Kindern führt. Und wenn ja, ob dabei einzelne Bestandteile von Bedeutung sind und eine Wirkschwelle festgelegt werden kann. Als Kollektiv wurden Kinder gewählt, da sie einer vermuteten Risikogruppe angehören. Aufgrund ihres langen Aufenthaltszeitraumes im Freien, ihrer regen körperlichen Aktivitäten und ihrer hohen Atemfrequenz sind Kinder prädestiniert für Erkrankungen, welche durch die lungengängigen Fraktionen des Schwebstaubes hervorgerufen werden (Beck et al., 2001). Hinzu kommt ihr noch nicht komplett ausgereiftes Immunsystem. Des Weiteren sind epidemiologische Untersuchungen zur Erfassung des Einflusses der Luftverschmutzung, laut Rutishauser (1985) bei Kindern aufschlussreicher als bei Erwachsenen, da die Schadstoffbelastungen am Arbeitsplatz als potentielle Confounder wegfallen, das aktive Rauchen - wahrscheinlich der wichtigste Faktor bei der Entstehung einer chronischen Atemwegserkrankung - bei Kindern unter 12 Jahren noch keine Rolle spielt (der Einfluss des Passivrauchens sollte jedoch miteingefasst werden) und Kinder auch während einer länger dauernden Untersuchungsperiode ihren Wohnort kaum wechseln.

Die Ergebnisse der Studie sollten den Politikern wichtige Informationen für umweltpolitische Maßnahmen liefern. „Nach Artikel 10 der Richtlinie 1999/30/EG der Europäischen Union über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide, Partikel und Blei in der Luft, war die EG-Kommission verpflichtet, bis 31.12.2003 einen Bericht über Erfahrungen bei der Anwendung dieser Richtlinie, insbesondere über die neuesten wissenschaftlichen Forschungsergebnisse zur Wirkung der genannten Stoffe vorzulegen“ (Kappos et al., 2003). Basierend darauf wurde am 1. Januar 2005 europaweit ein verbindlich geltender Grenzwert für PM₁₀ von 50 µg/m³ eingeführt, welcher nur an 35 Tagen im Jahr überschritten werden darf. In den USA wurde basierend auf Resultaten von Feinstaub-Wirkstudien bereits im Jahre 1997 ein neuer „Air Quality Standard“ verabschiedet, der neben PM₁₀ auch Grenzwerte für PM_{2.5} vorsieht.

Um aussagekräftige Ergebnisse zu erhalten, sollte die Studie folgende Bedingungen erfüllen:

- Teilnahme von 50 Probanden/innen
- Im Idealfall 40 Untersuchungen pro Teilnehmer im Zeitraum vom 17.09.2001 bis 31.07.2002
- Verwendung standardisierter, bewährter Fragebögen für Eingangsanamnese und Tagesbefund
- Lungenfunktionsuntersuchung unter Ausschluss zirkardianer Effekte

Die ethisch-rechtliche Unbedenklichkeit des Vorhabens wurde durch einen schriftlichen Bescheid vom 15.06.2000 von der Ethikkommission der Medizinischen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität (Vorsitzender: Prof. Dr. G. Paumgartner) anerkannt (Aktz.130/00).

Der lange Titel des Forschungsvorhabens „Longitudinale Kohortenstudie zur Erfassung akuter pulmonaler, kardialer und hämatologischer/-hämostaseologischer Wirkungen von Feinstaub unter realen Umweltbedingungen“ wird im folgenden mit dem Namen **CorPuScula** abgekürzt. Der Begriff setzt sich aus den Anteilen **Cor**=Herz, **Pulmo**=Lunge sowie **Sanguis**=Blut zusammen, welche die zu untersuchenden medizinischen Zielgrößen repräsentieren. Zudem entspricht Corpuscula dem lateinischen Wort für Partikel. Beim Kollektiv „Kinder“ war jedoch aus Rücksicht auf die jungen Probanden keine Blutuntersuchung vorgesehen. Die kardiale Wirkung von Feinstaub, welche über die Untersuchung von EKG-Kurven und Blutdruckwerten nachgewiesen werden sollte, wird in der Dissertation von Frau Eva Winkler abgehandelt.

2 Methodik

2.1. Probanden

Die vorliegende Studie wurde an der staatlichen Grundschule mit Tagesheim am Strehleranger in München Neuperlach durchgeführt. Der Zeitraum der Untersuchung umfasste das Schuljahr 2001/2002 vom 17.09.2001 bis 31.07.2002, wobei Schulferien, Wochenenden und gesetzliche Feiertage ausgenommen waren.

Zu Schulbeginn erfolgte die erste Kontaktaufnahme mit den Eltern aller Schüler durch ein Rundschreiben. In einem dem Schreiben beiliegenden Antwortformular konnten die Erziehungsberechtigten ihr Interesse an der freiwilligen Teilnahme ihrer Kinder bekunden. Als einziges Ausschlusskriterium galt Tabakrauchexposition im häuslichen Umfeld. Die potentiellen Probanden/innen wurden telefonisch zu einem Einzelgespräch in den Messcaravan vor Ort im Pausenhof der Schule eingeladen. Mindestens ein Elternteil musste dabei mit anwesend sein. Als Aufwandsentschädigung erhielten die Kinder eine kleine Belohnung (Überraschungsei) nach jedem Messtermin und ein Taschengeld in Höhe von 25 Euro am Ende der Messreihe.

Zu Beginn der Routinemessungen waren 57 Kinder gemeldet. Während der ersten acht Wochen schieden sieben Probanden/innen aus. Gründe waren mangelnde Motivation, sowie der Schulwechsel einer Probandin. Die Dropout-Quote betrug somit 12,3%. Letztendlich nahmen 50 Kinder an der Untersuchung teil, wobei ein Schüler aufgrund einer chronischen Bronchitis von der Lungenfunktionsuntersuchung befreit war. Die wichtigsten Kenndaten der 29 weiblichen und 21 männlichen Probanden sind Tabelle 2 zu entnehmen.

	Probanden n=50	Mädchen n=29	Jungen n=21	
Alter (a)	8 6 -10 1	8 6 -10 1	8 6 -10 1	\bar{x} Min.-Max. SD
Größe (cm)	133 112 -152 9	133 112 -150 8	133 114 -152 10	\bar{x} Min.-Max. SD
Gewicht (kg)	28 18 - 47 6	28 20 - 47 6	29 18 - 41 5	\bar{x} Min.-Max. SD

Tab. 2: Probandendaten (\bar{x} : Mittelwert, Min.-Max.: Minimum und Maximum, SD: Standardabweichung)

Eingangsuntersuchung

Im Rahmen eines persönlichen Einzelgespräches informierten wir die Kinder und Eltern über Hintergrund und Ablauf der Studie. Des Weiteren wurde den Erziehungsberechtigten eine Einverständniserklärung zur Teilnahme an der Studie, welche mit der Ethikkommission der medizinischen Fakultät der LMU abgestimmt war, zur Unterschrift vorgelegt.

Der Projektarzt, Dr. med. Wolfgang Guth, erhob mittels eines standardisierten Fragebogens (Anhang 1) die Anamnese. Der Fragebogen „Status“, welcher sich bereits bei mehreren Studien des Instituts und der Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der LMU bewährt hatte, wurde dafür eigens an das Probandenkollektiv Kinder angepasst. Aufgenommen wurden Daten bezüglich Alter, Gewicht, Größe, Geschlecht, Schulklasse, Rauchgewohnheiten der Eltern, Zeitpunkt von Tabak- und Bratenrauchexposition, ärztlich diagnostizierter Allergien, chronischer Erkrankungen und Medikamenteneinnahme.

Die Probanden/innen wurden mit dem Ablauf der Messungen vertraut gemacht, wobei ihnen viel Zeit gegeben wurde, ihre anfängliche Scheu zu überwinden. Dies war vor allem beim Einüben der Atemmanöver für die Lungenfunktionsprüfung sehr

wichtig, um unverfälschte und reproduzierbare Ergebnisse zu erhalten. Für sehr unsichere Probanden/innen wurden noch weitere Termine für das Einüben der Atemmanöver vor Beginn der Routinemessung angesetzt. Die Messergebnisse der Eingangs- und Übungsuntersuchungen, vom 17.09.2001 bis 05.10.2001, flossen nicht in die Datenauswertung ein.

2.2 Partikelmessung und Messung von Klimaparametern

Für die ortsfesten Partikelmessungen von PM_{2.5} und PM₁₀ wurde ein Low Volume Sampler (LVS3) der Firma Leckel (Stahnsdorf) verwendet. Das Gerät befand sich im Schulhof der Grundschule am Strehleranger, in einer Entfernung von fünf Metern zum Untersuchungs-caravan. Der Messzeitraum umfasste 12 Stunden täglich, von 09:00 Uhr bis 21:00 Uhr. Eine Zeitspanne in der die größte Aktivität der Probanden/innen im Freien angenommen wurde. Mit Hilfe eines im Sammelkopf befindlichen Teflonfilters (Durchmesser 47 mm) wurde die Staubmenge gravimetrisch, bei einem konstanten Luftdurchsatz von 2,3 m³/h, bestimmt. Jeweils ein PM_{2.5} und PM₁₀ Gerät waren gleichzeitig in Betrieb. Zudem wurden die PM₁₀-Messungen von der Messstation Johanneskirchen des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz mit den studieneigenen Ergebnissen verglichen. Der Standort der Messstation Johanneskirchen entsprach, hinsichtlich der sie umgebenden Baustruktur und der Verkehrslage, der in etwa sieben Kilometer südlich gelegeneren Grundschule.

Ultrafeinstaub wurde aufgrund der geringen Massen als Anzahl-Konzentrationen (Partikel/cm³) gemessen. Die Messungen wurden mit einem Kondensations-Partikelzähler der Firma TSI (3025A, Detektionsgrenze > 3 nm) durchgeführt. Die Ansaughöhe des Gerätes befand sich in 2,5 m Höhe, in einem Abstand von circa 6 m vom Messwagen. Der Sammelzeitraum war kontinuierlich. Bei dem verwendeten Messverfahren dienten die ultrafeinen Partikel als Kondensationskerne in einer mit 1-Butanol gesättigten Kondensationskammer. Durch Kondensation kam es zur Bildung von größeren Teilchen, die mittels der durch sie verursachten Streuung von

Laserlicht optisch detektiert wurden. Die Messgeräte zählten alle Partikel, die größer als ihr Detektionslimit (3 nm) waren. Folglich wurde im strengen Sinn die Gesamtpartikelzahl registriert. Da aber über 80% aller Partikel im Ultrafeinstaubbereich liegen, konnte über die Messwerte der Gesamtpartikelzahlen auf den Ultrafeinstaubgehalt geschlossen werden.

Stundenmittelwerte der Lufttemperatur (T_a), des Wasserdampfdruckes (VP), des Niederschlages (N), der Windrichtung (D) und Windgeschwindigkeit (v) bekamen wir von der Messstation Theresienstrasse des Meteorologischen Instituts der LMU (MIM). Aus den meteorologischen Daten wurden die den studieneigenen Messintervallen (12 h) entsprechenden Mittelwerte bestimmt.

Die thermische Belastung der Probanden/innen wurde über die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) beschrieben. PET ist für ein beliebiges Außenklima definiert als diejenige Lufttemperatur, bei der in einem typischen Innenraum (geringe Luftgeschwindigkeit, keine zusätzliche Wärmestrahlung) die Wärmebilanz eines Menschen bei gleichen Werten von Haut- und Körperkerntemperatur ausgeglichen ist, wie bei den zu bewertenden Klimabedingungen im Freien (Höppe, 1999). Berechnet wird sie aus dem Wärmebilanzmodell des Menschen MEMI (Münchner Energiebilanzmodell für Individuen, Höppe, 1993) unter Berücksichtigung von Lufttemperatur, Luftgeschwindigkeit, Luftfeuchte und Strahlungsbedingungen. PET wird als eine „gefühlte Temperatur“ in °C angegeben und ist ein gutes Maß für die Wirkung der thermischen Umgebung auf den Menschen.

2.3 Untersuchungsablauf

Um genügend Messergebnisse für die Datenauswertung zu erhalten, waren pro Proband/in zunächst 40 Messtermine innerhalb des Schuljahres vorgesehen. Ein Stundenplan, nach welchem sich jedes Kind einmal wöchentlich an einem bestimmten Tag, immer zur gleichen Tageszeit im Messmobil vorstellen sollte, schloss ein Confounding durch zirkardiane und wochenzyklische Effekte aus.

Die Untersuchungszeiträume verteilen sich wie folgt auf die Wochentage:

Montag	12:30 Uhr bis 18:10 Uhr
Dienstag	08:45 Uhr bis 14:45 Uhr
Mittwoch	12:30 Uhr bis 18:20 Uhr
Donnerstag	08:15 Uhr bis 14:20 Uhr
Freitag	08:15 Uhr bis 14:55 Uhr

Für die Dauer der Untersuchung, die für jeden Teilnehmer mit ca. 20 Minuten angesetzt war, waren die Schüler vom Unterricht befreit.

Die Routineuntersuchung gliederte sich im Einzelnen in die Teile:

- Befragung
- Blutdruckmessung
- EKG (14-tägig)
- Lungenfunktionsuntersuchung
Ganzkörperplethysmographie
Atemstoßtest mit Fluss-Volumen-Messung

Im Rahmen dieser Dissertation werden im Anschluss Vorgehensweise und Messverfahren bezüglich Befragung und Lungenfunktionsuntersuchung detailliert dargestellt. Die anderen Themenbereiche werden in der Dissertation von Frau Eva Winkler abgehandelt.

2.3.1 Befragung

Die Befragung der Kinder wurde mittels eines standardisierten und an das Probandenkollektiv Kinder angepassten Fragebogens „CorPuScula-Tagesbefund-Kinder“ (Anhang 2) in Form eines persönlichen Interviews durchgeführt. Die Antworten wurden vom Untersucher auf dem Fragebogen angekreuzt bzw. eingetragen.

Die Fragen gliederten sich wie folgt:

1) Fragekomplex nach akuten Beschwerden mit Einzelfragen nach:

- Husten (mit, ohne Auswurf)
- Augenreizung/-rötung
- Halskratzen
- Hautausschlag
- Übelkeit/Erbrechen
- Schlafstörungen in der letzten Nacht
- Schmerzen
- Asthma bronchiale (Akute Symptome wie Atemnot, Husten mit zähem Auswurf)
- chronischer Bronchitis (Husten und Auswurf an den meisten Tagen während mindestens je 3 Monaten in zwei aufeinanderfolgenden Jahren)
- Nasenreizung/Schnupfen
- Heuschnupfen
- Halsschmerzen
- subjektiv wahrgenommenen Unregelmäßigkeiten des Herzschlages
- deutlich vermehrter Müdigkeit
- atemabhängigen Schmerzen

2) Offene Frage nach weiteren noch nicht abgefragten Beschwerden

3) Fragen über Einflüsse, welche die Lungenfunktion beeinträchtigen können:

- Konsum von Cola
- Exposition mit Zigarren-/Zigarettenrauch
- Exposition mit Bratenrauch bzw. Fettdünsten
- besondere Einflüsse z. B. Medikamenteneinnahme

4) Fragen zur Abschätzung der Außenluftexposition

- Aufenthaltszeiten im Freien am Messtag und am Vortag
- Aufenthalt außerhalb des Stadtgebietes am Vortag

2.3.2 Lungenfunktionsuntersuchung

Zur Messung der Lungenfunktion wurde ein „Masterlab-Body“ (Ganzkörperplethysmograph) der Firma Jaeger mit zugehöriger Software (Masterlab Version 4.34) verwendet.

Die komplette Lungenfunktionsuntersuchung bestand aus einer Bodyplethysmographie (Ruheatmung) und einer Spirometrie mit Ermittlung der Fluss-Volumen-Kurve (forciertes Atemmanöver). Während der Messungen sollte der Proband/in eine aufrechte, aber entspannte Sitzposition einnehmen. Das Tragen einer Nasenklemme war obligat.

2.3.2.1 Bodyplethysmographie

Die Datenermittlung der Bodyplethysmographie war nur geringfügig von der Mitarbeit des Probanden/in abhängig. Ein Trainingseffekt war nicht zu verzeichnen. Die Bodyplethysmographie stellt ein sehr empfindliches und technisch aufwändiges Verfahren dar. Eine tägliche Kalibrierung war nötig.

Es wurden folgende Daten bestimmt:

- RTOT: Totaler Atemwegswiderstand (kPa*s/l)
- SRTOT: Spezifischer Atemwegswiderstand (kPa*s)
- ITGV: Intrathorakales Gasvolumen (l)

Während der Messung saß der Proband/in bei geschlossener Türe im nahezu luftdicht abgeschlossenen Ganzkörperplethysmographen und atmete möglichst gleichmäßig über ein Mundstück, über welches Atemstromstärke und Druck registriert wurden. Gleichzeitig wurden die Druckveränderungen im Inneren der Kammer gemessen, die durch das Heben und Senken des Brustkorbes beim Atmen entstanden. Die Kammerdruckveränderung als negatives „Spiegelbild“ der alveolaren Druckänderung betrachtet, bot die Möglichkeit, über das Computerprogramm ein

Druck-Strömungsdiagramm zu erstellen. Die Steigung der in- und expiratorischen Kurve konnte als Atemwegswiderstand (RTOT) abgelesen werden (Abb. 1).

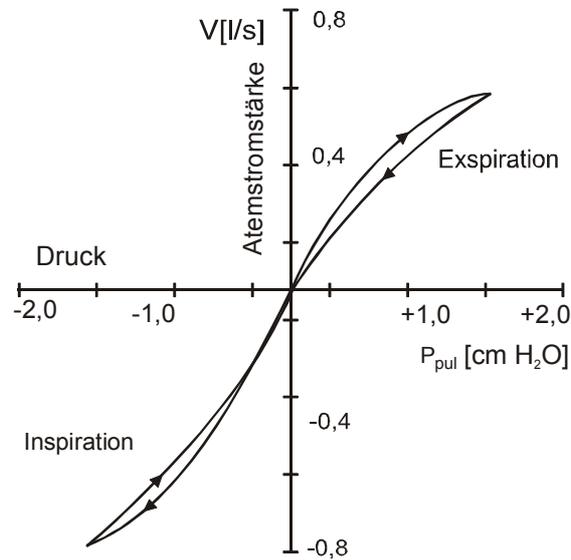


Abb. 1: Mit dem Bodyplethysmographen registrierte Druck-Stromstärke-Beziehung bei In- und Expiration. In- und expiratorische Kurve haben beim Lungengesunden fast identischen Verlauf. Die Steigung der Atemschleife gibt den Atemwegswiderstand an. (aus C. Hick, A. Hick; 2000)

Das intrathorakale Gasvolumen (ITGV) wurde durch das kurzzeitige Verschließen des Mundstückes am Ende einer Expiration bestimmt. Die eintretende Munddruckänderung war mit der Alveolardruckveränderung gleichzusetzen. Aus diesem Wert und der Druckänderung im Bodyplethysmographen errechnete das Computerprogramm das ITGV.

Der spezifische Atemwegswiderstand (SRTOT) ergibt sich über die Gleichung:

$$SRTOT = RTOT \cdot ITGV$$

2.3.2.2 Fluss-Volumen-Kurve

Die Fluss-Volumen-Kurve hing sehr stark von der Mitarbeit und der Motivation der Probanden/innen ab. Aus diesem Grunde wurden die Versuche mindestens dreimal nach Standard ATS (American Thoracic Society) durchgeführt, in jedem Falle jedoch so oft, bis eine Maximalkurve reproduziert werden konnte. Die Bestwerte flossen in die Auswertung ein. Bei geöffneter Türe des Ganzkörperplethysmographen atmete der Proband/in ausgehend von seiner Ruheatmung normal ein und anschließend maximal aus. Anschließend sollte nach maximaler Inspiration so schnell wie möglich in Form eines Atemstoßes maximal ausgeatmet werden (Abb. 2). Äußere Einflüsse, wie körperliche Anstrengung und das vorausgehende Einatmen von Kaltluft, wurden durch Verhaltensempfehlungen weitestgehend ausgeschlossen. So waren die Probanden/innen dazu angehalten, an kalten Tagen auf dem Weg zum Messcaravan einen Schal vor Mund und Nase zu halten. Eine Trendanalyse der Werte für den Atemspitzenfluss und die forcierte Vitalkapazität ließen Trainingseffekte erkennen. Aus diesem Grund wurden Auswertungen mit einer anfänglichen Leistungsverbesserung von den Analysen ausgeschlossen. Die lineare Steigerungstendenz über den gesamten Untersuchungszeitraum (Wachstumseffekt) wurde über eine Trendadjustierung der Messwerte im statistischen Modell berücksichtigt.

Das forcierte Atemmanöver lieferte die Parameter:

- VCMAX: maximale Vitalkapazität (l)
- FEV1: forciertes expiratorisches Volumen in einer Sekunde (l)
- PEF: Atemspitzenfluss (l/s)
- MEF75: Atemfluss bei 75% der Vitalkapazität (l/s)
- MEF50: Atemfluss bei 50% der Vitalkapazität (l/s)
- MEF25: Atemfluss bei 25% der Vitalkapazität (l/s)

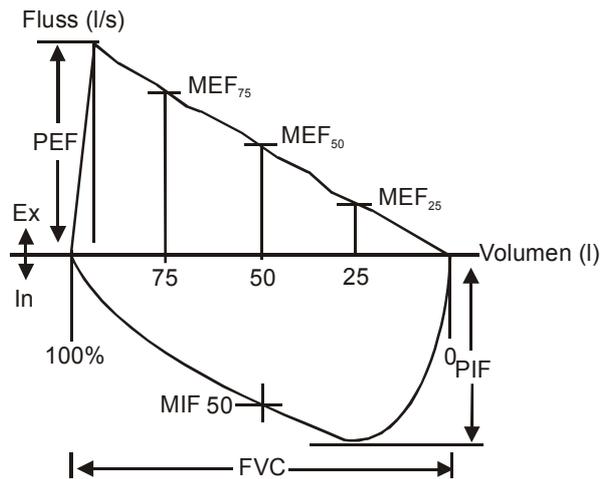


Abb. 2: Schematisierte Darstellung einer Fluss-Volumenkurve. Abszisse: Volumen; Ordinate: Fluss. Unterhalb der Volumenachse ist die Inspiration, oberhalb der Volumenachse ist die Expiration dargestellt, (aus Ferlinz, 1992).

2.4 Methoden der statistischen Auswertung

Zur Beurteilung eines potenziellen Einflusses von PM₁₀, PM_{2.5} oder Ultrafeinstaub auf Befindlichkeit und Lungenfunktion müssen multivariate statistische Modelle verwendet werden. Diese ermöglichen eine Berücksichtigung von saisonalen Variationen, meteorologischen und anderen lufthygienischen Faktoren, zeitlichen Trends (Lern- und Gewöhnungseffekt), sowie die wiederholten Messungen an einzelnen Probanden/innen. Des Weiteren kann der durch die Partikel getragene Effekt isoliert werden. Da die modernen epidemiologischen Verfahren (vor allem das Analysedesign und die Wahl geeigneter Testverfahren) ein hohes Maß an Expertise erfordern, kooperierten wir mit dem Institut für Epidemiologie der GSF und der Harvard School of Public Health, Department of Environmental Health (HSPH). Im August 2002 wurde in Boston in Zusammenarbeit mit Prof. Joel Schwartz und Dr. Antonella Zanobetti (HSPH) ein Analysemodell erstellt, nach dessen Verfahren die Daten des Kollektivs Kinder ausgewertet wurden. Das Modell hatte sich bereits bei der statistischen Analyse einer weiteren Studie des Instituts und der Poliklinik für Arbeits- und Umweltmedizin der LMU mit Senioren bewährt.

Zunächst wurde die Art der Verteilung der abhängigen Variablen untersucht. Wenn die logarithmierten Variablen der Normalverteilung näher kamen (Kolmogorov-Smirnov-Test), wurden diese in die GLM-Modelle (Generalized Linear Models) des Statistik Software-Pakets S+6.0 eingesetzt. Es gingen die Parameter „Probandennummer“ („as factor“), die fortlaufende Messtagsnummer als zeitliche Trendvariable, die Physiologisch Äquivalente Temperatur (PET) als thermischer Index, sowie eine der Partikelkonzentrationen ein. Um Kurzzeiteffekte erfassen zu können, wurde für jeden Probanden die individuelle Exposition einige Stunden vor der Messung berücksichtigt. So wurden für PM10 die Mittelwerte für 3h, 12h und 24h vor der Messung und für Ultrafeinstaub die Mittelwerte für 1h, 3h, 12h und 24h vor der Messung berechnet. Des Weiteren wurden die Auswertungen mit Wochentag-effekten und der Tatsache, dass während des Messzeitraumes zweimal Sommer war, adjustiert.

Für die Analyse der subjektiven Symptome wurde eine Faktoranalyse durchgeführt, mit deren Hilfe typische Zusammenhänge im Sinne eines gemeinsamen Auftretens von Symptomen erkannt werden konnte.

Es ergaben sich folgende Symptomgruppen:

- Erkältung1: Erkältung, Nasenreizung, Husten, Halskratzen, Halsschmerzen
- Erkältung2: Bronchitis, Halskratzen, Halsschmerzen, Erkältung
- Unspezifisch: Hautausschlag, Müdigkeit, Herzrhythmusstörungen, sonstige Beschwerden
- Allergie: Heuschnupfen, Asthma, Augenreizung

Es wurde ein binärer Parameter für jedes Symptombild berechnet. Das Symptombild wurde als vorhanden (=1) bezeichnet, wenn mindestens zwei von drei dominanten Merkmalen zu verzeichnen waren (sonst 0).

Zur Beschreibung eines möglichen Zusammenhangs zwischen der Partikelkonzentration und dem Auftreten von subjektiven Symptomen kamen regressionsanalytische Verfahren zur Anwendung. Um aus den Schätzern (Steigung der Regressionsgerade) plausibel zu erwartende Änderungen der Gesundheits-

endpunkte zu berechnen, wurden für die jeweiligen PM-Parameter die Bereiche zwischen dem 5. und 95. Perzentil genommen. In den Ergebnisdarstellungen sind die prozentualen Veränderungen der Gesundheitsendpunkte bei einem hypothetischem Anstieg der Partikelkonzentrationen um diesen Bereich, sowie deren jeweilige 95% Konfidenzintervalle angegeben.

Alle statistischen Auswertungen im Rahmen von CorPuScula wurden mit den Statistik-Software-Paketen SPSS-PC (Version 10.0.7) und S-Plus (Version 6) durchgeführt.

3 Ergebnisse

Die im folgenden vorgestellten Ergebnisse beziehen sich auf die an der staatlichen Grundschule mit Tagesheim am Strehleranger in Neuperlach durchgeführten Messungen im Zeitraum von Oktober 2001 bis Juli 2002. 50 Probanden/innen im Alter von sechs bis zehn Jahren nahmen an der Studie teil. Es wurden im Mittel 27 Untersuchungen pro Person vorgenommen, wobei ein Schüler aufgrund einer ärztlich diagnostizierten chronischen Bronchitis von der Lungenfunktionsprüfung befreit war. Die Reduzierung der ursprünglich geplanten Untersuchungsanzahl ist auf Erkrankungen der Kinder, sowie auf Schulausflüge zurückzuführen. Insgesamt konnten 1354 Messtermine wahrgenommen werden. Es wurden 1234 Lungenfunktionsmessungen und 1354 Befragungen durchgeführt. Die Staubkonzentrationen wurden an 234 Tagen bestimmt. Tabelle 3 gibt eine Übersicht über die Anzahl der Untersuchungen jedes Studienteilnehmers.

Probanden- nummer	Anzahl der Befragungen n=1354	Anzahl der Lungenfunktions- untersuchungen n=1234
102	26	23
103	29	24
104	27	25
105	27	25
106	32	30
107	31	29
108	31	30
109	30	30
110	26	23
111	29	29

Tab. 3: Anzahl der Messungen pro Teilnehmer

Probanden- nummer	Anzahl der Befragungen n=1354	Anzahl der Lungenfunktions- untersuchungen n=1234
112	25	24
113	27	25
114	28	25
115	30	28
116	27	25
117	30	27
118	23	22
119	29	26
120	28	24
121	27	27
122	28	28
123	26	25
124	29	24
125	28	27
126	25	25
127	29	28
128	28	28
129	28	28
130	27	26
131	25	23
132	28	28
134	30	28
135	29	27
136	21	0
137	28	27
138	23	21

Tab. 3 (Fortsetzung): Anzahl der Messungen pro Teilnehmer

Probanden- Nummer	Anzahl der Befragungen n=1354	Anzahl der Lungenfunktions- untersuchungen n=1234
139	30	25
140	25	23
141	26	27
142	31	27
143	23	20
145	28	25
146	21	19
147	25	23
148	26	24
149	23	28
150	24	21
151	28	24
152	24	23
153	26	22

Tab. 3 (Fortsetzung): Anzahl der Messungen pro Teilnehmer

3.1 Partikelmessung und Klimaparameter

3.1.1 PM10, PM2.5

Im Zeitraum vom 01.10.2001 bis 30.07.2002 wurden an insgesamt 234 Tagen die Staubkonzentrationen von PM2.5 und PM10 gravimetrisch vor Ort bestimmt. Einen Überblick über den Zeitverlauf der Partikelkonzentrationen gibt Abbildung 3.

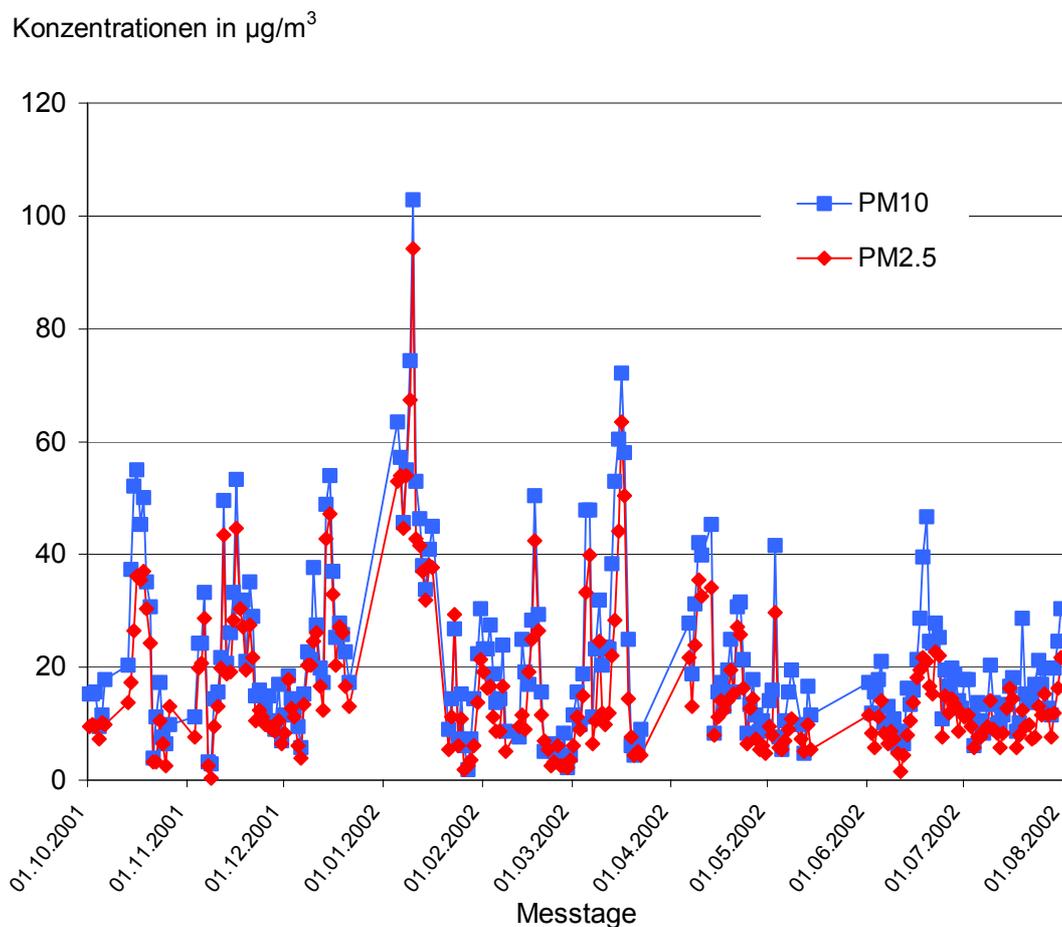


Abb. 3: Zeitverläufe der Partikelkonzentrationen PM10 und PM2.5 am Standort Neuperlach (gravimetrische Mittelwerte 9 – 21 Uhr)

Für die Staubfraktion PM10 ergab sich ein Mittelwert von $21,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Min $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Max $102,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$), für PM2.5 von $16,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Min $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$; Max $94,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Wie aus Abbildung 3 ersichtlich, waren im Winterhalbjahr die Staubkonzentrationen beider Partikelgrößen am höchsten (Maximum am 10.1.2002). Der Verlauf der

beiden Staubfraktionen war sehr ähnlich. Eine Erhöhung der PM10-Konzentration ging immer mit einer Erhöhung der PM2.5- Konzentration einher und umgekehrt. Die Korrelation (Abb. 4) zwischen den beiden Fraktionen ist mit einem Korrelationskoeffizienten von $r = 0,95$ sehr gut. Es ergibt sich ein mittlerer PM2.5-Anteil an PM10 von 71%. Der Zusammenhang beider Fraktionen ist somit sehr eng.

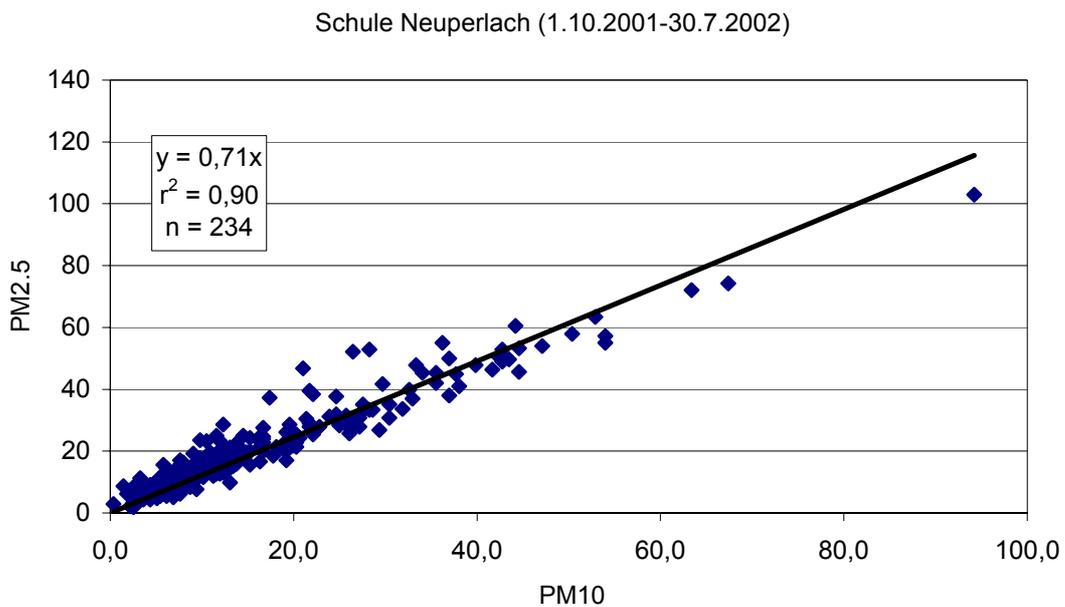


Abb. 4: Korrelation der PM10- und PM2.5-Konzentrationen in Neuperlach

3.1.2 Gesamtpartikelkonzentration (Ultrafeinstaub)

Von 23.01.2002 bis 10.07.2002 wurden mittels eines Partikelzählers (TSI 3025A) die Gesamtpartikelzahlen vor Ort bestimmt, über welche auf den Ultrafeinstaubgehalt geschlossen werden konnte (über 80% der Gesamtpartikel liegen im Bereich von Ultrafeinstaub). Der Partikelzähler wurde parallel zu den gravimetrischen Sammlern eingesetzt. Wie die Zusammenstellung in Tabelle 4 zeigt, sind die Werte über 24 Stunden dem Zeitraum 9 bis 21 Uhr sehr ähnlich.

	Mittel (24h)	Mittel (9-21 Uhr)
Gültige Fälle	140	141
Mittelwert	20540	19735
SD-Abweichung	5989	5521
Minimum	7211	8555
Maximum	37587	34882

Tab. 4: Kenndaten der Ultrafeinstaubkonzentration in Partikel/cm³

Der Mittelwert der unterschiedlichen Messzeiträume differiert um lediglich 805 Partikel/cm³, wobei er beim 24h-Mittel höher ist. Die Differenz der Standardabweichung beträgt 468 Partikel/cm³. Der Minimalwert des 24h-Messzeitraumes liegt bei 7211 Partikel/cm³, der des 12h-Messzeitraumes bei 8555 Partikel/cm³ (Differenz: 1344 Partikel/cm³). Das Maximum des 24h-Mittels beträgt 37587 Partikel/cm³ und übersteigt den Maximalwert des 12h-Messzeitraumes (34882 Partikel/cm³) um 2705 Partikel/cm³.

Im Vergleich, der zeitlichen Verläufe der Konzentrationen von Partikelanzahl mit jenen der Partikelmasse, fallen wenige Gemeinsamkeiten auf. Wie aus Abbildung 5 ersichtlich, ist beispielsweise an Tagen mit hoher PM_{2.5}-Konzentration keine Erhöhung der Partikelanzahl zu sehen und umgekehrt. Des Weiteren sind die Ultrafeinstaubkonzentrationen sehr starken Schwankungen unterworfen.

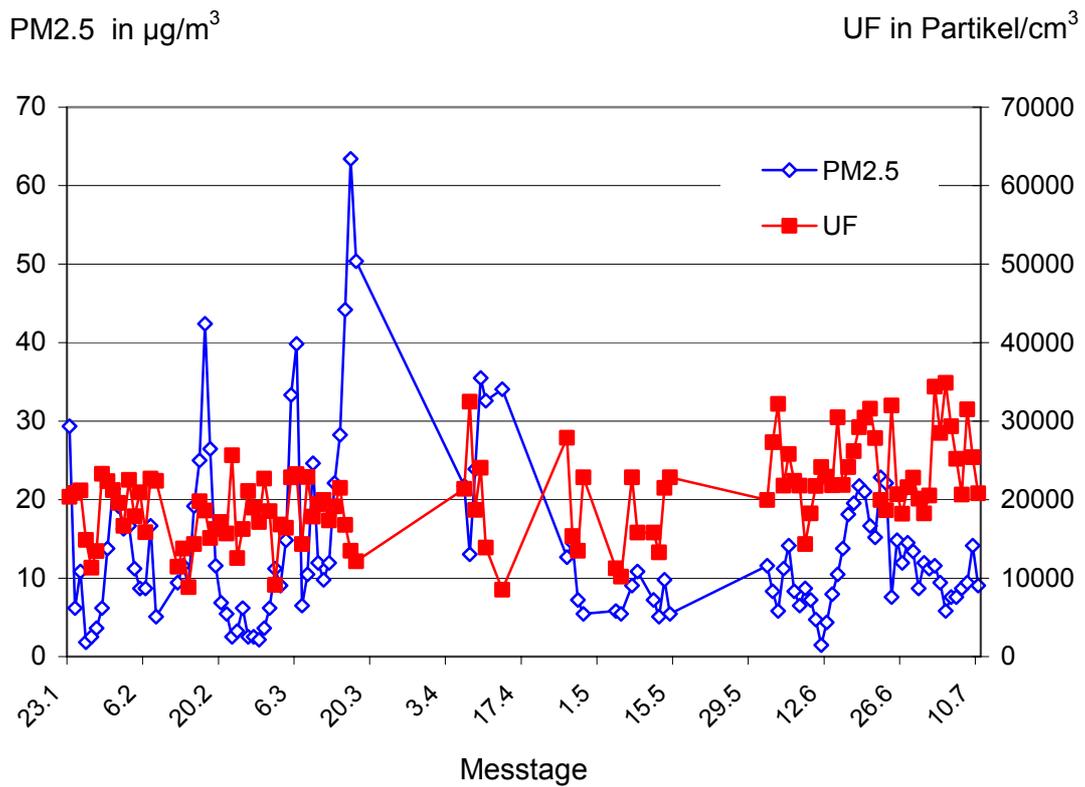


Abb. 5: Zeitverlauf der PM2.5- und Partikelanzahl-Konzentrationen am Standort Neuperlach

Demzufolge gibt es zwischen diesen Parametern keine Korrelation. Dies verdeutlicht auch Abbildung 6.

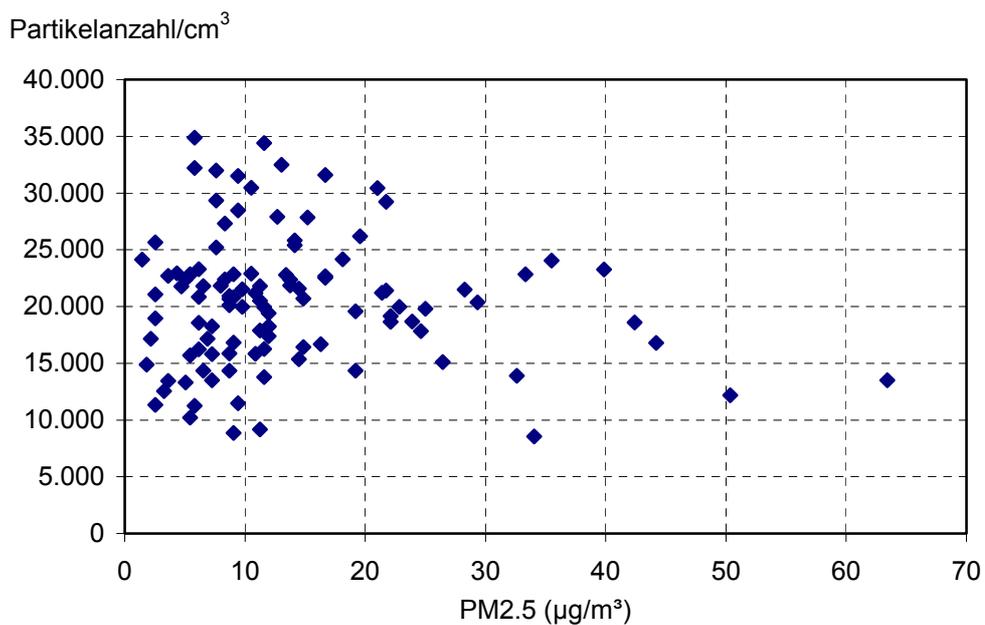


Abb. 6: Korrelation zwischen PM2.5- und Partikelanzahl-Konzentration

3.2 Befragung

3.2.1 Probandenstatus

Einen Überblick über die Angaben zum Gesundheitsstatus der Probanden/innen gibt Tabelle 5.

Frage	Anzahl der Probanden	Prozentualer Anteil (%)
Regelmäßige Medikamenteneinnahme	3	6
Ärztlich diagnostizierte Allergien	5	10
Atopische Hauterkrankungen	6	12
Wirbelsäulenerkrankungen	1	2
Erkrankungen des Blutes	1	2
Sonstige Krankheiten	1	2

Tab. 5: Angaben zum Gesundheitsstatus, Anzahl der betroffenen Probanden und deren prozentualer Anteil

Laut Elternangaben mussten drei Kinder regelmäßig Medikamente einnehmen. Zwei Probanden/innen (4%) unterlagen einer bedarfsmäßigen Medikation mit Antiallergika zur Linderung der Pollinosis-Symptomatik (Zyrtec Kapseln, Atrovent und Berotec zur Inhalation). Ein Proband (2%) nahm tägliche Jodidtabletten (0,1 g, 0-0-1). Im Kollektiv befanden sich fünf Allergiker/innen (10%) mit einer ärztlich diagnostizierten Allergie gegenüber Baum- und/oder Gräserpollen. Bei atopischen Hauterkrankungen wurde ausschließlich Neurodermitis angeführt, wobei der Krankheitsverlauf bei vier der sechs betroffenen Probanden/innen seit mehreren Jahren asymptomatisch war. Die aufgelistete Wirbelsäulenerkrankung entsprach einer leichten Skoliose, die Hämatoopathie einem α_1 -Antitrypsinmangel. Unter sonstigen Krankheiten wurde ein Mitralklappenprolaps angegeben.

3.2.2 Routinebefragung

3.2.2.1 Gesundheitliche Beschwerden

Unter dem Fragenkomplex Beschwerden wurde nach Reizerscheinungen an Augen, Hals und Nase, Halsschmerzen, Husten, dem Bestehen einer Erkältung, Heuschnupfen, (allergischem) Hautausschlag, (allergischem) Asthma bronchiale, chronischer Bronchitis, Herzschlag-Auffälligkeiten, deutlich vermehrter Müdigkeit, Übelkeit/Erbrechen, Schlafstörungen in der letzten Nacht, atemabhängigen und sonstigen Schmerzen gefragt. Die Probanden/innen konnte mit „ja“ oder „nein“ antworten, sowie die Art der sonstigen Schmerzen angeben. Eine genaue Auflistung über Art und Anzahl der Beschwerden gibt Tabelle 6.

Frage	Anzahl der Nennungen	Prozentualer Anteil an der Gesamtbefragung (%) n=1354
Nasenreizung/Schnupfen	405	29,9
Halskratzen	232	17,1
Erkältungsbedingte Beschwerden	186	13,7
Husten ohne Auswurf	178	13,1
Schmerzen	52	3,8
Husten mit Auswurf (Akute Bronchitis)	50	3,7
Deutlich vermehrte Müdigkeit	48	3,5
Schlafstörungen in der letzten Nacht	34	2,5
(Allergischer) Hautausschlag	33	2,4
Sonstige Beschwerden	26	1,9
Halsschmerzen	25	1,8

Tab. 6: Gesundheitliche Beschwerden und deren Häufigkeiten mit prozentualem Anteil an der Gesamtbefragung

Frage	Anzahl der Nennungen	Prozentualer Anteil an der Gesamtbefragung (%) n=1354
Augenreizung/-rötung	24	1,8
Chronische Bronchitis	20	1,5
Heuschnupfen	18	1,3
Übelkeit/Erbrechen	4	0,3
Herzschlagauffälligkeiten	1	0,1
Atemabhängige Schmerzen	1	0,1

Tab. 6 (Fortsetzung): Gesundheitliche Beschwerden und deren Häufigkeiten mit prozentualem Anteil an der Gesamtbefragung

Insgesamt wurden bei 1354 Befragungen 1337 Fälle von Einzelbeschwerden angegeben. Am häufigsten wurde über Nasenreizung/Schnupfen (405 Nennungen, 29,9%), Halskratzen (232 Nennungen, 17,1%) und Husten ohne Auswurf (178 Nennungen, 13,1%) geklagt. Der Unterpunkt „erkältungsbedingte Beschwerden“ wurde 186-mal (13,7%) protokolliert. Eine Eintragung in den Tagesbefund erfolgte nur, wenn ein Kind zwei oder mehr Erkältungssymptome aufwies, oder auf ausdrückliche Anweisung des Projektarztes Dr. med. Wolfgang Guth. Bei einer vorliegenden Erkältung der Probanden/innen wurde keine Lungenfunktionsuntersuchung durchgeführt. Dieses Vorgehen stellte eine Möglichkeit dar, zwischen dem erkältungsbedingtem Auftreten von Beschwerden und den potentiell durch Feinstaub hervorgerufenen Symptomen zu unterscheiden. Schmerzen traten in 52 Fällen (3,8%) auf. Vorwiegend litten die Probanden/innen unter Kopfschmerzen (20 Nennungen) und Bauchschmerzen (sieben Nennungen). In 1,9% der Fälle wurde die Rubrik „sonstige Beschwerden“ genannt (26 Nennungen). Am häufigsten darunter wurde das Beschwerdebild Juckreiz mit acht Angaben verzeichnet. Dem folgte Hautausschlag ohne Pruritus in drei Fällen. Eine leicht erhöhte Temperatur, rhinogene Probleme ohne Schnupfensymptomatik, leichte Entzündungen von Augen oder Ohren, sowie ein Berührungsschmerz der Lippe wurden jeweils zweimal

angegeben. Muskelkater, ein periorales Ekzem, eine ödematöse Schwellung nach Insektenstich, Diarrhö und psychosomatischer Stress nach einer Prügelei waren mit jeweils einer Nennung vertreten.

3.2.2.2 Colakonsum, Exposition mit Tabak- und Bratenrauch, besondere Einflüsse (z.B. Medikamenteneinnahme)

Die Fragen dieser Rubrik bezogen sich auf Faktoren, welche die Lungenfunktion beeinflussen können. Bei Colakonsum wurde der Zeitpunkt der Aufnahme und die Menge festgehalten. Waren die Probanden/innen Tabak- und Bratenrauch ausgesetzt, erfolgte eine Notiz über Zeitpunkt und Dauer der Exposition. Unter besonderen Einflüssen wurde im Falle einer Medikamenteneinnahme die Art des Präparates erfasst. Einen Überblick der Ergebnisse dieser Fragen gibt Tabelle 7.

Frage	Anzahl der Nennungen	Prozentualer Anteil an der Gesamtbefragung (%) n=1354
Colakonsum	3	0,2
Tabakrauchexposition	11	0,8
Bratenrauchexposition	19	1,4
Besondere Einflüsse	61	4,5

Tab. 7: Potentielle Einflussfaktoren auf die Lungenfunktion und deren Häufigkeiten mit prozentualem Anteil an der Gesamtbefragung

Dreimal gaben Kinder an, Cola getrunken zu haben (0,2%), wobei der Konsum ein Glas nicht überstieg. In 0,8% der Fälle unterlagen die Probanden/innen einer Tabakrauchexposition (11 Nennungen). Die Expositionsdauer lag zwischen zehn Minuten und sechs Stunden. Bratenrauch waren die Kinder 19-mal (1,4%)

ausgesetzt. Hier lag die Expositionsdauer zwischen 30 Sekunden und einer Stunde. Beide Angaben bezogen sich hauptsächlich auf den Vortag der Untersuchungen. Unter besonderen Einflüssen wurde von zwei Probanden/innen eine Lärmbelästigung während der Messungen angeführt. Eine Probandin befand sich, laut eigenen Angaben, in einer schlechten psychischen Verfassung. Medikamenteneinfluss wurde in 61 Fällen (4,5%) verzeichnet. Der überwiegende Teil der eingenommenen Arzneimittel waren Antitussiva (18 Nennungen) und Mittel gegen grippale- und rhinogene Beschwerden (11 Nennungen, neun Nennungen).

3.2.2.3 Aufenthaltsdauer im Freien, Aufenthalt außerhalb des Stadtgebietes

Die Fragen dieses Komplexes zielten ebenfalls auf die Exposition gegenüber Feinstaub ab. Die Aufenthaltsdauer der Probanden/innen im Freien wurde in Stunden angegeben und für den Mess- und den Vortag protokolliert. Das Verlassen des Stadtgebietes konnte mit „ja“, oder „nein“ beantwortet werden.

In 4,2% der Fälle wurde angegeben, sich am Vortag der Messungen nicht im Freien aufgehalten zu haben (57 Nennungen). Im Mittel hielten sich die Kinder am Vortag der Messungen 1,8 h im Freien auf. Ein Aufenthalt außerhalb des Stadtgebietes München am Vortag wurde 32-mal angegeben (2,4%), wobei die Nennungen vorwiegend von zwei Probanden/innen stammen. Das Geschwisterpaar hielt sich überwiegend in Tirol auf. In 10,3% der Fälle wurde angegeben, am Messtag nicht im Freien gewesen zu sein (138-mal). Die mittlere Aufenthaltsdauer im Freien lag am Tag der Untersuchungen bei 0,9 h.

3.2.3 Faktoranalyse

Für die Analyse der subjektiven Symptome wurde zunächst eine Faktoranalyse durchgeführt, mit deren Hilfe typische „Krankheitsbilder“ erkannt werden konnten. Für die Kinder ergaben sich folgende Symptomgruppen in absteigender Bedeutung mit den sie beschreibenden Einzelsymptomen:

Erkältung1: Erkältung, Nasenreizung, Husten, Halskratzen, Halsschmerzen

Erkältung2: Bronchitis, Halskratzen, Halsschmerzen, Erkältung

Unspezifisch: Hautausschlag, Müdigkeit, Herzrhythmusstörungen, Sonstige Beschwerden

Allergie: Heuschnupfen, Asthma, Augenreizung

3.2.4 Regressionsanalyse

Um einen Zusammenhang von Partikelkonzentrationen (PM10, PM2.5, Ultrafeinstaub) und dem Auftreten der Symptombilder quantifizieren zu können, wurden für das Kollektiv logistische Regressionen berechnet. Nur für Erkältung1 und Erkältung2 ergaben sich genügend Fälle für eine Regressionsanalyse, da mindestens zwei der drei wichtigsten Einzelsymptome pro Symptomgruppe vorhanden sein mussten. Nur für Erkältung1 ergaben sich signifikante Assoziationen. Abbildung 9 und Abbildung 10 zeigen die zu erwartenden Änderungen des Mittelwertes der Symptomgruppe Erkältung1 (Erkältung, Nasenreizung, Husten, Halskratzen, Halsschmerzen) in Abhängigkeit von den Konzentrationen der Staubfraktionen PM10, PM2.5 und UF. Es ergaben sich sowohl für die PM10- als auch für die PM2.5-Konzentrationen signifikante Veränderungen, welche auf eine Abnahme der Erkältungssymptome an Tagen mit erhöhten Partikelkonzentrationen hinweisen (Odds Ratios < 1). Die PM10-Werte des Messtages (OR 0,44, CI 0,23-0,86), 2 Tage vor dem Messtermin (OR 0,49, CI 0,25-0,93), die individuell berechneten PM10-Mittelwerte der letzten 3 und 24 Stunden vor dem Messtermin (indPM3: OR 0,54, CI 0,33-0,88; indPM24: OR 0,58, CI 0,34-0,97) sowie die PM2.5-Konzentrationen des Messtages (OR 0,39, CI 0,19-0,79) und 2 Tage vor der Messung (OR 0,48, CI 0,25-0,93) sind signifikant mit Erkältung1 assoziiert. Die kleinste signifikante Odds Ratio ergab sich für PM2.5, die größte für indPM3. Für UF ergaben sich keinen signifikanten Assoziationen.

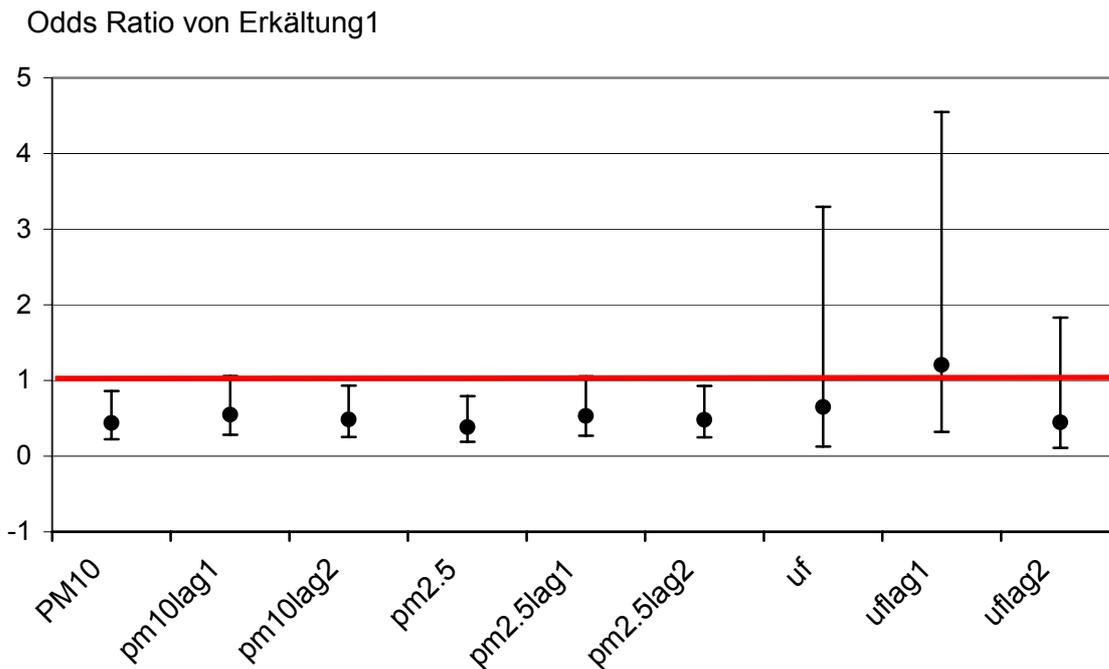


Abb. 7: Odds Ratios und 95% Konfidenzintervall für Erkältung1 im Vergleich hoher zu niedriger Belastung durch die Staubfraktionen PM10, PM2.5 und Ultrafeinstaub (mit jeweiligem 1- und 2-Tageslag)

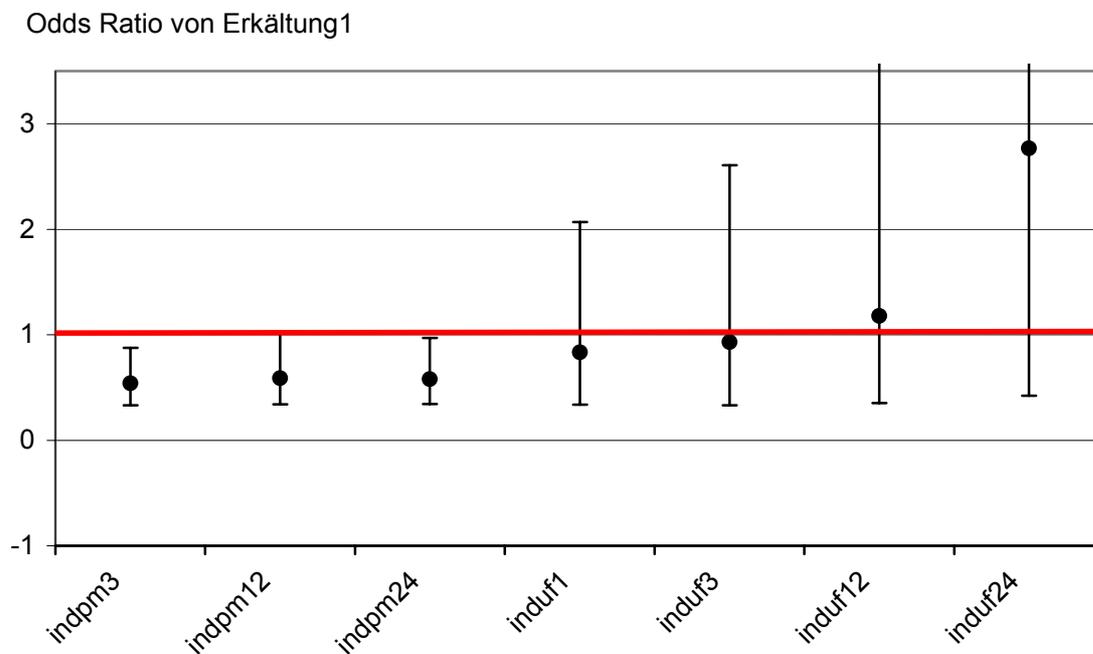


Abb. 8: Odds Ratios und 95% Konfidenzintervall für Erkältung1 im Vergleich hoher zu niedriger Belastungen durch die Staubfraktionen PM10 und Ultrafeinstaub (mit jeweilig berechnetem Mittelwert für die letzten 1, 3, 12 und 24 Stunden vor dem Messtermin).

3.3 Lungenfunktion

3.3.1 Atemwegswiderstände

In den folgenden zwei Abbildungen (Abb. 9, Abb. 10) sind die Verteilungen der totalen Atemwegswiderstände (RTOT) für jeden einzelnen Probanden in Form von Boxplots dargestellt. Insgesamt wurden mittels Bodyplethysmographie 1230 Messungen der totalen Atemwegswiderstände vorgenommen. Der niedrigste Wert von 0,20 kPa*s/l stammt von Probandennummer 132. Das statistische Maximum, 1,24 kPa*s/l, entspricht einem Ausreißer gemäß empirischer Verteilung der Probandin 148. Er ist nicht in Abbildung 8 abgebildet, da es sich nicht um einen punktierten Boxplot handelt. Der Maximalwert, Ausreißer ausgenommen, beträgt 1,07 kPa*s/l (Probandin 104). Die interindividuelle Schwankung des Median reicht von 0,31 kPa*s/l (PN106) bis 0,84 kPa*s/l (PN104). Der Median des Kollektivs ergibt 0,54 kPa*s/l bei einer Standardabweichung von 0,15 kPa*s/l. Auffällig ist die hohe Dichte von Werten im Zentrum der Verteilung bei Probandin 139. Bei ihr wurden 21 Messungen durchgeführt. Dem gegenüber ist die Streuung bei Probandin 145 innerhalb 50% der Verteilung, bei 25 gültigen Messdaten, am größten.

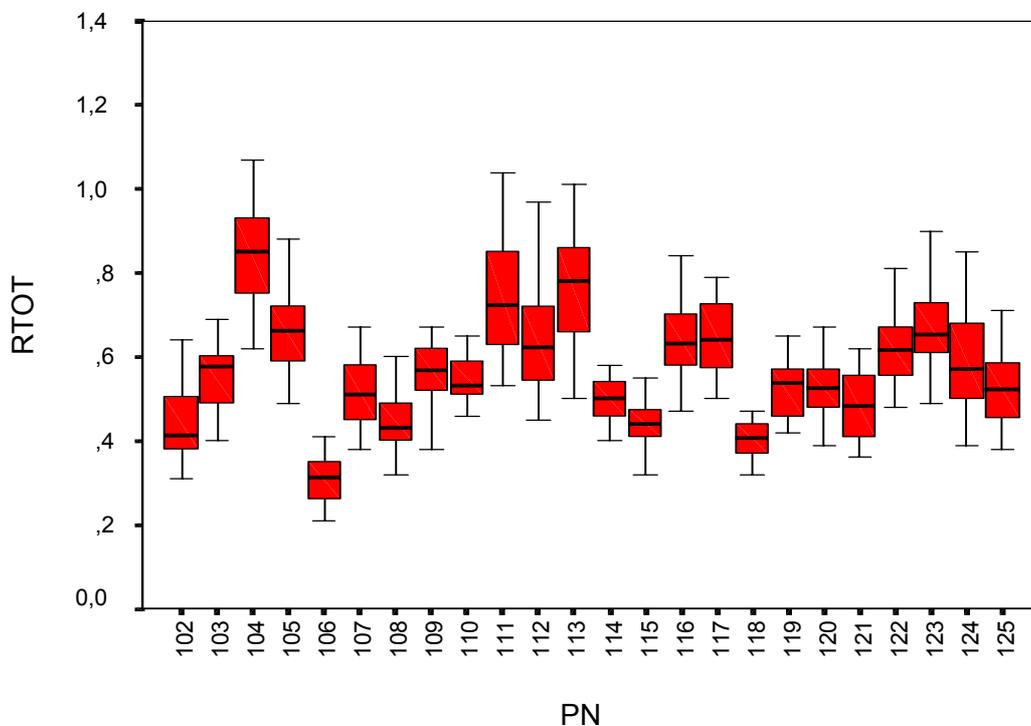


Abb. 9: Individuelle Verteilung der totalen Atemwegswiderstände (RTOT) der Probanden 102-125 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

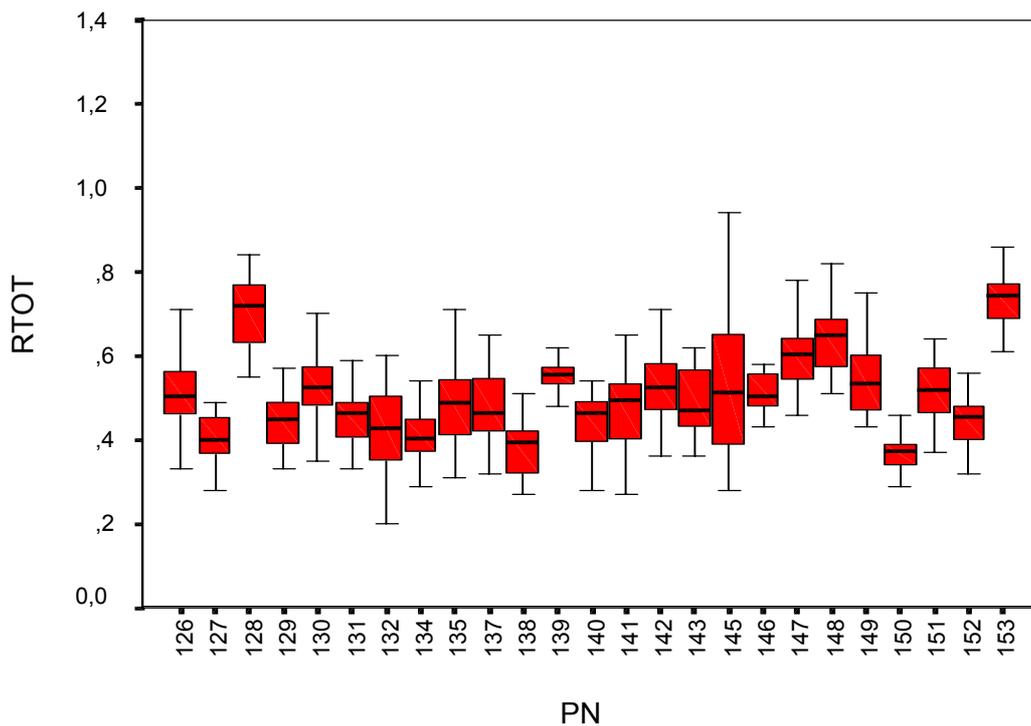


Abb. 10: Individuelle Verteilung der totalen Atemwegswiderstände (RTOT) der Probanden 126-153 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

Die Abbildungen 11 und 12 zeigen die spezifischen Atemwegswiderstände (SRTOT) des Kollektivs. Auch hier wurden 1230 gültige Werte ermittelt. Der kleinste spezifische Widerstand ist 0,33 kPa*s, ermittelt bei Probandin 138. Der Maximalwert von 1,52 kPa*s ist Probandin 148 zuzuordnen. Auch hier handelt es sich um einen Extremwert. Beide Ausreißer (RTOT, SRTOT von PN 148) wurden am gleichen Messtag protokolliert und stehen über die Gleichung $SRTOT = RTOT \cdot ITGV$ in Verbindung. Das im Boxplot wiedergegebene Maximum liegt bei 1,30 kPa*s/l. Der Wert wurde von Probandin 111 zweimal, bei zwei aufeinander folgenden Lungenfunktionsuntersuchungen im Abstand von 12 Tagen erreicht. Der Durchschnittswert lag bei 0,70 kPa*s. Die Standardabweichung ergab 0,16 kPa*s. In den Abbildungen ist eine relativ große Streuung der Werte um den individuellen Median zu sehen. Am deutlichsten ist dies bei Probandin 125. Ihre Werte der spezifischen Atemwegswiderstände bewegen sich in einem Bereich zwischen 1,16 kPa*s und 0,52 kPa*s.

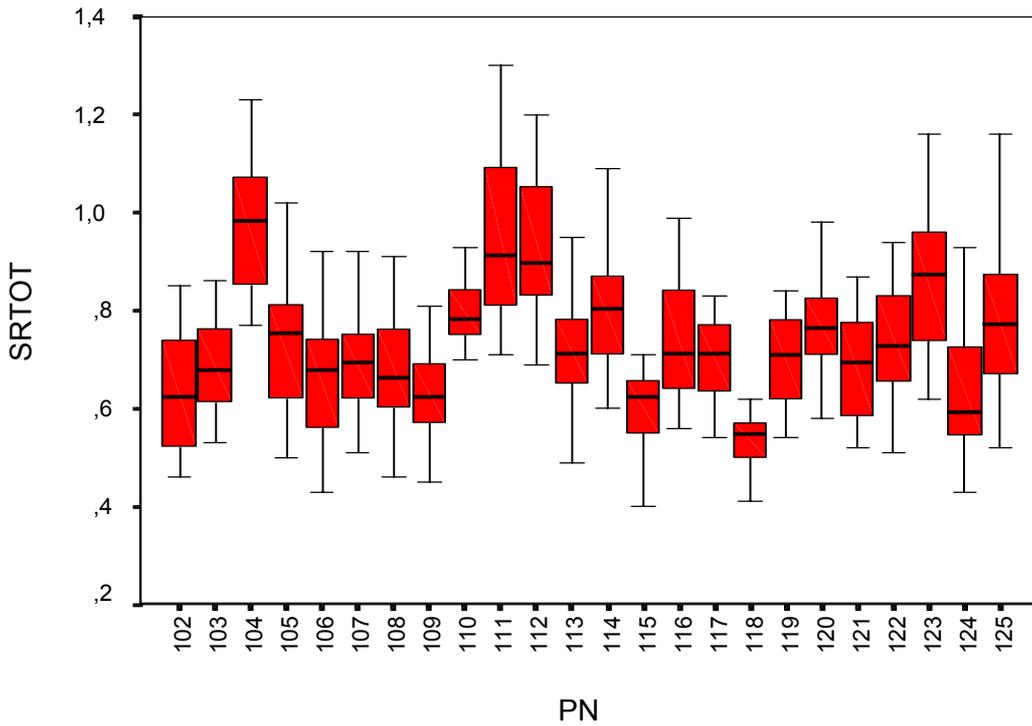


Abb. 11: Individuelle Verteilung der spezifischen Atemwegwiderstände (SRTOT) der Probanden 102-125 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

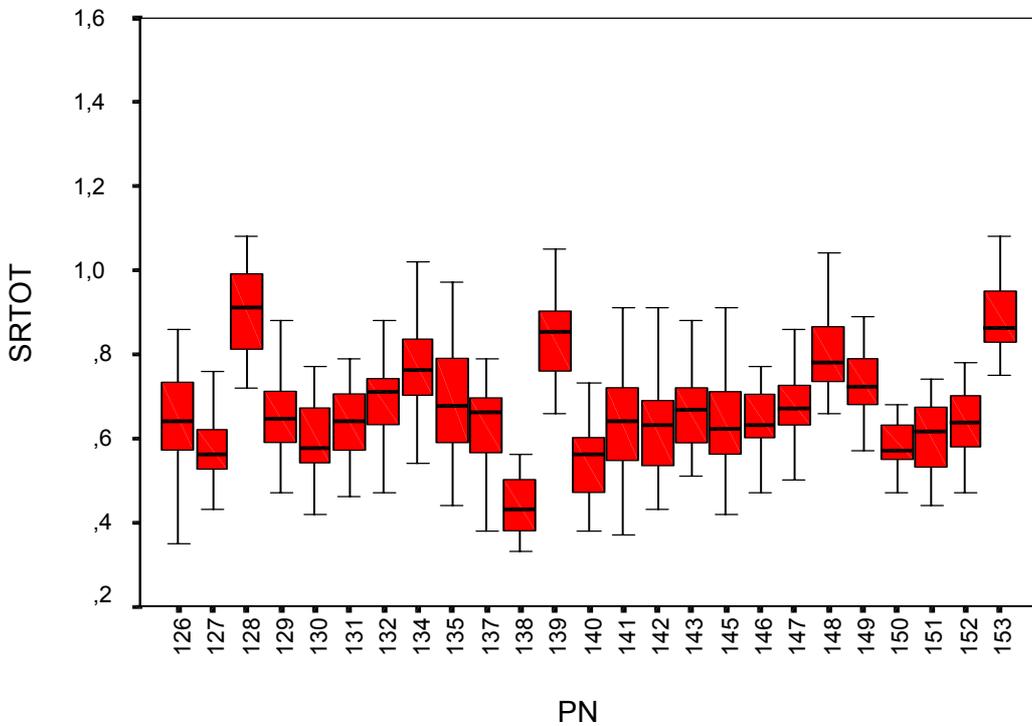


Abb. 12: Individuelle Verteilung der spezifischen Atemwegwiderstände (SRTOT) der Probanden 126-153 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

Für das intrathorakale Gasvolumen (ITGV) wurden insgesamt 1231 Daten ermittelt. Sie sind für die einzelnen Probanden in Abbildung 13 und 14 dargestellt. Der niedrigste Wert von 0,63 l wurde bei Untersuchungsteilnehmerin 113 errechnet. Der Maximalwert beträgt 2,22 l. Er wurde von Probandin 134 erreicht. Das mittlere intrathorakale Gasvolumen des Kollektivs ist 1,15 l. Die Standardabweichung beträgt 0,23 l. Zu beobachten ist eine geringe Streuung der Werte. Bei 25 Probanden beträgt die Spanne zwischen individuellem Maximal- und Minimalwert weniger als 0,35 l. Herausragend sind die Daten von Probandin 106, deren geringstes errechnetes intrathorakales Gasvolumen bei 1,7 l liegt und deren individuelles Maximum mit 2.2 l nur geringfügig unter dem statistischen Maximum des Kollektivs liegt.

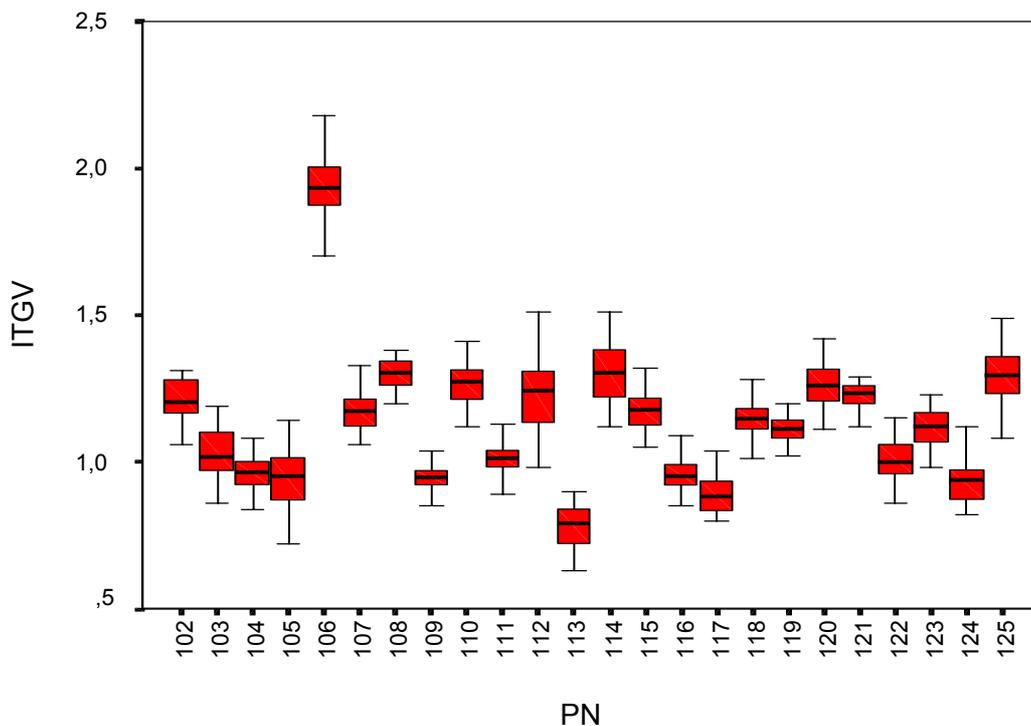


Abb. 13: Individuelle Verteilung des intrathorakalen Gasvolumens (ITGV) der Probanden 102-125 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

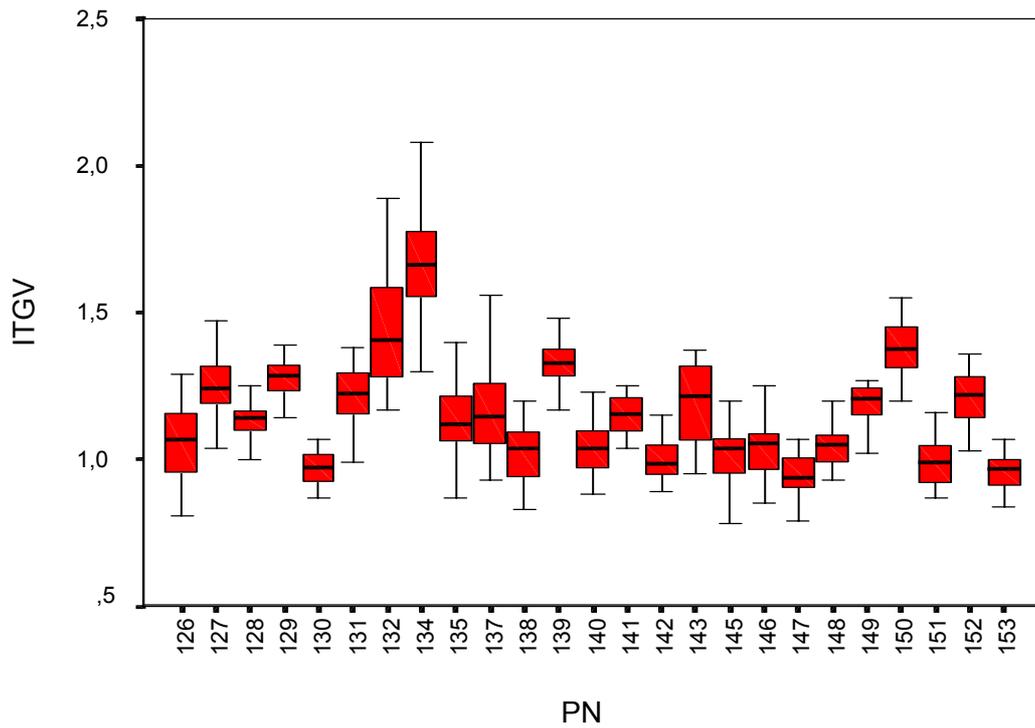


Abb. 14: Individuelle Verteilung des intrathorakalen Gasvolumens (ITGV) der Probanden 126-153 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

Bei den Atemwegswiderständen und dem intrathorakalen Gasvolumen waren keine signifikanten Assoziationen zu den Parametern der untersuchten Partikelfractionen festzustellen.

Der spezifische Atemwegswiderstand (SRTOT) kommt dem Signifikanzniveau jedoch nahe. Abbildung 15 veranschaulicht die zu erwartenden Veränderungen des Mittelwertes der spezifischen Atemwegswiderstände (SRTOT) in Abhängigkeit von UF. Daraus ist ersichtlich, dass sich der individuell berechnete Mittelwert von UF der letzten Stunde (induf1, -3,2%, CI -6,7%/+0,5%) sowie der letzten 3 Stunden (induf3, -3,7%, CI -7,5%/+0,2%) vor der Messung der Signifikanzschwelle annähert. In beiden Fällen sind die SRTOT-Werte an Tagen mit höheren UF-Belastungen niedriger als an Tagen mit geringerer Belastung.

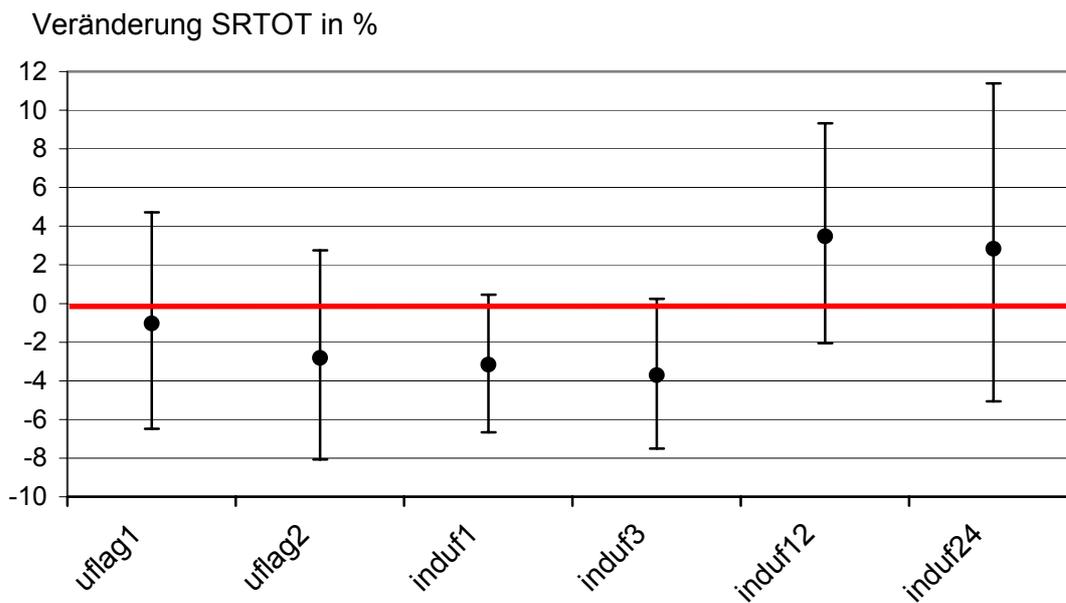


Abb. 15: Zu erwartende Änderungen und 95%-Konfidenzintervalle der spezifischen Atemwegswiderstände (SRTOT) in Abhängigkeit von Ultrafeinstaub (mit 1- und 2-Tageslag und dem berechnetem Mittelwert für die letzten 1, 3, 12 und 24 Stunden vor dem Messtermin).

3.3.2 Vitalkapazität und Einsekundenkapazität

Für die maximale Vitalkapazität (VCMAX) wurden insgesamt 1222 reproduzierbare Werte ermittelt, welche für die einzelnen Probanden in Abbildung 16 und 17 dargestellt sind. Der Minimalwert beträgt 1,32 l. Er wurde bei Probandin 113, der jüngsten Untersuchungsteilnehmerin ermittelt. Das Maximum des Gesamtkollektivs, 3,26 l, ist Probandin 106, der ältesten Teilnehmerin zuzuordnen. Der Durchschnittswert des Kollektivs ergibt 2,08 l. Die Standardabweichung ist 0,34 l. Die individuelle Spannbreite der Messwerte ist als gering zu bezeichnen. Sie reicht von 0,19 l (PN116) bis 0,77 l (PN134). Bei 24% des Kollektivs liegen die Messwerte für die maximale Vitalkapazität unter 2,0 l. Es handelt sich hierbei mit Ausnahme von PN121 und PN142 um die jüngsten Untersuchungsteilnehmer im Alter von sechs und sieben Jahren.

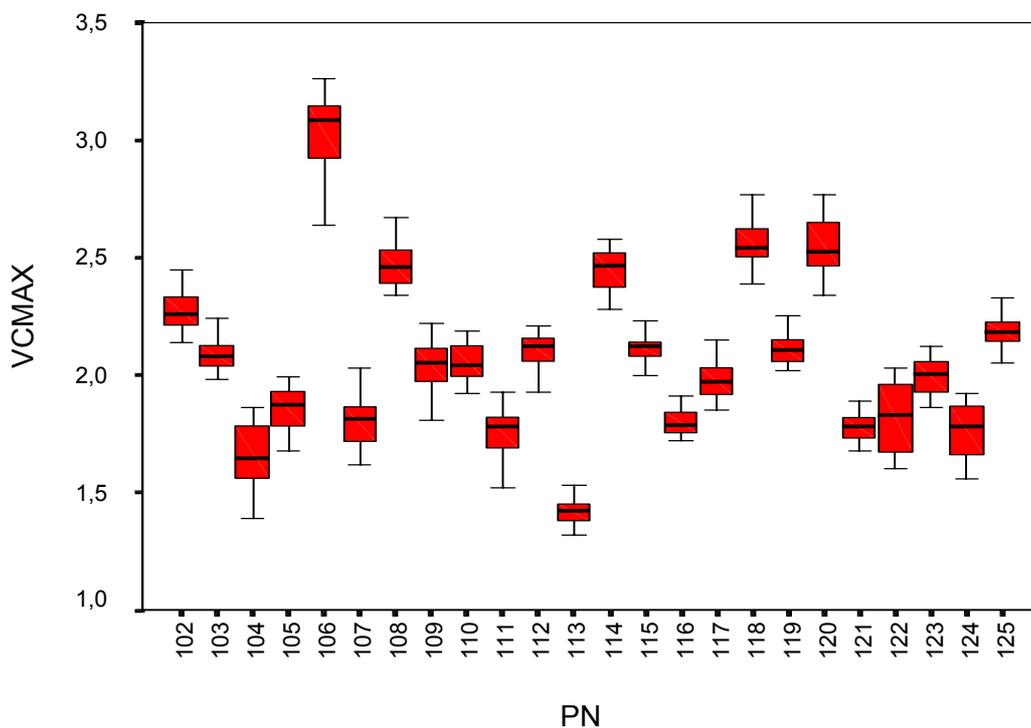


Abb. 16: Individuelle Verteilung der maximalen Vitalkapazität (VCMAX) der Probanden 102-125 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

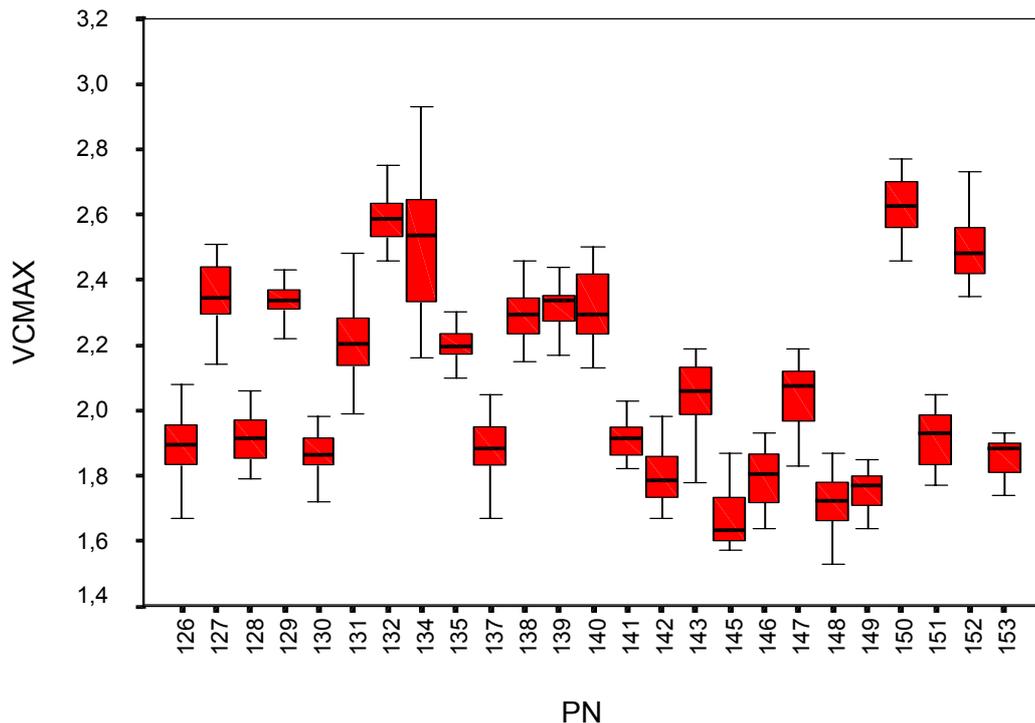


Abb. 17: Individuelle Verteilung der maximalen Vitalkapazität (VCMAX) der Probanden 126-153 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

Für das forcierte expiratorische Volumen in einer Sekunde (FEV1) liegen 1231 gültige Daten vor. In den folgenden zwei Abbildungen (Abb. 18, Abb. 19) sind sie für die einzelnen Probanden in Form von Boxplots dargestellt. Der kleinste Wert stammt von Probandin 113 und liegt bei 0,71 l. Das Maximum, 2,91 l, stammt von Probandin 106. Auffällig ist ihre individuelle Verteilung (Abb. 18), die im Vergleich zum Restkollektiv enorm hohe Werte beinhaltet. So entspricht ihr persönliches Minimum, Ausreißer ausgenommen, 2,44 l, ein Wert, der nur noch von Proband 132 und Proband 150 erreicht wurde. Im Mittel liegt das forcierte expiratorische Volumen in einer Sekunde bei 1,75 l. Die mittlere Standardabweichung ist 0,32 l.

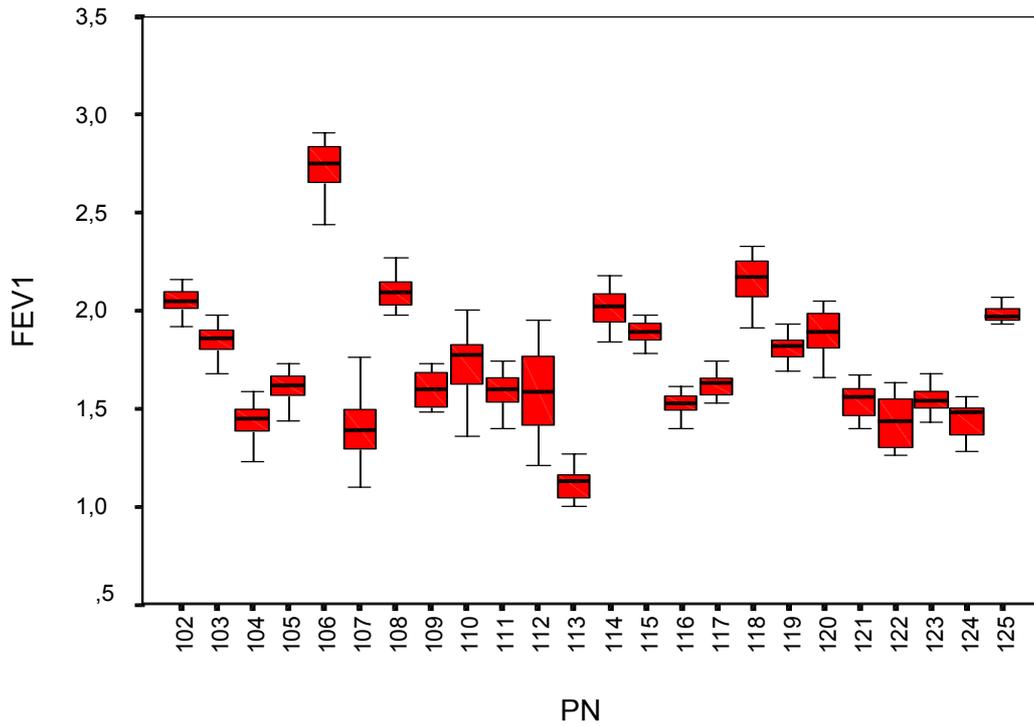


Abb. 18: Individuelle Verteilung des forcierten expiratorischen Volumens in einer Sekunde (FEV1) der Probanden 102-125 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

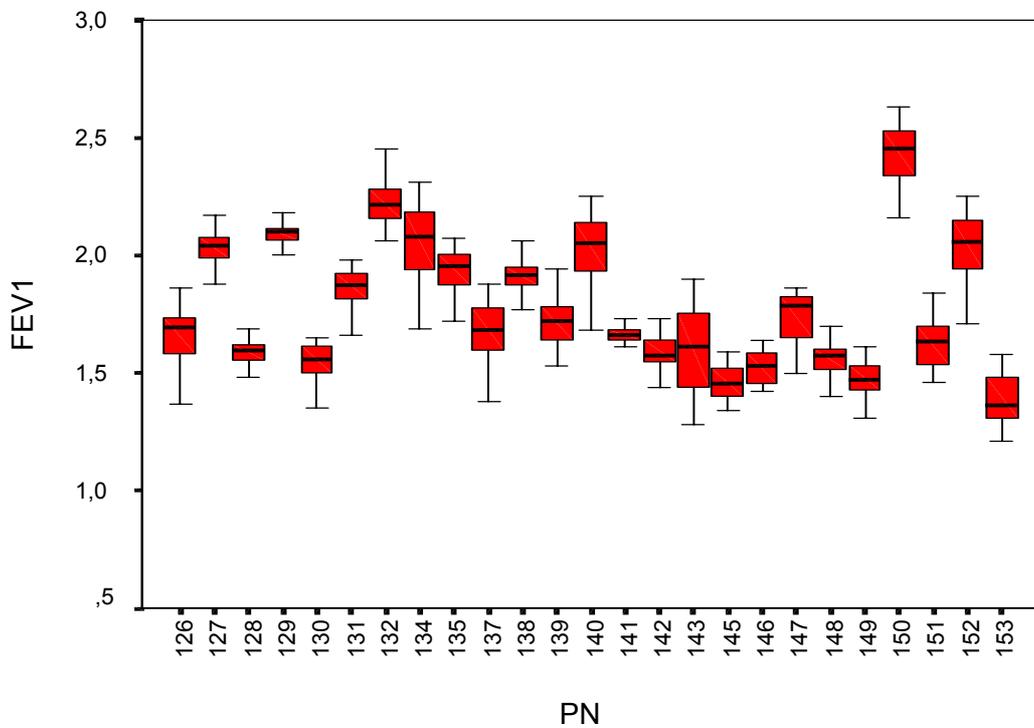


Abb. 19: Individuelle Verteilung des forcierten expiratorischen Volumens in einer Sekunde (FEV1) der Probanden 126-153 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

Aus den Analysen der Assoziationen von Vitalkapazität und Einsekundenkapazität mit den untersuchten Partikelkonzentrationen PM10, PM2.5 und UF ergaben sich keine Signifikanzen.

Die zu erwartenden Veränderungen der Einsekundenkapazität (FEV1) in Abhängigkeit von UF in Abbildung 20 zeigen jedoch, dass der individuell berechnete Mittelwert der UF-Konzentrationen der letzten 12 Stunden vor der Messung mit $p=0,09$ in die Nähe der Signifikanzschwelle kommt. Es ist eine Abnahme an Tagen mit hohen UF-Belastungen zu verzeichnen.

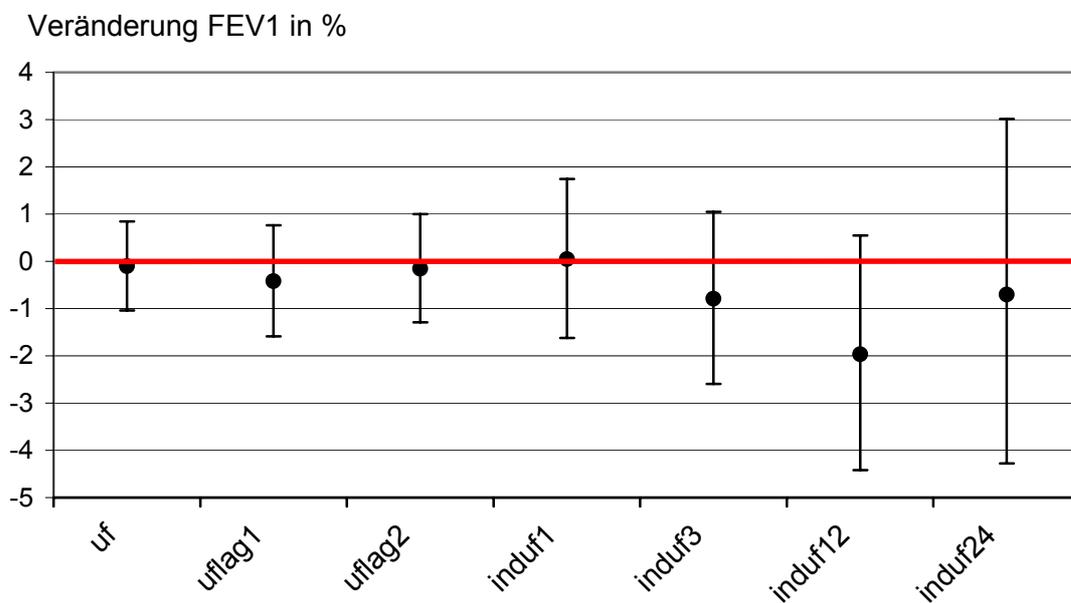


Abb.20: Zu erwartende Änderungen und 95%-Konfidenzintervalle des expiratorischen Volumens (FEV1) in Abhängigkeit von Ultrafeinstaub (mit 1- und 2-Tageslag und dem berechnetem Mittelwert für die letzten 1, 3, 12 und 24 Stunden vor dem Messtermin).

3.3.3 Atemflüsse

Für die Atemflüsse lagen jeweils 1234 gültige Werte bei 75% und 50% der Vitalkapazität vor, für die Atemflüsse bei 25% waren es 1224 Daten. Das Minimum von MEF75 betrug 0,99 l/s, der Maximalwert 6,30 l/s. Der Mittelwert des Kollektivs ergab 3,76 l/s. Die Standardabweichung war 0,87 l/s. Der kleinste, der vorliegenden MEF50-Werte lag bei 0,27 l/s. Dem gegenüber war der Maximalwert bei 5,08 l/s zu verzeichnen, der Mittelwert betrug 2,24 l/s. Die Standardabweichung war 0,68 l/s. Das Minimum des Atemflusses bei 25% der Vitalkapazität betrug 0,12 l/s, das Maximum betrug 2,54 l/s. Im Mittel ergab sich ein Atemfluss von 0,91 l/s. Die Standardabweichung war 0,37 l/s.

Für die Atemspitzenflüsse (PEF) liegen 1152 gültige Messdaten vor. Das Minimum, der über die Fluss-Volumen-Kurve ermittelten Werte, betrug 1,96 l/s. Dieser Wert stammt von Probandin 113. Ihr sind die 13 niedrigsten Atemspitzenflüsse zuzuordnen. Der maximale Wert, 6,54 l/s, ist von Probandin 106. Im Durchschnitt lag der Atemspitzenfluss der Probanden/innen bei 4,52 l/s. Die Standardabweichung war 0,85 l/s. Abbildung 21 und 22 veranschaulichen die ermittelten Daten.

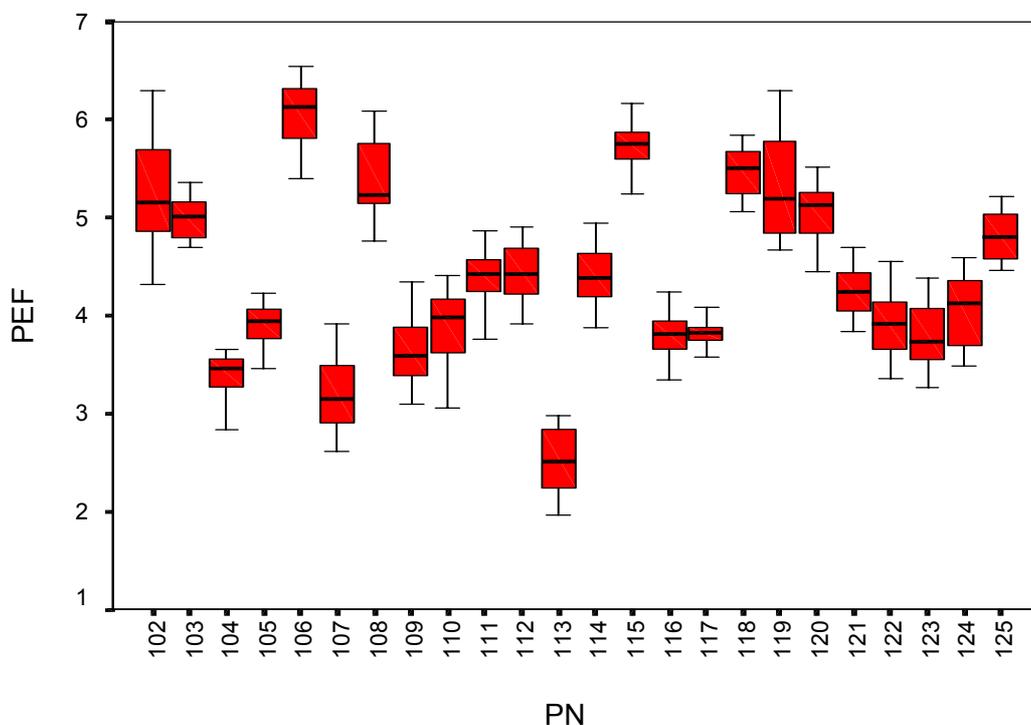


Abb. 21: Individuelle Verteilung der Atemspitzenflüsse (PEF) der Probanden 102-125 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

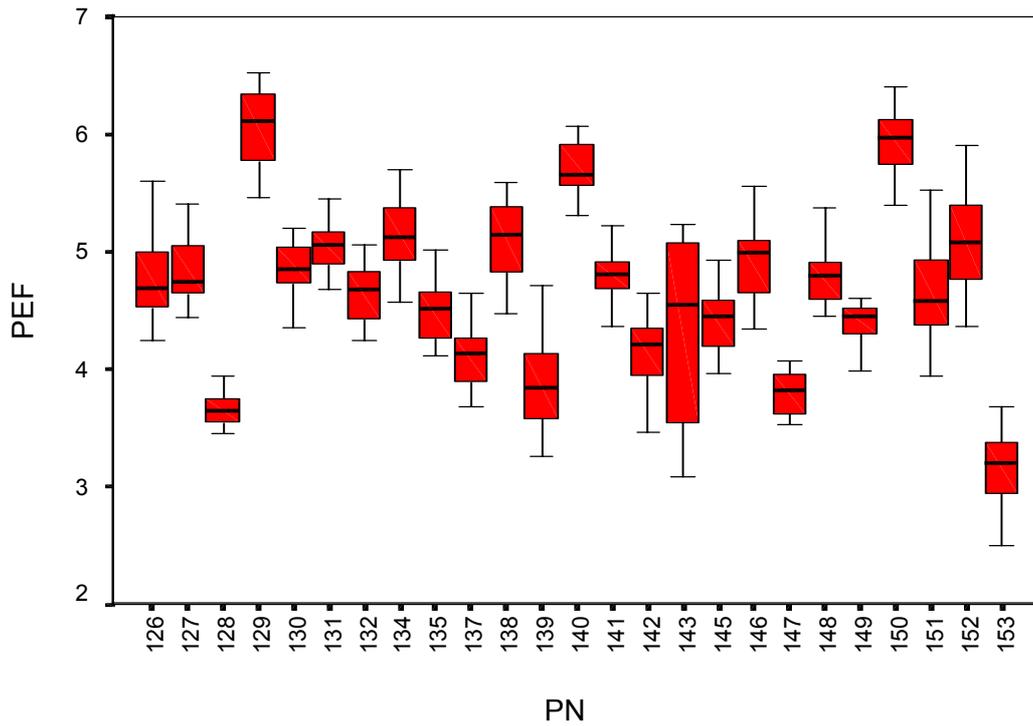


Abb. 22: Individuelle Verteilung der Atemspitzenflüsse (PEF) der Probanden 126-153 in Form von Boxplots. Es werden Median, Interquartilbereich, Minimum und Maximum dargestellt.

Alle Kenngrößen der untersuchten Partikelkonzentrationen waren in Hinsicht auf Assoziationen mit den Atemflüssen bei 75%, 50% und 25% der Vitalkapazität ,sowie der Atemspitzenflüsse, weit von jeglicher statistischer Signifikanz entfernt.

3.3.4 PET

Die Ergebnisse der Lungenfunktionsuntersuchungen zeigen hochsignifikante Assoziationen mit der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET). So ist bei einem Anstieg von PET vom 5. zum 95. Perzentil eine Verminderung des Atemspitzenflusses (PEF) um 4% (CI -6,2%/ -1,2%), sowie des spezifischen Atemwegswiderstandes (SRTOT) um 14% (CI -18,8%/ -9,1%) zu verzeichnen. Für die maximale Vitalkapazität (VCMAX) und die Einsekundenkapazität (FEV1) konnten keine signifikanten thermischen Einflüsse gefunden werden. In Abbildung 23 sind die Assoziationen zwischen den thermischen Bedingungen am Messtag und den Lungenfunktionsparametern in Form von mittleren prozentualen Veränderungen und Konfidenzintervallen dargestellt.

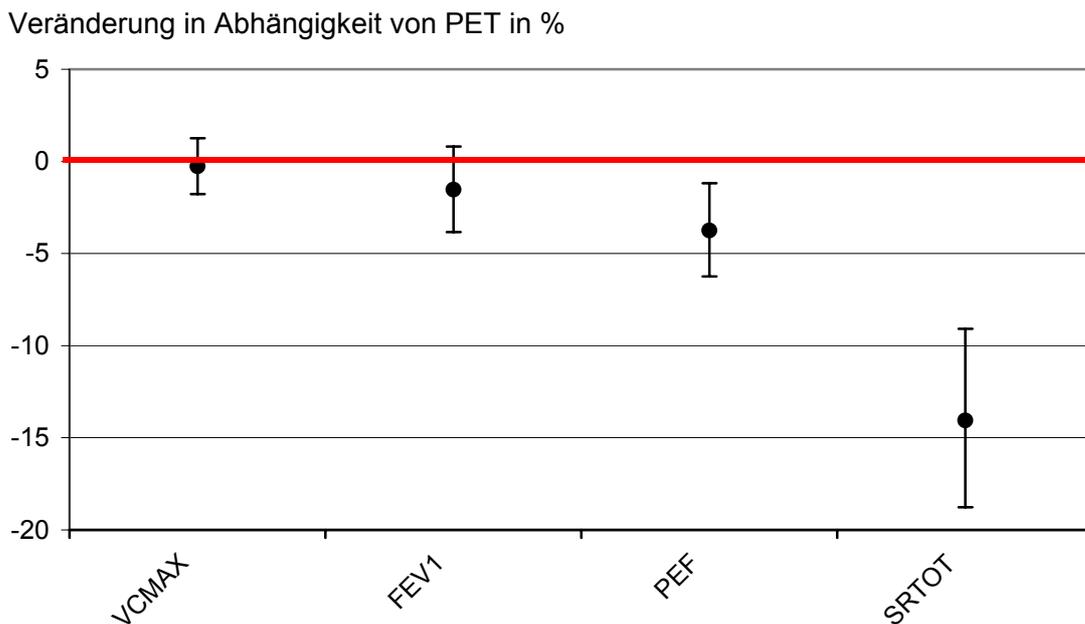


Abb. 23: Zu erwartende Änderungen und 95%-Konfidenzintervalle der Lungenfunktionsparameter VCMAX, FEV1, PEF und SRTOT in Abhängigkeit von PET.

4 Diskussion

Die zunehmende Luftverschmutzung bedroht nicht nur Flora und Fauna, sondern auch den Menschen selbst. Kinder sind dabei am meisten gefährdet. Aufgrund ihres langen Aufenthaltszeitraumes im Freien, ihrer regen körperlichen Aktivität und ihrer hohen Atemfrequenz sind Kinder prädestiniert für Erkrankungen, welche durch die lungengängigen Fraktionen des Schwebstaubes hervorgerufen werden (Beck et al., 2001). In diesem Zusammenhang gab es bereits eine Vielzahl von Studien (Neuberger et al., 2004, Peacock et al., 2003, van der Zee et al., 1999). Am Institut für Arbeits- und Umweltmedizin der Ludwig-Maximilians-Universität in München widmet man sich bereits seit 2000 im Rahmen des Forschungsvorhabens CorPuScula der Frage nach dem Einfluss von Feinstaub auf die Gesundheit des Menschen. Die Untersuchungen wurden an Senioren und ein Jahr später an Kindern durchgeführt.

4.1 Diskussion der Methoden

4.1.1 Studienform

Der Vorteil einer umweltepidemiologischen Longitudinalstudie ist der relativ lange Untersuchungszeitraum, über den das Probandenkollektiv beobachtet wird. So kann eine große Anzahl von Untersuchungsdaten ermittelt werden, welche aussagekräftige Ergebnisse zulassen. Laut Keiding und Rindel (1995) werden Studien bezüglich Luftverschmutzung und ihrer pulmonalen Wirkung bei Kindern zunehmend als Longitudinalstudien durchgeführt. Verglichen mit Querschnittsstudien bieten sie den Vorteil, dass das Kollektiv selbst als Kontrolle fungiert und so eventuell vorhandene Confounder-Probleme in den Griff zu bekommen sind. Die Durchführung von Feldmessungen, bei denen das Risikokollektiv unter alltäglichen Bedingungen untersucht wird, hat den deutlichen Vorteil gegenüber Laboruntersuchungen, dass die Probanden nicht nur bestimmten Feinstaubkonzentrationen, sondern auch anderen Umwelteinflüssen ihres Lebensraumes ausgesetzt sind. Andererseits wird bei umweltepidemiologischen Studien durch die Vielzahl von gemeinsam wirkenden

Faktoren eine eindeutige Interpretation der Ergebnisse oftmals erschwert. Laut Feinstein (1988) sind epidemiologische Studien umstritten. Dies liegt an den verfügbaren Methoden, die einerseits Aussagen zulassen die mit herkömmlichen wissenschaftlichen Methoden nicht möglich wären, andererseits sind sie mit Unsicherheiten behaftet, die nicht den gewohnten wissenschaftlichen Normen entsprechen. Auch Dab et al. (2001) äußern sich kritisch über wissenschaftliche Studien, die sich mit den gesundheitlichen Auswirkungen von Partikeln befassen, da meist Gruppen von sehr unterschiedlichen Staubfraktionen zusammengefasst werden. Demgegenüber ist Rutishauser (1985) der Auffassung, dass Anhaltspunkte über einen eventuell schädlichen Effekt von Luftschadstoffen nur mit epidemiologischen Untersuchungen gewonnen werden können.

4.1.2 Untersuchungsablauf

Um grundlegende Fehler im Untersuchungsablauf zu unterbinden, wurde stets mit konstanter Messanordnung und feststehender Systematik mit gleichem Personal vorgegangen. Intraindividuelle Messabweichungen durch mangelhafte Motivation oder Mitarbeit sind unwahrscheinlich, da es sich um freiwillige Probanden/innen mit großem Interesse an der Studie handelte. Durch Untersuchung der Probanden/innen an einem bestimmten Wochentag, immer zur gleichen Zeit, war es möglich, einen eventuellen Einfluss zirkadianer Unterschiede der Lungenfunktion weitestgehend auszuschließen (Barnes, 1985, Hetzel et al., 1978, Wegener et al., 1994). Äußere Einflüsse, wie körperliche Anstrengung und das Einatmen von Kaltluft wurden durch Verhaltensempfehlungen minimiert. Erkrankungen der Atemwege wurden durch die Routinebefragung erfasst und die Lungenfunktionsprüfung je nach Ermessen des Projektarztes nicht durchgeführt.

4.1.3 Untersuchungskollektiv

Die Probanden nahmen freiwillig an der Studie teil, was mit Sicherheit das Maß an Motivation und Kooperation heraufsetzte. Als einziges Ausschlusskriterium galt Tabakrauchexposition im häuslichen Umfeld. Ein Proband war aufgrund einer ärztlich

diagnostizierten chronischen Bronchitis von der Lungenfunktionsuntersuchung ausgeschlossen. Bei der Eingangsuntersuchung wurde darauf geachtet, dass die Durchführbarkeit der Untersuchungen mit den jeweiligen Probanden/innen gewährleistet war.

Das Kollektiv bestand aus 50 Kindern im Alter zwischen sechs Jahren und zehn Jahren. Fünf ärztlich diagnostizierte Allergiker gehörten zum Kollektiv. Diese können laut Braun-Fahländer et al. (1989) in einigen Studien als speziell empfindliche Untergruppe betrachtet werden. So konnten Gesundheitseffekte, ausgehend von Luftschadstoffen nur bei Asthmatikern und Allergikern (Lebowitz et al., 1985), oder Allergie-Hauttest positiven Kindern (Kagamimori et al., 1986) beobachtet werden. Ein Vergleich mit einem Kontrollkollektiv, wie in anderen publizierten Studien (Mostardi et al., 1981, Marth et al., 1991) wurde nicht durchgeführt. Dies ist im Falle der CorPuScula Studie nicht nötig, da lediglich der Zusammenhang zwischen auftretenden Partikelkonzentrationen und akuten gesundheitlichen Auswirkungen bei einer vermuteten Risikogruppe, wissenschaftlich nachgewiesen werden soll.

4.1.4 Routinebefragung

Der verwendete Fragebogen „CorPuScula Tagesbefund Kinder“ (siehe Anhang 3) war standardisiert und an das Probandenkollektiv Kinder angepasst. Er hatte sich in leicht abgeänderter Form bereits bei der CorPuScula-Seniorenstudie bewährt. Um ein gewissenhaftes Abarbeiten der Fragen zu gewährleisten, wurde die Befragung in Form eines persönlichen Interviews durchgeführt. Dies bringt das Problem einer möglichen Beeinflussung durch den Interviewer mit sich. Vor allem Kinder können durch Suggestivfragen sehr leicht manipuliert werden. Durch eine Befragung mit exaktem Wortlaut der schriftlichen Formulierung wurde dem entgegengewirkt. Zudem war der Fragebogen in sehr einfacher und verständlicher Form gestaltet. Das Interview bietet zudem den Vorteil, dass mögliche Unklarheiten direkt geklärt werden können. Einzig Frage 4, zur Abschätzung der Außenluftexposition mit Ermittlung der Aufenthaltszeiten im Freien am Messtag und am Vortag, ist als problematisch anzusehen, da Kinder in diesem Alter (sechs-zehn Jahre) über ein schlechtes Zeitgefühl verfügen.

4.1.5 Lungenfunktionsuntersuchung

Die komplette Lungenfunktionsuntersuchung setzte sich aus einer Bodyplethysmographie (Ruheatmung) und einer anschließenden Spirometrie mit Ermittlung der Parameter der Fluss-Volumen-Kurve (forciertes Atemmanöver) zusammen. Der mit Hilfe der Unterbrechermethode ermittelte Atemwegswiderstand wird häufig als mitarbeitersunabhängig postuliert. Es zeigte sich jedoch in einer Studie, dass die Probanden auch nach Gewöhnung an den plötzlich auftretenden Widerstand teilweise verstärkt gegen diesen atmeten und so den Wert künstlich erhöhten (Radon, 1999). Die Untersuchungstechnik der Spirometrie ist sehr stark von Mitarbeit und Motivation der Probanden/innen abhängig. So wurden die Versuche mindestens dreimal nach Standard ATS durchgeführt, in jedem Fall jedoch so oft, bis eine Maximalkurve reproduziert werden konnte. Messdatenverfälschung aufgrund eines Anstrengungsasthmas konnten aufgrund der eigens vom Projektarzt vorgenommenen Untersuchung ausgeschlossen werden. Werte mit zu beobachtendem Trainingseffekt wurden von den Analysen ausgeschlossen, Wachstumseffekte im statistischen Modell berücksichtigt. Die Messergebnisse der Übungsuntersuchungen flossen nicht in die Auswertung ein.

In einer großen Anzahl von anderen Untersuchungen (Tiittanen et al., 1999, Horak et al., 2000) wurden nur Daten der Fluss-Volumen-Kurve erhoben. Durch eine alleinige Datenerhebung mittels Fluss-Volumen-Kurve können Einschränkungen in anderen Lungenfunktionsparametern jedoch übersehen werden.

4.2 Diskussion der Ergebnisse

4.2.1 Partikel

Die aufgetretenen Tagesmittelwerte der Partikelkonzentrationen (PM10: $1,8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – $102,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ /PM2.5: $0,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ – $94,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$), wie auch die erhöhten Messwerte während der Heizperiode im Winter, gehen mit anderen Studienergebnissen konform (Neuberger et al., 2004, Eltschka et al., 1992). Der seit 1.1.2005 geltende Grenzwert der EU-Richtlinie 1999/30/EG (EU, 2001) für PM10 von $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, welcher 35-mal im Jahr überschritten werden darf, wurde während der Messungen 14-mal, im Zeitraum von Oktober bis März überschritten. Dabei im Januar alleine 6-mal. Der festgelegte Jahresmittelwert von $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ wurde nicht überschritten. Somit wären an unserem Messort die EU-Vorgaben eingehalten worden. Die für das Jahr 2010 geplante Verschärfung der EU-Richtlinie mit einem Grenzwert für PM10 von $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ im Jahresmittel und nur noch bis zu 7 Tagesmitteln $> 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, könnte bei gleichbleibender Belastung nicht eingehalten werden. Die Partikelkonzentrationen erreichten somit Werte, welche für den Gesundheitsschutz langfristig als zu hoch angesehen werden können.

Der PM2.5-Anteil an PM10 von 71% verdeutlicht den engen Zusammenhang beider Fraktionen. Eine Erhöhung der PM10-Konzentration ging mit einer Erhöhung der PM2.5-Konzentration einher und umgekehrt. Somit wäre die Erfassung nur einer der beiden Messgrößen absolut ausreichend. Dies geht auch mit den Ergebnissen der Arbeitsgruppe „Wirkung von Feinstaub auf die menschliche Gesundheit“ konform, weshalb sie keine Notwendigkeit in der Erlassung spezieller PM2.5 Grenzwerte sieht (Kappos et al., 2003).

Im Zeitverlauf der Partikelanzahl-Konzentrationen wurde der Maximalwert des 24h-Mittels von $37587 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ am 08.07.2002, das Minimum von $7211 \text{ Partikel}/\text{cm}^3$ am 14.02.2002 verzeichnet. Die atypische Datierung des Maximal- und Minimalwertes verdeutlicht bereits die fehlende Korrelation zwischen Partikelanzahl und Partikelmasse. Somit ist an Tagen mit hohen PM-Konzentrationen nicht immer mit einer Erhöhung der Partikelanzahl zu rechnen und umgekehrt. Diese Tatsache wirkt sich sehr günstig auf die Wirkungsanalysen aus, da hierdurch festgestellt werden

kann, ob ultrafeine Partikel einen eigenen Beitrag zu den gefundenen Effekten auf die Gesundheits-Endpunkte haben. Die Ultrafeinstaubkonzentrationen sind sehr starken Schwankungen unterworfen, was aufgrund des geringen Durchmessers in der starken thermodynamischen Abhängigkeit begründet sein könnte.

4.2.2 Symptommhäufigkeit

Die in dieser Untersuchung erhobenen Symptommhäufigkeiten in Abhängigkeit von den Staubfraktionen PM₁₀, PM_{2.5} und Ultrafeinstaub ergaben nur für das Symptombild Erkältung¹ signifikante Assoziationen. Erkältung¹ beinhaltet die Krankheitssymptome Erkältung, Nasenreizung, Husten, Halskratzen und Halsschmerzen, wobei mindestens zwei der Symptome vorhanden sein mussten. Die ausgewerteten Befragungsergebnisse zeigten eine verminderte Odds Ratio an Tagen mit erhöhten PM₁₀- und PM_{2.5}-Konzentrationen, was für eine protektive Wirkung erhöhter Partikelkonzentrationen sprechen würde. Eine kausale Verbindung ist jedoch nicht zu erkennen. Diesbezügliche Hinweise aus anderen Studien gibt es nicht. Die Tatsache, dass eine Erhöhung der Partikelkonzentrationen nicht mit einer Erhöhung der Odds Ratios für andere Reizsymptome einhergeht, deckt sich mit anderen Studienergebnissen (Shy et al., 1973, Linn et al., 1996 Ghio et al., 2000), in denen auch keine Assoziation zwischen erhöhten Staubkonzentrationen und vermehrtem Auftreten von Symptomen dokumentiert wurde. Allerdings ist es schwierig, Resultate der Literatur mit den studieneigenen Ergebnissen zu vergleichen, da stets Unterschiede in der Fragestellung oder der Art der Befragung vorhanden sind. Erschwerend kommt hinzu, dass es sich bei den Probanden um Kinder (sechs-zehn Jahre) handelt, deren subjektives Befinden von sehr vielen Seiten beeinflusst werden kann.

4.2.3 Lungenfunktionsuntersuchung

Atemwegswiderstände

Die über Bodyplethysmographie ermittelten Daten RTOT, SRTOT und ITGV zeigen in Abhängigkeit von den untersuchten Partikelfractionen (PM10, PM2.5, UF) keine relevanten oder auch signifikanten Assoziationen. Es konnte jedoch ein Zusammenhang zwischen der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) und dem spezifischen Atemwegswiderstand (SRTOT) festgestellt werden. So ist bei einem hypothetischen Anstieg von PET ein Abfall des spezifischen Atemwegswiderstandes um 14% zu beobachten. Ein Vergleich mit studienfremden Ergebnissen ist schwierig, da bei Kinderstudien hauptsächlich spirometrische Daten in die Auswertung einfließen und die Bodyplethysmographie nicht Bestandteil der Lungenfunktionsuntersuchung war.

Vitalkapazität und Einsekundenkapazität

Aus den studieneigenen Ergebnissen kann bezüglich Vitalkapazität und Einsekundenkapazität nicht auf medizinisch relevante Partikeleffekte geschlossen werden. Die Auswertung lieferte keine signifikanten Veränderungen.

Dockery et al. (1982) untersuchten während vier Perioden mit erhöhten Schwebstaubkonzentrationen in der Luft 200 Kinder in Ohio und fanden dabei einen kleinen, jedoch statistisch signifikanten Abfall der Vitalkapazität und der 1-Sekundenkapazität. Allerdings kann der parallel gemessene, sehr hohe Schwefeldioxidgehalt zu einer Pseudocroup-Symptomatik geführt haben, was die Untersuchungsergebnisse nach eigenen Angaben verfälscht haben könnte. Des Weiteren handelte es sich um die Erfassung der Kurzzeitwirkung, die laut Autor auf lange Sicht reversibel war. Doch auch Dassen et al. (1986) und Horak et al. (2002) berichten, entgegen unserer Studienergebnisse, über eine Verminderung des forcierten expiratorischen Volumens in Abhängigkeit von hohen Partikelkonzentrationen.

Atemflüsse

Die Studienergebnisse sind nicht signifikant und lassen keinen medizinisch relevanten Zusammenhang zwischen erhöhten Staubkonzentrationen und den Lungenfunktionsparametern des Atemflusses erkennen. Es ergab sich jedoch eine signifikante Assoziation der thermischen Bedingungen (PET) mit Abfall des Atemspitzenflusses PEF um 4%. Dies könnte in einer geringeren Motivationsbereitschaft oder einer schnelleren Ermüdung der Probanden während des Atemmanövers an Tagen mit höheren Außentemperaturen begründet sein.

In sehr vielen Veröffentlichungen ist der Atemspitzenfluss (PEF) als aussagekräftiger Lungenfunktionsparameter, bezüglich der Auswirkungen von Feinstaub, beschrieben. So auch in einer Studie von Lebowitz et al. (1985), in der ein Zusammenhang zwischen dem vermehrten Auftreten von Staubpartikeln und verringerten PEF-Werten belegt werden konnte. Diesen Trend untermauert zudem die Untersuchung von Pope et al. aus dem Jahre 1991. Sie belegt eine Verringerung der PEF-Werte bei erhöhten PM10-Konzentrationen. Überdies stellten auch van der Zee et al. (1999) fest, dass bei Kindern ohne chronische Atemwegserkrankungen signifikante Assoziationen zwischen PM10 und PEF bestehen, wobei diese bei bronchial vorgeschädigten Kindern höher sind. Demgegenüber konnten Eltschka et al. (1992) keine signifikanten Einflüsse von Partikeln auf die Lungenfunktion mittels täglicher PEF-Messung nachweisen. Allerdings wurde bei allen diesen Studien die Temperatur nicht so kontrolliert wie bei der CorPuScula-Kinderstudie.

Unter Einbeziehung der Dissertationsergebnisse von Frau Eva Winkler, welche die Wirkung von Feinstaub über die Untersuchung von EKG-Kurven und Blutdruckwerten beschreiben, lassen sich folgende relevante Assoziationen zwischen medizinischen Endpunkten und Partikelkenngößen zusammenfassen:

- Anstieg der Herzfrequenz (+2% - PM10, PM2.5lag1, PM2.5lag2)
- Abnahme der Herzfrequenzvariabilität (RMSSD -7% - PM2.5lag1)
- Verminderung des sympathischen Tonus der HRV (LF/HF:+13% - PM10)
- Anstieg des systolischen Blutdrucks (+3% - PM10, PM2.5)
- Absinken des diastolischen Blutdrucks (-4% - PM10lag1, PM10lag2)
- Signifikante Assoziationen der thermischen Bedingungen am Messtag (PET) mit Abfall des Atemspitzenflusses PEF (-4%) und der Atemwegswiderstände SRTOT (-14%), Absinken des diastolischen Blutdrucks (-6%) und Abnahme der Herzfrequenzvariabilität (-25%)

Die Ergebnisse legen nahe, dass die im Raum München auftretenden Partikelkonzentrationen Effekte auf eine Reihe von kardialen Kenngrößen haben, jedoch auf das subjektive Befinden und die Lungenfunktion von Kindern keine signifikante und ausgeprägte Wirkung besitzen. Aus den Ergebnissen ist nicht klar abzuleiten, ob nun die größeren Partikel (PM10, PM2.5) oder die ultrafeinen Partikel für die gesundheitsrelevante Partikelwirkung verantwortlich sind, da beide Fraktionen unterschiedliche signifikante Effekte gezeigt haben. So scheint der Einfluss der ultrafeinen Partikel bei einigen EKG-Parametern zu überwiegen, während die Assoziationen beim Blutdruck durch die größeren Partikel dominiert werden. Für Blutdruck und Lungenfunktionsparameter ist jeweils eine größere Assoziation zu den thermischen Bedingungen (PET) als zu den Partikelkonzentrationen zu beobachten.

5 Zusammenfassung

Bereits in der Vergangenheit wurden in einer Vielzahl umweltmedizinischer Studien adverse Gesundheitseffekte durch die inhalierbare Fraktion des Schwebstaubes nachgewiesen. In der vorliegenden umweltepidemiologischen Longitudinalstudie sollte geklärt werden, ob die im Raum München auftretenden Partikelkonzentrationen (PM₁₀, PM_{2.5}, UF) Auswirkungen auf die Lungenfunktion und das subjektive Befinden von Kindern haben - falls ja, ob dabei einzelne Größenfraktionen von Bedeutung sind und eine Wirkschwelle festgelegt werden kann. Die kardiale Wirkung von Feinstaub auf Kinder wird in einer anderen Dissertation, von Frau Eva Winkler, abgehandelt.

Die Durchführung der Studie erfolgte an der staatlichen Grundschule mit Tagesheim am Strehleranger in München Neuperlach. Das Untersuchungskollektiv bestand aus 50 Kindern im Alter zwischen sechs und zehn Jahren (29 Mädchen, 21 Jungen). Als einziges Ausschlusskriterium galt Tabakrauchexposition im privaten Umfeld. Mittels eines mobilen Messcaravans wurde die Lungenfunktionsprüfung (Bodyplethysmographie und Atemstoßtest mit Fluss-Volumen-Messung) und die Befragung bezüglich gesundheitlicher Beschwerden und Irritationen vor Ort im Pausenhof der Schule durchgeführt. Es wurden bei jedem Probanden im Mittel 27 Messungen durchgeführt, insgesamt 1234 Lungenfunktionsuntersuchungen und 1354 Befragungen.

Die Studie erbrachte folgende Ergebnisse:

Partikelmessung

Die Staubkonzentrationen von PM₁₀ lagen im Mittel bei 21,5 µg/m³ (Min. 1,8 µg/m³, Max. 102,9 µg/m³), von PM_{2.5} bei 16,4 µg/m³ (Min. 0,4 µg/m³, Max. 94,2 µg/m³) und für die Gesamtpartikelzahl bei 20540 Partikel/cm³ (Min. 7211 Partikel/cm³, Max. 37587 Partikel/cm³). Zwischen PM₁₀ und PM_{2.5} bestand ein enger Zusammenhang. Es ergab sich ein mittlerer PM_{2.5}-Anteil an PM₁₀ von 71%. Die Ultrafeinstaubkonzentrationen waren sehr starken Schwankungen unterworfen. Es bestand keine Korrelation mit PM_{2.5} oder PM₁₀.

Subjektive Symptomhäufigkeit

Eine Faktoranalyse zu Symptomgruppen ergab als die vier wichtigsten Symptombilder in absteigender Reihenfolge:

Erkältung1. Erkältung, Nasenreizung, Husten, Halskratzen, Halsschmerzen

Erkältung2: Bronchitis, Halskratzen, Halsschmerzen, Erkältung

Unspezifisch: Hautausschlag, Müdigkeit, Herzrhythmusstörungen, Sonstige Beschwerden

Allergie: Heuschnupfen, Asthma, Augenreizung

Nur für Erkältung1 und Erkältung2 ergaben sich genügend Fälle für eine Regressionsanalyse. Lediglich für Erkältung1 ergaben sich signifikante Assoziationen. Die Befragungsdaten zeigten eine Abnahme der Erkältungssymptome (Odds Ratios<1) an Tagen mit erhöhten PM10- und PM2.5-Konzentrationen. Eine kausale Verbindung ist jedoch nicht plausibel.

Lungenfunktionsuntersuchung

Es bestanden keinerlei signifikante Assoziationen zwischen den untersuchten Lungenfunktionsparametern und den Partikelfraktionen PM10, PM2.5 und Ultrafeinstaub.

In die Nähe der Signifikanzschwelle kamen der spezifische Atemwegwiderstand (SRTOT) und die Einsekundenkapazität (FEV1) in Abhängigkeit von UF (SRTOT-induf1, induf3/ FEV1-induf12). In beiden Fällen sind die Lungenfunktionswerte an Tagen mit hohen Ultrafeinstaub-Belastungen niedriger.

Es konnte jedoch ein Zusammenhang zwischen der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) und dem Atemspitzenfluss (PEF), sowie dem spezifischen Atemwegwiderstand (SROT) festgestellt werden. Es zeigte sich, dass ein hypothetischer Anstieg der Physiologisch Äquivalenten Temperatur (PET) mit einer Verminderung von PEF um 4% und von SROT um 14% einhergeht. Somit ergaben sich für die Lungenfunktion größere Assoziationen zu den thermischen Bedingungen als zu den Partikelkonzentrationen.

Unter Einbeziehung der Dissertationsergebnisse von Frau Eva Winkler

- Anstieg der Herzfrequenz (+2% - PM10, PM2.5lag1, PM2.5lag2)
- Abnahme der Herzfrequenzvariabilität (RMSSD -7% - PM2.5lag1)
- Verminderung des sympathischen Tonus der HRV (LF/HF:+13% - PM10)
- Anstieg des systolischen Blutdrucks (+3% - PM10, PM2.5)
- Absinken des diastolischen Blutdrucks (-4% - PM10lag1, PM10lag2)
- Signifikante Assoziationen der thermischen Bedingungen am Messtag (PET) mit Absinken des diastolischen Blutdrucks (-6%) und Abnahme der Herzfrequenzvariabilität (-25%)

lässt sich erkennen, dass die im Raum München auftretenden Partikelkonzentrationen Einflüsse auf kardiale Kenngrößen, jedoch nicht auf das subjektive Befinden und die Lungenfunktion von Kindern besitzen. Allerdings liegen die assoziierten Veränderungen in einem Größenbereich, der auch durch andere Faktoren, wie z.B. thermische Verhältnisse oder intraindividuelle Schwankungen bedingt sein kann. Auch ist nicht klar abzuleiten, ob nun die größeren Partikel (PM2.5, PM10) oder die ultrafeinen Partikel für die gesundheitsrelevante Partikelwirkung verantwortlich sind. So scheint der Einfluss der ultrafeinen Partikel bei einigen EKG-Parametern zu überwiegen, während die Assoziation beim Blutdruck durch die größeren Partikel dominiert wird. Wobei für Blutdruck und Lungenfunktionsparameter eine größere Assoziation zu den thermischen Bedingungen (PET) als zu den Partikelkonzentrationen zu beobachten ist. Die Befunde deuten jedoch darauf hin, dass den ultrafeinen Partikeln eine spezifische Rolle zuzuschreiben ist, welcher in weiteren Studien nachgegangen werden muss.

6 Literaturverzeichnis

Barnes P.J.: Circadian variation in airway function. Am. J. Med. 79: 5-9 (1985)

Beck J., Brengel P.B. van, Brink R.M.M. van den, Brunekreef B., Buringh E., Cassee F.R., Eerens H.C., Fischer P.H., Keuken M., Loveren H. van, Matthijssen J., Opperhuizen A., Schlessinger R. B., Slanina J., Smeets W.L.M., Steerenberg P.A., Visser H., Weijers E.: Discussion document on health risks of particulate matter in ambient air. Netherlands aerosol programme (NAP), (2001)

Braun-Fahrländer Ch., Ackermann-Liebrich U., Wanner H.U., Rutishauser M., Gnehm H.E., Minder Ch.E.: Auswirkungen von Luftschadstoffen auf die Atemwege von Kleinkindern. Schweiz. Med. Wschr. 1424-1433 (1989)

Dab W., Segala C., Dor F., Festy B., Lameloise P., Le Moule Y., Le Tetre A., Medina S., Quenel P., Wallaert B., Zmirou D.: Air pollution and health: correlation or causality? The case of the relationship between exposure to particles and cardiopulmonary mortality. J Air Waste Manage Assoc. 51: 220-235 (2001)

Dassen W., Brunekreef B., Hoek G., Hofschreuder P., Staatsen B., de Groot H., Schouten E., Biersteker K.: Decline in children's pulmonary function during an air pollution episode. J Air Pollut Control Assoc. 36: 1223-1227 (1986)

Dockery D.W., Ware J.H., Ferris B.G. Jr., Speizer F.E., Cook N.R., Herman S.M.: Change in pulmonary function in children associated with air pollution episodes. J Air Pollut Control Assoc. 32: 937-942 (1982)

Eltschka R., Herceg R., Moseler M., Matthys H.: Auswirkung der Luftverunreinigung auf spirometrische Messgrößen, bronchiale Hyperreagibilität, Krankheitsrisiko und Krankheitsverlauf. Projekt Umwelt und Gesundheit (PUG), Freiburg: April 1992

EU: Richtlinie 1999/30/EG des Rates vom 22. April 1999 über Grenzwerte für Schwefeldioxid, Stickstoffdioxid und Stickstoffoxide. Partikel und Blei in der Luft. Geändert durch Entscheidung 2001/744/EG vom 17. Oktober 2001. 1999/30/EG AmtsBl vom 29. Juni 1999 Nr. L 163 S.41 (2001)

Feinstein A.R.: Scientific standards in epidemiologic studies of the menace of daily life. Science 242: 1257-1263 (1988)

Ferlinz R.: Diagnostik in der Pneumologie. Georg Thieme Verlag, Stuttgart; 2. Auflage (1992)

Gilmour P.S, Brown D.M, Lindsay T.G, Beswick P.H, Mac Nee W., Donaldson K.: Adverse health effects of PM10 particles: involvement of iron in generation of hydroxyl radical. Occup Environ Med. 53: 817-823 (1996)

Ghio A.J., Kim C., Devlin R.B.: Concentrated ambient air particles induce mild pulmonary inflammation in volunteers. Am J Respir Crit Care Med., 162: 981-988 (2000)

Hetzel M.R., Clark T.J., Brown D.: Normal circadian rhythms in peak expiratory flow rate. Thoracic 33: 668-672 (1978)

Hick C., Hick A.: Kurzlehrbuch Physiologie. Urban und Fischer Verlag, München Jena; 3. Auflage (2000)

Höppe P.: Heat Balance Modelling. Experientia 49: 741-746, (1993)

Höppe P.: The physiological equivalent temperature – a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. Int J Biometeorol. 43: 71-75 (1999)

Horak jr. F., Studnicka M., Gartner Ch., Neumann M., Tauber E., Urbanek R., Veiter A., Frischer T.: Der Einfluss von inhalierbaren Staubpartikeln (PM10) auf Lungenfunktion und respiratorische Symptome bei niederösterreichischen Volksschulkindern. Wien Klein Wochenschr. 112/3: 126-132 (2000)

Horak jr. F., Studnicka M., Gartner C., Spengler J.D., Tauber E., Urbanek R., Veiter A., Frischer T.: Particulate matter and lung function growth in children: a 3-year follow-up-study in Austrian schoolchildren. Eur Respir J. 19/5 : 838-845 (2002)

Kagamimori S., Kato T., Naruse Y. et al.: The changing prevalence of respiratory symptoms in atopic children in response to air pollution. Clin. Allergy 16: 229-308 (1986)

Kappos A., Bruckmann P., Eikmann T., Englert N., Heinrich U., Höppe P., Koch E., Metz N., Rauchfuss K., Rombout P., Schabronath J., Schulz-Klemp V., Spallek M., Wichmann H., Kreyling W., Krause G.: Bewertung des aktuellen wissenschaftlichen Kenntnisstandes zur gesundheitlichen Wirkung von Partikeln in der Luft. *Umweltmed Forsch Prax* 8 (5): 257-278 (2003)

Keiding L.M., Rindel A.K.: Respiratory illness in children and air pollution in Copenhagen. *Archives of Environmental Health* May/June: 200-206 (1995)

Lebowitz M.D., Holberg C.J., Boyer B., Hayes C.: Respiratory symptoms and peak flow associated with indoor and outdoor air pollutants in the southwest. *Air Pollut Control Ass.* 35: 1154-1158 (1985)

Linn W.S., Shamoo D.A., Anderson K.R., Peng R.C., Avol E.L., Hackney J.D., Gong H. Jr.: Short-term air pollution exposures and responses in Los Angeles area schoolchildren. *J Expo Anal Environ Epidemiol* 6: 449-472 (1996)

Marth E., Hüßle Ch., Pelrch J.J.: Einwirkungen von Luftschadstoffen auf das Immunsystem. *Forum Städte Hygiene* 42 November/ Dezember: 364-367 (1991)

Mostardi R.A., Ely D.L., Woebkenberg W.R.: The university of acron study on air pollution and human health effects. *Arch. Environ. Health* 36: 243-255 (1981)

Neuberger M., Moshammer H.: Suspended particulates and lung health. *Wien Klin Wochenschr.* 116 Suppl 1: 8-12 (2004)

Peacock J.L., Symonds P., Jackson P., Bremner S.A., Scarlett J.F., Strachan D.P., Andersson H.R.: Acute effects of winter air pollution on respiratory function in schoolchildren in southern England. *Occup Environ Med* 60: 82-89 (2003)

Peters A., Schulz H., Kreyling W.G., Wichmann H.E.: Staub und Staubinhaltsstoffe/ Feine und ultrafeine Partikel. *Handbuch Umweltmedizin* 14. Erg. Lfg: 1-16, Eco Med Verlag Landsberg (1998)

Peters A., Ibalid-Mulli A., Stadeler S., Woelke G., Tuch T., Kreyling W.G., Wichmann H.E., Pekkanen J., Heinrich J: Symptoms increase in association with fine and ultrafine particles in patients with coronary heart disease. *Am J Resp Crit Care Med* 163: A24 (2000)

Pope C.A. 3rd, Dockery D.W., Spengler J.D., Raizenne M.E.: Respiratory health and PM10 pollution. A daily time series analysis. *Am Rev Respir Dis* 144: 668-674 (1991)

Pope C.A. 3rd.: Particulate matter-mortality exposure-response relations and threshold. *Am J Epidemiol* 152: 407-412 (2000)

Radon K., Nowak D., Heinrich-Raum R., Szadkowski D.: Atemwegssymptome und Lungenfunktionsbefunde in einer modernen Aluminiumhütte unter besonderer Berücksichtigung der Flouridbelastung- eine Querschnittsstudie. *Am J Ind Med* 36: 444-449 (1999)

Rutishauser M.: Einfluss der Luftverschmutzung auf die kindlichen Atemwegserkrankungen. *Therapeutische Umschau* 42: 132-137 (1985)

Schwartz J.: Short term fluctuations in air pollution and hospital admissions of the elderly for respiratory disease. *Thorax* 50(5): 531-538 (1995)

Schwartz J.: Air pollution and hospital admissions for respiratory disease. *Epidemiology*. 7(1): 20-28 (1996)

Shy C. M., Hasselblad V., Burton R.M., Nelson C.J., Coheen A.A.: Air pollution effects on ventilatory function of US-school-children. Results of studies in Cincinnati, Chattanooga and New York. *Arch Environ Health*. 27: 124-128 (1973)

Tiittanen P., Timonen K. L., Ruuskanen J., Mirme A., Pekkanen J.: Fine particulate air pollution, resuspended road dust and respiratory health among symptomatic children. *European Respiratory Journal* 13: 266-273 (1999)

Van der Zee S., Hoek G., Boezen H.M., Schouten J.P.; van Wijnen J.H., Brunekreef B.: Acute effects of urban air pollution on respiratory health of children with and without chronic respiratory symptoms. *Occup Environ Med* 56: 802-812 (1999)

Wegener R., Nern E., Poschadel B., Szadkowski D.: Zur Tagesrhythmik von Lungenfunktionswerten. *Verhandlungen der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin* 34: 511-513 (1994)

7 Anhang

Anhang 1: Erstuntersuchungs - Fragebogen CorPuScula (Kinder)

Name: Datum:

Klasse: Tel.-Nr.: Probanden-ID:

Adresse:

1. Geburtsdatum: 2. Geschlecht: männlich () / weiblich ()

3. Körpergröße: 4. Körpergewicht:kg

5. Gibt es im Haushalt Raucher(innen)? ja () / nein ()

6. Bestehen ärztlich diagnostizierte Allergien? wenn ja, welche? ja () / nein ()

.....

7. Leidet Ihr Kind an chronischen Erkrankungen? ja () / nein ()

wenn ja, an welchen?

- | | |
|---|--------------------------------|
| () Asthma bronchiale | Atopische Hauterkrankungen () |
| () Chron. Bronchitis (z.B. n. Keuchhusten) | Wirbelsäulenerkrankungen () |
| () Blutdruck- / Kreislaufkrankungen | Erkrankungen des Blutes () |
| () Herzrhythmusstörungen | Schilddrüsenerkrankungen () |
| () Angeborene Erkrankungen des Herzens | Neurologische Erkrankungen () |
| () Anfallsleiden (Epilepsie) | Sonstiges () |

Spezielle Beschreibung der Erkrankungen:

8. Nimmt Ihr Kind irgendwelche Medikamente? wenn ja, welche?

Regelmäßig:

Bei Bedarf:

9. Bemerkungen:

.....

Anhang 2: Fragebogen CorPuScula – Tagesbefund (Kinder)

Name:

Probanden-ID:

Untersuchungsdatum: Uhrzeit:.....

Blutdruck:.....

1) Hast Du momentan eine der folgenden Beschwerden?

- | | |
|---|--|
| <input type="checkbox"/> Erkältung | <input type="checkbox"/> Kopfschmerzen () |
| <input type="checkbox"/> Rückenschmerzen | <input type="checkbox"/> Gelenk-/ Muskelschmerzen () |
| <input type="checkbox"/> Schmerzen in der Brust | <input type="checkbox"/> Atemabhängige Schmerzen () |
| <input type="checkbox"/> Sonstige Schmerzen | |
| <input type="checkbox"/> Augenreizung / -rötung | <input type="checkbox"/> Nasenreizung / Nasenlaufen () |
| <input type="checkbox"/> Hustenreiz | <input type="checkbox"/> Halskratzen () |
| <input type="checkbox"/> Kurzatmigkeit / Atemnot | <input type="checkbox"/> Herzrhythmusstörung / Herzstolpern () |
| <input type="checkbox"/> Heuschnupfen | <input type="checkbox"/> Chron. Bronchitis / Bronchialasthma () |
| <input type="checkbox"/> Allergische Hautreaktionen | <input type="checkbox"/> Übelkeit () |
| <input type="checkbox"/> Schlafstörungen in der letzten Nacht | <input type="checkbox"/> Schwindelsymptomatik () |

2) Sonstige

Beschwerden:.....

3) Welche Medikamente hast Du heute zuletzt zu welcher Uhrzeit eingenommen? () Keine

Übliche Medikation:

.....

Neue Medikation:

.....

4) Warst Du gestern oder heute Zigarettenrauch ausgesetzt? ja () / nein ()

Wenn ja, wann zuletzt und wie lange?

.....

5) Hast Du in den letzten 3 Stunden Cola getrunken? ja () / nein ()

Wenn ja, wann zuletzt und wieviel?

.....

6) Bestanden heute besondere umweltbedingte / häusliche Belastungen? ja () / nein ()

Wenn ja, welcher Art?

.....

7) Wie lange warst Du gestern im Freien?.....

8) Wie lange warst Du heute im Freien?.....

Anhang 3: Zusammenarbeit mit anderen Instituten

Im Rahmen von CorPuScula arbeiteten wir mit folgenden Instituten zusammen

- Abteilung Kardiologie der 1. Medizinischen Klinik und Poliklinik der TUM (Leitung: Prof. Dr. A. Schömig, unser Projektpartner: Prof. Dr. Georg Schmid): Analysen der EKG Daten
- Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (unsere Projektpartner: Dipl.-Met. Ullrich Böllmann): Ergänzende Luftschadstoffdaten
- Harvard School of Public Health (unser Projektpartner: Prof. Dr. Joel Schwartz und Dr. Antonella Zanobetti): Kooperation bei der Analyse der Daten des Seniorenkollektivs. Dieses Analysemodell wurde auch bei der Auswertung der Daten des Kinderkollektivs verwendet.
- Institut für Epidemiologie der GSF (Leitung: Prof. H.-E. Wichmann; unsere Projektpartnerin: Fr. Dr. Annette Peters): Enge Kooperation mit Partikel-COPD-Studie in Erfurt, epidemiologische Beratung bei der Datenanalyse
- Meteorologisches Institut der LMU (Leitung: Prof. Joseph Egger; unser Projektpartner: Dr. Karl-Heinz Lösslein): Meteorologische Daten

Anhang 4: Abkürzungsverzeichnis

a	Alter
ATS	American Thoracic Society
D	Windrichtung
EKG	Elektrokardiogramm
FEV1	Forciertes expiratorisches Volumen nach einer Sekunde(l)
GLM-Modell	Generalized Linear Model
GSF	Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit
h	Stunde
HSPH	Harvard School of Public Health
ITGV	Intrathorakales Gasvolumen (l)
indpm3	Individuell berechneter Mittelwert von PM10 für die letzten 3 Stunden vor dem Messtermin
indpm12	Individuell berechneter Mittelwert von PM10 für die letzten 12 Stunden vor dem Messtermin
induf1	Individuell berechneter Mittelwert von UF für die letzte Stunde vor dem Messtermin
induf3	Individuell berechneter Mittelwert von UF für die letzten 3 Stunden vor dem Messtermin
induf12	Individuell berechneter Mittelwert von UF für die letzten 12 Stunden vor dem Messtermin
induf24	Individuell berechneter Mittelwert von UF für die letzten 24 Stunden vor dem Messtermin
kPa	Kilopascal
lag1	Mittelwert des Vortages
lag2	Mittelwert 2 Tage vor der Messung
LF/HF	Quotient aus niedrigen Herzfrequenzen (0,04 - 0,15 Hz) und hohen Herzfrequenzen (0,15 – 0,4 Hz)
LMU	Ludwig-Maximilians-Universität
Max	Maximum
MEF75	Atemfluss bei 75% der Vitalkapazität (l/s)
MEF50	Atemfluss bei 50% der Vitalkapazität (l/s)
MEF25	Atemfluss bei 25% der Vitalkapazität (l/s)

MEMI	Münchner Energiebilanz-Modell für Individuen
MIM	Meteorologisches Institut der Ludwig-Maximilians-Universität
Min	Minimum
N	Niederschlag
nm	Nanometer
PEF	Atemspitzenfluss (l/s)
PET	Physiologische Äquivalente Temperatur
PM2.5	Schwebstaub mit einem Partikeldurchmesser kleiner als 2,5 µm
PM10	Schwebstaub mit einem Partikeldurchmesser kleiner 10 µm
PN	Probandennummer
RMSSD	Quadratwurzel des quadratischen Mittelwerts der Summe aller Differenzen zwischen benachbarten Blutdruck-Intervallen
RTOT	Totaler Atemwegswiderstand (kPa*s/l)
s	Sekunde
SD	Standardabweichung
SRTOT	Spezifischer Atemwegswiderstand (kPa*s)
Ta	Lufttemperatur
TSP	Gesamtschwebstaub
UF	Gesamtpartikelzahl (im Prinzip Ultrafines)
UFS	Ultrafeinstaub
v	Windgeschwindigkeit
VCMAX	Maximale Vitalkapazität (l)
VP	Wasserdampfdruck
µm	Mikrometer
\bar{x}	Mittelwert

Lebenslauf

Persönliche Angaben

Name: Frey
Vorname: Tanja
Geburtsdatum: 10. Juli 1976
Geburtsort: Bad Tölz
Familienstand: Ledig

Schulbildung

1983-1987 Grundschule Jahn Volksschule Bad Tölz
1987-1996 Gymnasium Bad Tölz

Studium

1998-2003 Studium der Zahnheilkunde an der
Ludwig-Maximilians-Universität München:

April 1999	Vorphysikum
Oktober 2000	Physikum
Juni 2003	Staatsexamen

Berufstätigkeit

Seit Januar 2004 Vorbereitungsassistentin in niedergelassener
Zahnarztpraxis