



**Gesundheit und Umwelt  
Materialien zur Umweltmedizin**



Untersuchung und Bewertung der  
PCB-Belastung von Schülern und  
Lehrern der Georg-Ledebour-  
Schule, Nürnberg



## **Impressum**

Herausgeber:

Bayerisches Staatsministerium für  
Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz (StMGEV)  
Schellingstraße 155  
80797 München

Tel.: (089) 2170 – 04 (Vermittlung)  
E-Mail: [poststelle@stmgev.bayern.de](mailto:poststelle@stmgev.bayern.de)  
Internet: <http://www.stmgev.bayern.de>

© StMGEV, alle Rechte vorbehalten

# **ABSCHLUSSBERICHT**

**für das**

**Bayerische Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung  
und Verbraucherschutz**

**zum Forschungsprojekt:**

## **UNTERSUCHUNG UND BEWERTUNG DER PCB-BELASTUNG VON SCHÜLERN UND LEHRERN DER GEORG-LEDEBOUR-SCHULE, NÜRNBERG**

**Institut und Poliklinik für  
Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin  
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg  
Direktor: Prof. Dr. med. Hans Drexler  
Schillerstraße 25 und 29  
91054 Erlangen**

September 2002

## Inhaltsverzeichnis

KURZFASSUNG .....	1
1. EINLEITUNG .....	6
1.1 Hintergründe des Vorhabens .....	6
1.2 Konzeption der Studie.....	6
1.2.1 Ziele .....	6
1.2.2 Kooperativer Studienansatz.....	6
1.2.3 Individuelle Betreuung von PCB-Belasteten .....	7
1.3 Studienablauf .....	7
2. METHODEN .....	9
2.1 Auswahl der Studienteilnehmer .....	9
2.2 Blutuntersuchungen .....	9
2.2.1 Analysenmethodik.....	9
2.2.2 Analytische Qualitätssicherung .....	11
2.2.3 Weitere Maßnahmen .....	11
2.3 Erfassung gesundheitlicher Beschwerden.....	12
2.3.1 Standardisierter, validierter Fragebogen.....	12
2.3.2 Frei entworfener ärztlicher Screeningbogen .....	13
2.4 Statistik .....	13
3. UNTERSUCHUNGEN ZUM STOFFWECHSEL VON PCB .....	14
4. ERGEBNISSE .....	15
4.1 Untersuchungskollektiv .....	15
4.2 PCB-Belastung .....	15
4.2.1 Schüler.....	15
4.2.2 Lehrer.....	19
4.2.3 PCB-Belastung und Dauer des Aufenthalts in der Georg-Ledebour-Schule .....	19
4.3 Gesundheitliche Beschwerden .....	21
4.3.1 Standardisierter, validierter Fragebogen.....	21
4.3.2 Frei entworfener ärztlicher Screeningbogen .....	23
4.3.2.1 Häufigkeiten in der Nennung von Beschwerden .....	23
4.3.2.2 Prüfung auf Dosis-Wirkungs-Beziehungen .....	24
4.3.2.3 Bildung von Beschwerde-Indices .....	28
4.3.2.4 Organspezifische Beschwerdemuster .....	31
5. DISKUSSION .....	33
5.1 Innere Belastung.....	33
5.2 Gesundheitliche Beanspruchung .....	36
5.3 Schlussfolgerungen und gesundheitliche Bewertung .....	39
6. ZUSAMMENFASSUNG .....	41
7. LITERATUR .....	42
ANHÄNGE .....	44
Anhang 1 „Gießener Beschwerdebogen für Kinder u. Jugendliche“ (GBB-KJ).....	44
Anhang 2 „Gießener Beschwerdebogen für Erwachsene“ (GBB) .....	46
Anhang 3 Frei entwickelter ärztlicher Screeningbogen .....	48

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: PCB-Indikatorkongeneren (WHO-PCB) .....	9
Abbildung 2: Konzentration niederchlorierter PCB im Blut von Schülern der Georg-Ledebour-Schule in Assoziation mit der Zahl der Schuljahre .....	20
Abbildung 3: Konzentration der Summe aller PCB-Indikatorkongeneren im Blut von Kindern der Georg-Ledebour-Schule in Assoziation mit der Zahl der Schuljahre .....	20
Abbildung 4: Grafischer Vergleich der Ergebnisse des standardisierten „Gießener Beschwerdebogens für Kinder und Jugendliche“ (Georg-Ledebour-Schule vs. Julius-Leber-Schule (Kontrollschule)).....	22
Abbildung 5: Grafischer Vergleich der Ergebnisse des frei entworfenen ärztlichen Screeningbogens (Unterschiede Georg-Ledebour-Schule vs. Julius-Leber-Schule (Kontrollschule)) .....	24
Abbildung 6: Grafische Darstellung der Vorerkrankungen und Symptome gemäss ärztlichem Screeningbogen gegenüber den Terzilen der Belastung durch niederchlorierte PCB .....	26
Abbildung 7: Grafische Darstellung der Vorerkrankungen und Symptome gemäss ärztlichem Screeningbogen gegenüber der Zahl der Schuljahre an der Georg-Ledebour-Schule .....	28
Abbildung 8: Beschwerde-Index.....	29
Abbildung 9: Neuro-Index.....	30
Abbildung 10: Atemwegs-Index.....	31

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Qualitätskontrolle anhand von zertifiziertem Kontrollmaterial.....	11
Tabelle 2: Modellierte Halbwertszeiten von PCB 28, PCB 52 und PCB 101 in Abhängigkeit vom Lebensalter .....	14
Tabelle 3: Ergebnisse des Biologischen Monitoring der Schüler beider Schulen .....	16
Tabelle 4: PCB-Werte der Schüler der Georg-Ledebour-Schule und der Kontrollschule - Summenbetrachtung .....	17
Tabelle 5: PCB-Summenkonzentrationen in µg/l in Plasma und Vollblut* im Vergleich <sup>1</sup> .	18
Tabelle 6: Ergebnisse des Biologischen Monitoring bei den Lehrern beider Schulen und Referenzwerte des Umweltbundesamtes.....	19
Tabelle 7: Terzile der Summe aller PCB und der Summe der niederchlorierten PCB .....	25
Tabelle 8: Symptome des frei entworfenen ärztlichen Fragebogens und assoziiert genannte Symptome .....	32

## Kurzfassung

Das Institut und die Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg wurde vom Bayerischen Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz beauftragt, eine wissenschaftliche Studie zur „Untersuchung und Bewertung der PCB-Belastung von Schülern und Lehrern der Georg-Ledebour-Schule, Nürnberg“ durchzuführen. Die Studie hatte eine Laufzeit vom 01.08.2001 bis 15.07.2002.

### Konzeption der Studie

- Polychlorierte Biphenyle (PCB) sind ubiquitär vorhandene Umweltchemikalien. Aus dem Vorkommen vor allem auch in Lebensmitteln resultiert eine unvermeidbare „Grundbelastung“ der Allgemeinbevölkerung. Bei der gesundheitlichen Beurteilung des Aufenthaltes in PCB-belasteten Gebäuden gilt es zu prüfen, in wieweit diese als Quelle einer gesundheitsrelevanten Zusatzbelastung anzusehen sind.
- In dieser Studie wurden Schüler, Lehrer und Bedienstete der PCB-belasteten Georg-Ledebour-Schule untersucht und die Ergebnisse mit denen von Schülern, Lehrern und Bediensteten einer unbelasteten Schule (Julius-Leber-Schule, Nürnberg) verglichen.
- Die Studie folgte einem kooperativen Studienansatz. Vertreter der Eltern- und Lehrerschaft wurden im Rahmen einer „Projektgruppe PCB“ unmittelbar am Studienablauf beteiligt. So sollte eine möglichst große Transparenz der Untersuchungen gewährleistet und das Vertrauen in die Studie gefördert werden.
- Um dem Informations- und Beratungsbedarf bei Betroffenen der Georg-Ledebour-Schule, aber auch in der Öffentlichkeit, gerecht zu werden, wurde eine spezielle PCB-Beratungsstelle beim Institut mit Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg eingerichtet. Außerdem wurde die Homepage des Instituts benutzerfreundlich eingerichtet und mit Verweisen auf weitere spezifische Informationsquellen sowie mit der Möglichkeit versehen, per E-Mail individuelle Fragen an das Institut zu richten.

### Methoden

#### *Blutuntersuchungen*

- Eine anerkannte, standardisierte Methode zur Bestimmung von PCB im Blut wurde eingesetzt (Kapillar-Gaschromatographie/Elektroneneinfangdetektion).
- Die Standardmethode der Umweltmedizin ist für niedrige Konzentrationen der niederchlorierten PCB, die bei Raumluftbelastungen besonders interessant sind, nur begrenzt geeignet. Deshalb wurden methodische Entwicklungsarbeiten zur Senkung der Nachweisgrenze speziell in diesem Bereich geleistet.
- Folgende Maßnahmen dienen der Qualitätssicherung und Transparenz:
  - Anonymisierung aller Proben für das Labor mittels Umkodierung durch Betroffene unter notarieller Aufsicht

- Geblindete Probenanalyse im Labor des Erlanger Instituts und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin
- Qualitätskontrolle anhand von zertifiziertem Kontrollmaterial unter Beachtung der entsprechenden Richtlinien der Bundesärztekammer
- Auswertung der Probenergebnisse erst nach definitivem Abschluss der Laboranalytik
- Darüber hinaus wurde auf Wunsch der Elternvertretung der Georg-Ledebour-Schule eine parallele Untersuchung von 80 zufällig ausgewählten Proben in einem Zweitlabor (Dr. Schiwara & Kollegen, Bremen) durchgeführt.

#### *Untersuchungen zum Stoffwechsel von PCB*

- Aufgrund des zeitlichen Abstands zwischen Blutentnahme und Exposition (Aufenthalt in der belasteten Schule) musste geklärt werden, mit welcher Geschwindigkeit speziell niederchlorierte PCB vom menschlichen Körper abgebaut bzw. ausgeschieden werden.
- Zur Klärung dieser für die Bewertung der Laborergebnisse wichtigen Frage wurde Herr Professor Dr. Dr. Filser, GSF Neuherberg, beauftragt, entsprechende Modellrechnungen zur Beurteilung von Aufnahme und Verteilung der PCB im Körper und zur Beurteilung der Halbwertszeiten der niederchlorierten PCB durchzuführen.

#### *Untersuchung gesundheitlicher Beschwerden*

Zur Untersuchung gesundheitlicher Beschwerden wurden zwei Ansätze verfolgt:

- Ein standardisierter und validierter Erhebungsbogen („Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche bzw. für Erwachsene“) wurde eingesetzt, um festzustellen, ob sich bei Schülern und Lehrern der Georg-Ledebour-Schule gesundheitliche Beschwerden häufiger oder in größerer Intensität fanden im Vergleich zur unbelasteten Schule.
- Darüber hinaus wurde ein individueller ärztlicher Screeningbogen eingesetzt, der zusätzliche subjektive gesundheitliche Beschwerden, spezielle Symptome und Angaben zu Vorerkrankungen von Schülern und Lehrern abfragte.

### **Ergebnisse**

#### *Projektgruppe, Nutzung des Beratungsangebotes*

- Die Projektgruppe PCB traf sich im Verlauf der Studie zu insgesamt sechs gemeinsamen Besprechungen.
- Bei den Projektgruppenbesprechungen wurde jeweils über den Stand der Datenerhebungen berichtet sowie der weitere Studienablauf ausführlich diskutiert, im Konsens festgelegt und protokolliert.
- Insgesamt 14 ehemalige Schüler, Lehrer oder Mitarbeiter der Georg-Ledebour-Schule suchten die speziell eingerichtete PCB-Beratungsstelle des Instituts mit Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg auf. In der Poliklinik stellten sich außerdem mehr als hundert Personen vor, die nicht zum unmittelbaren Umfeld der Georg-Ledebour-Schule gehörten, größtenteils aufgrund der Berichterstattung

in den Medien. Das Angebot, Fragen per E-Mail an das Institut zu richten, wurde durch insgesamt 35 Anfragen in Anspruch genommen. Darüber hinaus gingen zahlreiche telefonische Anfragen ein, die von den Ärzten der Poliklinik beantwortet wurden.

### *Blutuntersuchungen*

- Das Angebot einer Blutuntersuchung nahmen insgesamt 404 Personen (377 Schüler, 26 Lehrer, 1 sonstiger Bediensteter) der Georg-Ledebour-Schule und 235 Personen (218 Schüler, 15 Lehrer, 2 sonstige Bedienstete) der unbelasteten Vergleichsschule wahr.
- Die gemessene PCB-Gesamtbelastung wies in den Kollektiven beider Schulen erwartungsgemäß eine große Streubreite auf. Die durchschnittliche PCB-Gesamtbelastung lag mit 0,44 (Georg-Ledebour-Schule) bzw. 0,33 (Vergleichsschule)  $\mu\text{g/l}^1$  Plasma (Median) in einem unauffälligen Bereich (insgesamt vergleichsweise niedriges Belastungsniveau, siehe Abschnitt „Bewertung – Blutuntersuchungen“).
- Der größte Anteil der gemessenen PCB-Gesamtbelastung in den Kollektiven beider Schulen war durch höherchlorierte PCB bedingt, die vorrangig aus der Nahrungskette stammen und im wesentlichen die „Grundbelastung“ mit PCB widerspiegeln.
- Die niederchlorierten PCB (PCB 28, 52, 101), bei denen von einer überwiegenden Aufnahme über die Raumluft ausgegangen werden kann, lagen in den Kollektiven beider Schulen, bis auf wenige Ausnahmen, unterhalb der bisherigen Bestimmungsgrenze von 0,1  $\mu\text{g/l}$  Plasma.
- Durch Verbesserung der Analytik ist es gelungen, die Nachweisgrenze für sämtliche WHO-PCB auf 0,001  $\mu\text{g/l}$  Plasma zu senken. Dabei zeigte sich, dass die drei gemessenen niederchlorierten PCB-Kongeneren, insbesondere PCB 52 - beim Vergleich der beiden Schulen - in höherer Konzentration und bei einem größeren Prozentsatz der Studienteilnehmer der Georg-Ledebour-Schule nachgewiesen werden konnten. Die Mediane der niederchlorierten PCB lagen durchweg unterhalb von 0,01  $\mu\text{g/l}$ , die Maximalwerte unterhalb von 0,2  $\mu\text{g/l}$  Plasma. Die niederchlorierten PCB stellten damit mengenmäßig nur einen untergeordneten Anteil der PCB-Gesamtbelastung dar.
- Es ergab sich bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule ein statistisch signifikanter Zusammenhang zwischen der Dauer der in der Schule verbrachten Schuljahre und der im Blut gemessenen Konzentration der niederchlorierten PCB. Für die höherchlorierten PCB ließ sich dieser Zusammenhang nicht nachweisen.

### *Untersuchungen zum Stoffwechsel von PCB*

- Die Modellrechnungen zum Verhalten speziell niederchlorierter PCB im menschlichen Körper ergaben, dass diese relativ langsam ausgeschieden werden (Halbwertszeiten im Bereich von mehreren Wochen bis Monaten).
- Deshalb erlauben die PCB-Messwerte im Blut – trotz des zeitlichen Abstands zwischen Blutentnahme und Exposition (Aufenthalt in der belasteten Schule) von ca. 3 bis 6 Wo-

---

<sup>1)</sup> 1  $\mu\text{g/l}$  = 1 Mikrogramm pro Liter = 0,000001 Gramm pro Liter



chen – Rückschlüsse auf die individuelle Belastung durch die Schule. Die gemessenen Konzentrationen müssten selbst unter ungünstigsten Annahmen für das PCB-Kongener 52 maximal verdoppelt werden. Für die PCB Kongeneren 28 und 101 hat die Halbwertszeit keinen wesentlichen Einfluss auf den zeitlichen Abstand zur Blutentnahme. Der Probenahme-Zeitpunkt hatte somit kein wesentliches Gewicht im Sinne der Gefahr einer Unterschätzung der Exposition.

#### *Untersuchung gesundheitlicher Beschwerden*

- Das Angebot einer gesundheitlichen Beschwerdeerfassung nahmen insgesamt 254 Personen (davon 238 Schüler) der Georg-Ledebour-Schule und 164 Personen (davon 159 Schüler) der Vergleichsschule wahr.
- Die mit dem standardisierten „Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche“ erhobenen Beschwerdemuster ergaben keine Unterschiede bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule im Vergleich zu den Schülern der unbelasteten Vergleichsschule.
- Demgegenüber wurde durch den ärztlichen Screeningbogen bei einigen Einzelbeschwerden und -symptomen bzw. bei Vorerkrankungen ein häufigeres Vorkommen bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule ermittelt. In keinem Fall ließ sich jedoch eine Abhängigkeit von der gemessenen PCB-Belastung nachweisen. Es konnte weder eine Dosis-Wirkungs-Beziehung noch eine Expositionsdauer-Wirkungs-Beziehung festgestellt werden.

### **Bewertung**

#### *Blutuntersuchungen*

- Bei Studienteilnehmern aus der Georg-Ledebour-Schule ergab sich eine geringe, aber eindeutig messbare Erhöhung der niederchlorierten PCB. Da diese mit der Zahl der in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahre statistisch signifikant assoziiert war, stammt dieser Anteil der PCB-Belastung mit hoher Wahrscheinlichkeit aus der Raumluft der Schule. In der Summe aller PCB, die hauptsächlich durch die über Nahrungsmittel aufgenommenen höherchlorierten PCB bestimmt wird, ergaben sich ebenfalls statistisch signifikante Unterschiede zwischen Probanden aus der PCB-belasteten Georg-Ledebour-Schule und der unbelasteten Vergleichsschule. Im Gegensatz zu der Summe der niederchlorierten PCB war die Summe aller PCB allerdings nicht mit der Dauer des Aufenthalts in der Georg-Ledebour-Schule assoziiert. Es kann somit nicht abgeleitet, aber auch nicht ausgeschlossen werden, dass die höheren PCB-Summenkonzentrationen aus der Raumluftbelastung der Schule resultieren.
- Das Belastungsniveau mit PCB der beiden Nürnberger Kollektive war im Vergleich zu aktuellen Studien aus Frankfurt/Main und Baden-Württemberg deutlich niedriger. Dies kann nicht alleine mit der seit längerem zu beobachtenden abnehmenden PCB-Gesamtbelastung der Bevölkerung zusammenhängen, wenngleich die Abnahme der PCB-Hintergrundbelastung den positiven Effekt bisheriger gesetzlicher Maßnahmen (PCB-Verbotsverordnung) widerspiegelt.

- Nach dem wissenschaftlichen Kenntnisstand ist davon auszugehen, dass die überwiegend über die Raumluft aufgenommenen, niederchlorierten PCB kein höheres Schädigungspotential als die höherchlorierten PCB besitzen.
- Eine erhöhte, PCB-bedingte gesundheitliche Gefährdung von Schülern und Lehrern der Georg-Ledebour-Schule kann daher nach wissenschaftlichen Kenntnisstand durch die gemessenen PCB-Konzentrationen im Blut nicht abgeleitet werden.

#### *Untersuchung gesundheitlicher Beschwerden*

- Eine größere Häufigkeit von Beschwerden ließ sich in einem standardisierten und validierten (d.h. hinsichtlich der Gültigkeit abgeleiteter Aussagen evaluierten) Erhebungsbogen („Gießener Beschwerdebogen“) bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule nicht nachweisen.
- Das bei freier, nicht-validierter ärztlicher Abfrage festgestellte häufigere Auftreten einzelner Beschwerden und Symptome bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule stand in keinem nachweisbaren Zusammenhang mit der PCB-Belastung. So lässt die fehlende Dosis-Wirkungs-Beziehung und die fehlende Expositionsdauer-Wirkungs-Beziehung einen ursächlichen Zusammenhang mit der PCB-Belastung nicht erkennen. Die Unterschiede lassen sich möglicherweise durch den bekannten Effekt des sog. „Recall-Bias“ erklären. Darunter versteht man die Tatsache, dass sich Personen unter Exposition (in diesem Fall also Angehörige der Georg-Ledebour-Schule) besser an zurückliegende Erkrankungen und Beschwerden erinnern als Personen ohne Exposition (Probanden der Vergleichsschule). Gründe hierfür liegen u.a. in der bei Betroffenen stärker ausgeprägten Sensibilität für gesundheitliche Sorgen und Ängste. Des Weiteren ist zu berücksichtigen, dass in dem ärztlichen Screeningbogen im Unterschied zum „Gießener Beschwerdebogen“ unterschiedliche Qualitäten an Informationen (zusätzliche Beschwerden, spezifische Symptome, Vorerkrankungen) erfasst wurden und somit eine breitere Streuung der Ergebnisse erklärbar ist sowie eine suggestive Komponente bei der Beantwortung dieser Fragen durch die vorangegangene Presseberichterstattung angenommen werden muss.

#### **Übergeordnete Bedeutung der Studienergebnisse**

- Die vorliegenden Untersuchungsergebnisse zeigen, dass sich die Raumluftbelastung durch niederchlorierte PCB in der Höhe der inneren Belastung exponierter Personen widerspiegelt. Die Gesamtbelastung mit PCB resultiert vor allem aus dem ubiquitären Vorkommen höherchlorierter PCB in der Umwelt.
- Die vorliegende Studie liefert damit wichtige Daten für die Beurteilung der PCB-Aufnahme in belasteten Gebäuden. Die Ergebnisse werden bei der weiteren Festlegung von Kriterien zur Beurteilung PCB-belasteter Gebäude zu berücksichtigen sein.

## **1. Einleitung**

### **1.1 Hintergründe des Vorhabens**

Die Stadt Nürnberg hatte routinemäßig die Konzentration von polychlorierten Biphenylen (PCB) in verschiedenen öffentlichen Gebäuden überprüft. Dabei war eine erhöhte PCB-Belastung in der Raumluft der Georg-Ledebour-Schule in Nürnberg-Langwasser mit Werten oberhalb des Eingriffswerts der PCB-Richtlinie festgestellt worden. Bereits im September 2000 waren auf Eigeninitiative von Eltern bei etwa 40 Personen mit individualmedizinischer Fragestellung PCB-Analysen im Blut durchgeführt worden. Dabei wurden keine auffällig erhöhten PCB-Konzentrationen gefunden.

Im Frühjahr 2001 erfolgte eine erneute Untersuchung der PCB-Belastung von Schülern und Lehrern. Angaben aus den Medien zufolge wurden zum damaligen Zeitpunkt ca. 460 Blutproben untersucht. Eine geblindete Auswertung erfolgte nicht. Die Ergebnisse wurden ohne ärztliche Interpretation an die Teilnehmer versandt, was unter den Betroffenen zu erheblicher Verunsicherung führte. Zudem traten Zweifel an der Validität der durchgeführten Analytik auf, sodass vor diesem Hintergrund eine wissenschaftliche Studie erforderlich erschien. Innerhalb kürzester Zeit wurde daher in Zusammenarbeit mit den Entscheidungsträgern ein Studienkonzept erarbeitet. Hierbei handelte es sich um ein exaktes, ausführlich protokolliertes und nachvollziehbares Studienkonzept. Seitens der Laboranalytik wurde auf ein hohes Maß an Qualitätssicherung geachtet.

### **1.2 Konzeption der Studie**

#### **1.2.1 Ziele**

PCB sind ubiquitär vorhandene Umweltchemikalien. Aus dem Vorkommen vor allem auch in Lebensmitteln resultiert eine unvermeidbare "Grundbelastung" der Allgemeinbevölkerung. Bei der gesundheitlichen Beurteilung des Aufenthaltes in PCB-belasteten Gebäuden gilt es zu prüfen, in wieweit diese als Quelle einer gesundheitsrelevanten Zusatzbelastung anzusehen sind. Im Mittelpunkt dieser Studie standen zwei Fragen:

1. Bestehen Unterschiede in der PCB-Belastung bei Angehörigen der Georg-Ledebour-Schule (belastetes Schulgebäude) und Probanden eines PCB-unbelasteten Schulgebäudes (Julius-Leber-Schule, Nürnberg; Kontrollgruppe)?
2. Lassen sich gesundheitliche Beschwerden auf die PCB-Belastung in der Georg-Ledebour-Schule zurückführen?

#### **1.2.2 Kooperativer Studienansatz**

Die Studie folgte einem kooperativen Studienansatz. Vertreter der Eltern- und Lehrerschaft wurden im Rahmen einer „Projektgruppe PCB“ unmittelbar am Studienablauf beteiligt. So

sollte eine möglichst große Transparenz der Untersuchungen gewährleistet und das Vertrauen in die Studie gefördert werden.

Die Projektgruppe PCB traf sich im Verlauf der Studie zu insgesamt sechs gemeinsamen Besprechungen. Bei den Projektgruppenbesprechungen wurde jeweils über den Stand der Datenerhebungen berichtet sowie der weitere Studienablauf ausführlich diskutiert, im Konsens festgelegt und protokolliert.

### **1.2.3 Individuelle Betreuung von PCB-Belasteten**

Um dem Informations- und Beratungsbedarf bei Betroffenen der Georg-Ledebour-Schule, aber auch in der Öffentlichkeit, gerecht zu werden, wurde parallel zur Studiendurchführung eine spezielle PCB-Beratungsstelle beim Institut mit Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg eingerichtet. Die Beratungsstelle konnte auch mittels E-Mail kontaktiert werden. Es wurde eine spezielle Homepage zur PCB-Problematik erarbeitet.

Im Verlauf der Studie suchten insgesamt 14 ehemalige Schüler, Lehrer oder Mitarbeiter der Georg-Ledebour-Schule die PCB-Beratungsstelle des Instituts auf. In der Poliklinik stellten sich außerdem mehr als hundert Personen vor, die nicht zum unmittelbaren Umfeld der Georg-Ledebour-Schule gehörten, größtenteils aufgrund der Berichterstattung in den Medien. Das Angebot, Fragen per E-Mail an das Institut zu richten, wurde durch insgesamt 35 Anfragen in Anspruch genommen. Darüber hinaus gingen zahlreiche telefonische Anfragen ein, die von den Ärzten der Poliklinik beantwortet wurden.

## **1.3 Studienablauf**

---

2. August 2001

Auf Wunsch des Staatsministeriums wurde eine Projektgruppe gegründet, die den weiteren Verlauf der Studie in gegenseitiger Abstimmung begleiten sollte. Im Rahmen der ersten Projektgruppensitzung wurde beschlossen, die Projektgruppe aus Teilen der Elternvertreterchaft, Vertretern der Lehrkollegien beider Schulen als auch leitenden Beamten des Bayerischen Staatsministerium für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz München neben den betreuenden ärztlichen und nicht-ärztlichen Mitarbeitern des Instituts und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg zu bilden. Regelmäßige Projektgruppen-Besprechungen haben den Ablauf der Studie in der Kommunikation einzelner Projektgruppenbeteiligter wesentlich unterstützt.

---

8. August bis 12. September 2001	Blutentnahme bei Schülern, Lehrern und Bediensteten der Georg-Ledebour-Schule
9. und 10. Oktober 2001	Blutentnahme bei Schülern, Lehrern und Bediensteten der unbelasteten Julius-Leber-Schule
12. Oktober 2001	Umkodierung und Anonymisierung der Proben durch Eltern und Lehrer unter notarieller Aufsicht
12. Oktober 2001	Versendung eines Teils der Proben an ein externes Labor
Oktober bis Dezember 2001	Laboranalysen der Blutproben ohne Kenntnis der Gruppenzugehörigkeit der einzelnen Blutprobe
15. Dezember 2001	Austausch der Messwertliste gegen die Zuordnungsliste beim Notar und Hinterlegung der Messwerte beim Notar
21. Januar 2002	Präsentation der ersten Ergebnisse auf einem Elternabend in der Meistersingerhalle Nürnberg
22. Januar 2002	Pressekonferenz mit Präsentation der ersten Ergebnisse
April bis Juli 2002	Ärztliche Erhebung der Beschwerden und Vorerkrankungen mittels eines standardisierten EDV-gerechten Fragebogens
Juli bis August 2002	Eingabe der erhobenen Daten in Datenbanken und Auswertung der Ergebnisse
August bis September 2002	Erstellung des Abschlußberichtes

## 2. METHODEN

### 2.1 Auswahl der Studienteilnehmer

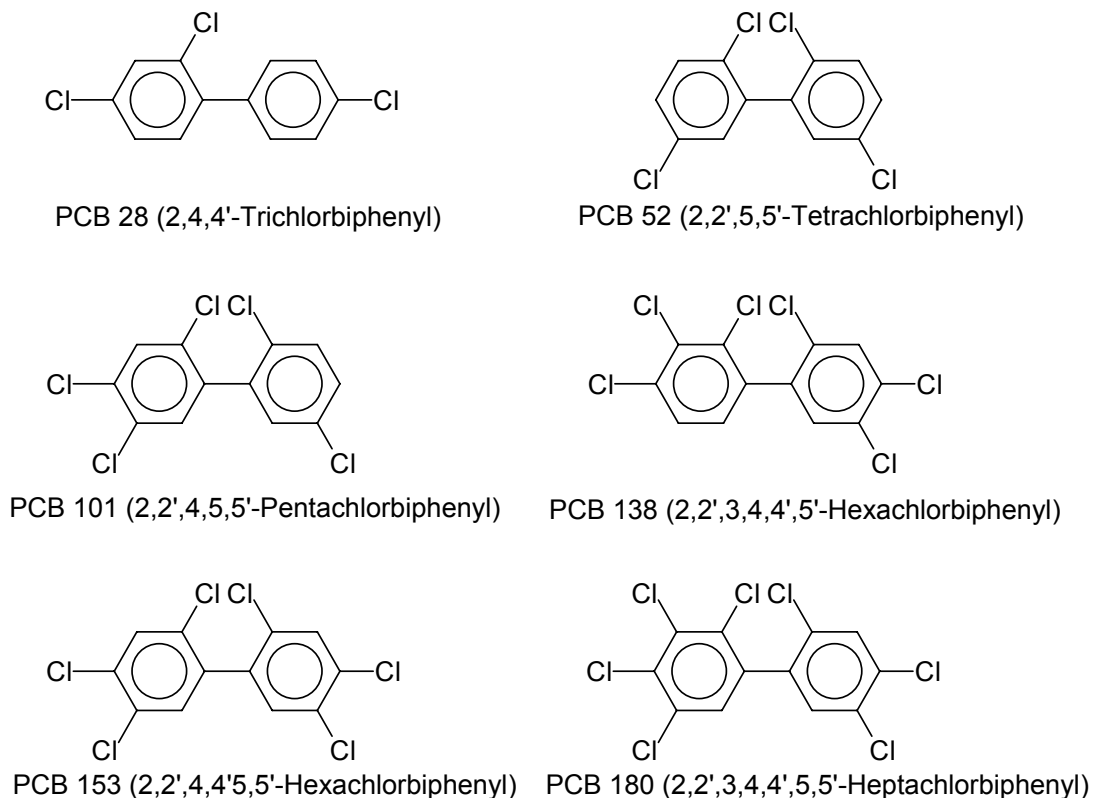
Die Teilnahme an der Studie erfolgte auf freiwilliger Basis. Die Teilnahme wurde allen Schülern und Lehrern und sonstigen Bediensteten wie Hausmeistern und Reinigungskräften der PCB-belasteten Georg-Ledebour-Schule und der unbelasteten Vergleichsschule angeboten.

### 2.2 Blutuntersuchungen

#### 2.2.1 Analysenmethodik

Zu den polychlorierten Biphenylen werden sämtliche chloresubstituierte Biphenyle gezählt. Insgesamt sind 209 sog. Kongeneren möglich.

Bis zum Ende der 1980er Jahre wurden in wissenschaftlichen Studien meist willkürlich ausgewählte PCB-Kongeneren analytisch bestimmt. Seit 1988 werden in Deutschland vereinbarungsgemäß bei Routineanalysen 6 sog. Indikatorkongeneren (**Abbildung 1**) erfasst. Die Auswahl gerade dieser Kongeneren ist größtenteils praktischer Natur und liegt begründet in der Schwierigkeit, sämtliche Kongeneren in einem Analysenlauf chromatographisch voneinander abzutrennen und somit störungsfrei quantifizieren zu können. Das Konzept der Indikatorkongeneren (Beck und Mathar, 1985) wird größtenteils auch weltweit angewendet. Man spricht auch von den sog. „WHO-PCB“.



**Abbildung 1: PCB-Indikatorkongeneren (WHO-PCB)**

Zur quantitativen Bestimmung dieser 6 WHO-PCB wurde ein von der Deutschen Forschungsgemeinschaft auf Zuverlässigkeit und Richtigkeit geprüftes Biomonitoring-Verfahren (Schulte et al., 1991) herangezogen und zur Absenkung der Nachweisgrenze optimiert.

Dazu wird durch Zentrifugation aus dem Vollblut der Probanden zunächst Plasma gewonnen. Das Plasma wird anschließend mit Ameisensäure versetzt und homogenisiert. Die polychlorierten Biphenyle werden danach flüssig/flüssig in n-Hexan extrahiert, mitextrahierte Blutfettbestandteile werden durch Filtration des Extraktes über eine Kieselgelsäule abgetrennt. Das Filtrat wird schließlich im Stickstoffstrom eingeengt und anschließend nach kapillargaschromatographischer Trennung mittels Elektroneneinfangdetektor (ECD) vermessen. Als interner Standard dient PCB 54. Zur Kalibrierung wurden dotierte Rinderplasma-Standards eingesetzt, die in der gleichen Weise aufbereitet wurden, wie die zu untersuchenden Realproben.

Mit dem beschriebenen Verfahren können die 6 WHO-PCB bis zu einer Konzentration von jeweils 1 ng/l Plasma nachgewiesen werden.

Da PCB in der Umwelt ubiquitär vorhanden sind, müssen besondere Reinheitsanforderungen an sämtliche zur Analyse verwendeten Geräte und Chemikalien gestellt werden. Obwohl für die PCB-Analytik nur Chemikalien von höchster kommerziell erhältlicher Reinheit eingesetzt werden, müssen diese noch zusätzlichen Reinigungsschritten unterworfen werden. Darüber hinaus werden für die gesamte Probenvorbereitung lediglich Geräte aus Glas verwendet, die ebenfalls aufwendigen Reinigungsschritten unterzogen werden. Trotz dieser umfangreichen Maßnahmen gelingt es aber nicht, Chemikalien und Geräte einsetzen zu können, die restlos „PCB-frei“ sind, bzw. deren PCB-Gehalt unterhalb der methodischen Nachweisgrenze liegt.

Ein Reagenzienleerwert wird analysentäglich, d.h. in jeder Aufarbeitungsserie, gemeinsam mit den jeweiligen Realproben aufgearbeitet und analysiert.

Solche sog. Reagenzienleerwerte müssen natürlich auch bei der Berechnung des Analyseergebnisses berücksichtigt werden, da ansonsten falsch hohe Analyseergebnisse erhalten werden. Dazu wird von jedem Analyseergebnis der untersuchten Probanden jeweils der aus 40 Analysenserien gemittelte Reagenzienleerwert zuzüglich der daraus ermittelten dreifachen Standardabweichung subtrahiert.

### 2.2.2 Analytische Qualitätssicherung

Zur Sicherung der Qualität der Analysenergebnisse wurde gemäß den Richtlinien der Bundesärztekammer (Bundesärztekammer, 1988, 1994) verfahren. Zur Präzisionskontrolle wurde zertifiziertes Kontrollmaterial für den umweltmedizinischen Konzentrationsbereich aus dem 25. Ringversuch der Deutschen Gesellschaft für Arbeits- und Umweltmedizin (DGAUM) eingesetzt. Dieses Kontrollmaterial wurde in der gleichen Weise behandelt und analysiert wie die Realproben, sein Einsatz erfolgte analysentäglich mit jeder Analysenserie (N=40). Die im Verlauf der Studie ermittelten Präzisionen sind **Tabelle 1** zu entnehmen, die erhaltenen Präzisionen sind dabei als hervorragend zu bezeichnen.

**Tabelle 1: Qualitätskontrolle anhand von zertifiziertem Kontrollmaterial**

<b>N=40</b>	<b>PCB 28</b>	<b>PCB 52</b>	<b>PCB 101</b>	<b>PCB 153</b>	<b>PCB 138</b>	<b>PCB 180</b>
Sollwert	343 ng/l	564 ng/l	699 ng/l	963 ng/l	624 ng/l	1110 ng/l
Mittlerer Messwert	338 ng/l	550 ng/l	716 ng/l	1151 ng/l	736 ng/l	1407 ng/l
Abweichung vom Sollwert	- 1%	- 2,5 %	+ 2,4 %	+ 19 %	+ 18 %	+ 27 %
Präzision	2,6 %	3,4 %	5,1 %	7,5 %	7,5 %	7,7 %

Die Richtigkeit (Abweichung vom Sollwert) der Analysenergebnisse ist ebenfalls in Tabelle 1 dokumentiert. Sämtliche erhaltenen Abweichungen vom Sollwert liegen innerhalb des Referenzmaterials (DGAUM). Insbesondere die für die niederchlorierten PCB 28, 52 und 101 erhaltenen maximalen mittleren Abweichungen belegen die Richtigkeit des gesamten Analyseverfahrens.

Die Richtigkeit ist darüber hinaus über die regelmäßig erfolgreiche Teilnahme an den zweimal pro Jahr stattfindenden Ringversuchen der DGAUM sichergestellt. Entsprechende Zertifikate liegen dem Institut für Arbeits- Umwelt- und Sozialmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg vor.

### 2.2.3 Weitere Maßnahmen

Alle Blutproben wurden vor der Untersuchung unter notarieller Aufsicht umkodiert und damit für das Labor anonymisiert. Die Proben wurden geblindet im Labor des Erlanger Instituts und der Poliklinik für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin analysiert. Die Probenergebnisse wurden erst nach definitivem Abschluss der Laboranalytik ausgewertet.

Darüber hinaus wurde auf Wunsch der Elternvertretung der Georg-Ledebour-Schule eine parallele Untersuchung von 80 zufällig ausgewählten Proben in einem Zweitlabor (Dr. Schwara & Kollegen, Bremen) durchgeführt.



## 2.3 Erfassung gesundheitlicher Beschwerden

### 2.3.1 Standardisierter, validierter Fragebogen

Zur Erfassung gesundheitlicher Beschwerden der Schüler, Lehrer und Mitarbeiter der Georg-Ledebour-Schule und der unbelasteten Schule wurde ein standardisierter und validierter Erhebungsbogen, der „Gießener Beschwerdebogen“, in der je nach Lebensalter der Studienteilnehmer entsprechenden Version eingesetzt (für bis 15-Jährige: „Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche“ (GKB-KJ), s. Anhang 1; für über 15-Jährige: „Gießener Beschwerdebogen“ (GKB), s. Anhang 2). Zur effizienteren Datenerfassung und -analyse wurden in beiden Schulen Online-Fragebögen verwendet.

Der „Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche“ ermöglicht es, subjektive körperliche Beschwerden zu erfassen und wurde aus dem „Gießener Beschwerdebogen“ entwickelt, der seit 1978 als standardisiertes Instrumentarium für Erwachsene zur Verfügung steht (Brähler, Scheer 1995). Der Fragebogen enthält 59 Fragen (Items) aus den Bereichen: Allgemeinbefinden, Vegetativum, Schmerzen, Emotionalität und Kinderbeschwerden. Gefragt wird nach dem Ausmaß der Beeinträchtigung (nie / selten / manchmal / oft / dauernd). Der Bogen soll ein umfassendes Bild über die Körperbeschwerden des Kindes vermitteln und Leitbeschwerden erkennen lassen, aber auch Hinweise auf den Leidensdruck ermöglichen. Bei der computergestützten Fassung des Fragebogens werden - nach vorheriger Instruktion der Probanden - die Fragen nacheinander auf dem Bildschirm dargeboten. Der Proband antwortet dann nach einer fünfstufigen Skala von „nie“ bis „dauernd“. Eine einmalige Korrektur und das Überspringen von Items ist gestattet. Alle nicht beantworteten Items werden am Ende des Tests noch einmal dargeboten, doch besteht kein „Zwang“ zur Antwort. Je nach Ausprägung der Belästigung erfolgt eine Punktvergabe (nie: 0 Punkte, selten: 1 Punkt, manchmal: 2 Punkte, oft: 3 Punkte, dauernd: 4 Punkte). Es besteht auch die Möglichkeit, nicht vorgegebene Beschwerden anzugeben. Die Testdurchführungszeit beträgt ca. 10 bis 15 Minuten. Bei der Auswertung werden insgesamt 5 Beschwerdekompexe: „Erschöpfung“, „Magensymptomatik“, „Gliederschmerzen“, „Kreislaufsymptomatik“, „Erkältungssymptomatik“ gebildet. In jeden Beschwerdekompex gehen jeweils 7 Items mit ihren jeweiligen Punktwerten ein, so dass für jeden Symptomkomplex ein Summenscore ermittelt werden kann. Zusätzlich wird durch Addition aller 5 Summenscores der „Beschwerdedruck“ bestimmt. Für alle Testpersonen erhält man außerdem je nach Altersgruppe und Geschlecht aus einer Tabelle einen Prozentwert pro Beschwerdekompex, der angibt, wie viel Prozent der entsprechenden Kinderstichprobe aus der „Normal“-Bevölkerung weniger oder gleich viele Beschwerden haben wie der jeweilige Proband („Prozentränge“). Vereinfachend kann auch die Zuordnung zu 4 Quartilen erfolgen. Für die Erstellung dieser Quartile wurden die Testergebnisse aus der Kinderstichprobe der „Normal“-Bevölkerung in vier gleich große Gruppen geteilt, wobei im Quartil 1 diejenigen mit wenigen Beschwerden, in den Quartilen 2 und 3 die mit mäßig vielen

und im Quartil 4 die mit häufigen Beschwerden zu finden sind. Liegt der ermittelte Summenscore eines Testteilnehmers z.B. im Quartil 1, bedeutet dies, dass bis zu 25% der „Normal“-Bevölkerung weniger und mindestens 75% mehr Beschwerden angeben als die Testperson. Je größer das Quartil, desto ausgeprägter ist der jeweilige Beschwerdekomples im Vergleich zur „Normal“-Bevölkerung. Diese Prozentwerte bzw. die Quartillage erlauben es, das Beschwerdemaß eines Kindes zu dem in seiner Altersgruppe im Mittel vorkommenden Beschwerdemaß in Beziehung zu setzen.

Der GBB-KJ ist weitgehend objektiv in Bezug auf Durchführung und Auswertung. Die inhaltliche Validität der Beschwerdekomples und des Beschwerdedruckes können als gegeben angenommen werden. Bezüglich „normaler“ Kinder und Jugendlicher liegen Normwerte für die Altersgruppe 9-15 Jahren vor, getrennt für Jungen und Mädchen. Die Normwerte wurden aus einer weitgehend nach Schulformen stratifizierten Befragung von 1047 Schulkindern aus Großstädten, Kleinstädten und Landgemeinden Hessens in den Jahren 1988 und 1989 gewonnen (Brähler 1992).

Die bei den Schülern beider Schulen ermittelten Summenscores der 5 Beschwerdekomples und des Beschwerdedruckes wurden miteinander verglichen, um herauszufinden, ob sich im Vergleich zur unbelasteten Schule in der Georg-Ledebour-Schule gesundheitliche Beschwerden häufiger fanden.

### **2.3.2 *Frei entworfenen ärztlicher Screeningbogen***

Neben dem standardisierten, validierten „Gießener Beschwerdebogen“ kam ein frei erarbeiteter, individueller ärztlicher Screeningbogen zum Einsatz, der zusätzliche subjektive gesundheitliche Beschwerden, spezifische Symptome, Vorerkrankungen, Angaben zum Sozialstatus und Confounding-Faktoren von Schülern und Lehrern abfragte. Auch hier wurden die Angaben online in einem Interview (bei jüngeren Schülern zusammen mit den Eltern) erfasst. Diese Angaben der Studienteilnehmer beider Schulen wurden direkt miteinander verglichen.

## **2.4 Statistik**

Die statistischen Auswertungen erfolgten mit dem Programm SPSS für Windows (Version 11.0). Als Signifikanzniveau wurde eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  **$p \leq 0,05$**  festgesetzt. Auf eine  $\alpha$ -Adjustierung nach Bonferoni wurde bewusst verzichtet, um die statistische „Power“ der Studie nicht einzuschränken.

### 3. Untersuchungen zum Stoffwechsel von PCB

Aufgrund des zeitlichen Abstands zwischen Blutentnahme und Exposition (Aufenthalt in der belasteten Schule) musste geklärt werden, mit welcher Geschwindigkeit speziell niederchlorierte PCB vom menschlichen Körper abgebaut bzw. ausgeschieden werden. Zur Klärung dieser für die Bewertung der Laborergebnisse wichtigen Frage wurde Herr Professor Dr. Dr. J. G. Filser, GSF Neuherberg, beauftragt, entsprechende Modellrechnungen zur Beurteilung von Aufnahme und Verteilung der PCB im Körper und zur Beurteilung der Halbwertszeiten der niederchlorierten PCB durchzuführen.

Die mittels Modell berechneten Halbwertszeiten der drei PCB (**Tabelle 2**) lassen, zumindest für PCB 28 und 101, für das Schuljahresende nur unwesentlich höhere Blutkonzentrationen erwarten als zu den Messzeitpunkten (19, 20, 26, 33 und 54 Tage danach). Die gemessenen Konzentrationen müssten selbst unter ungünstigsten Annahmen für das PCB Kongener 52 maximal verdoppelt werden. Nur bei 8-jährigen Kindern ist ein maximal vierfach höherer Wert, bezogen auf den letzten Messtag, möglich.

**Tabelle 2: Modellierte Halbwertszeiten von PCB 28, PCB 52 und PCB 101 in Abhängigkeit vom Lebensalter**

aus: Filser, J.G.: Ein kinetisches Modell zur Berechnung der inhalationsbedingten Belastung durch die PCB 28, 52 und 101 im Blut von Lehrern und Schülern der Georg-Ledebour-Schule, Nürnberg

Alter [Jahre]	Halbwertszeit [Tage]		
	PCB 28	PCB 52	PCB 101
8	82	11,2	27,6
9	101	13,8	34,1
10	124	17,0	41,9
11	150	20,7	51
12	179	24,9	61
13	212	29,6	73
14	245	34,5	85
15	277	39,4	96
16	305	43,7	107
17	329	47,3	115
Lehrer (45 J. und älter)	584	88	208

## 4. ERGEBNISSE

### 4.1 Untersuchungskollektiv

Das Angebot einer Blutuntersuchung nahmen insgesamt 404 Personen (377 Schüler, 26 Lehrer, 1 sonstiger Bediensteter) der Georg-Ledebour-Schule und 235 Personen (218 Schüler, 15 Lehrer, 2 sonstige Bedienstete) der unbelasteten Vergleichsschule wahr. Der Altersmedian bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule lag bei 13 Jahren, der bei Schülern der unbelasteten Schule bei 12 Jahren. Der Altersmedian der Erwachsenen lag in der Georg-Ledebour-Schule bei 46 Jahren und in der unbelasteten Schule bei 56 Jahren.

Das Angebot einer gesundheitlichen Beschwerdeerfassung nahmen insgesamt 254 Personen (davon 238 Schüler) der Georg-Ledebour-Schule und 164 Personen (davon 159 Schüler) der Vergleichsschule wahr.

Angesichts der geringen Teilnehmerzahl von Lehrern beider Schulen war eine differenzierte vergleichende Auswertung unter epidemiologischen Gesichtspunkten nicht möglich. Daher erfolgte die Darstellung der PCB deskriptiv und der Vergleich von gesundheitlichen Beschwerden bezog sich ausschließlich auf die Schüler.

### 4.2 PCB-Belastung

#### 4.2.1 Schüler

Die Ergebnisse des biologischen Monitoring der sog. WHO- oder Indikator-PCB sind vergleichend für die Georg-Ledebour-Schule und die unbelastete Schule (Kontrollschule) in **Tabelle 3** dargestellt. Die gemessene PCB-Belastung wies in den Kollektiven beider Schulen eine relativ große Streubreite auf. Die Messwerte beider Kollektive überlappen sich. Die Messwerte für die niederchlorierten PCB 28, 52 und 101 liegen im unteren ng/l-Bereich, diejenigen der höherchlorierten PCB 153, 138 und 180 ein bis zwei Größenordnungen darüber.

Während die höherchlorierten PCB bei nahezu allen Schülern beider Schulen nachgewiesen werden konnten, war die Anzahl der positiven Befunde bei den niederchlorierten in beiden Kollektiven deutlich niedriger.

**Tabelle 3: Ergebnisse des Biologischen Monitoring der Schüler beider Schulen**

[µg/l]		PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 153	PCB 138	PCB 180
Median	Georg-Ledebour	0,006	0,009	0,005	0,143	0,188	0,068
	Kontrollschule	< NWG	< NWG	< NWG	0,122	0,155	0,055
Mittelwert	Georg-Ledebour	0,008	0,014	0,008	0,169	0,219	0,095
	Kontrollschule	0,003	< NWG	0,001	0,154	0,199	0,081
Maximum	Georg-Ledebour	0,091	0,149	0,056	1,463	2,318	2,053
	Kontrollschule	0,132	0,041	0,044	0,679	0,980	0,689
95.Perzentil	Georg-Ledebour	0,023	0,038	0,024	0,341	0,456	0,245
	Kontrollschule	0,009	< NWG	0,006	0,356	0,431	0,223
Stdabw.	Georg-Ledebour	0,009	0,018	0,009	0,121	0,170	0,131
	Kontrollschule	0,010	0,003	0,004	0,108	0,143	0,097
Pos. Befunde	Georg-Ledebour	78%	85%	69%	100%	100%	99%
	Kontrollschule	20%	4%	11%	100%	100%	98%

Die niederchlorierten PCB waren bei jeweils mehr als 2/3 der Kinder der Georg-Ledebour-Schule nachweisbar und damit deutlich häufiger als im Kontrollkollektiv mit maximal 20 %. Dieses Bild findet sich ähnlich auch in der Höhe der Messwerte wieder. Mit Medianen unterhalb von 10 ng/l wurden bei den Schülern der Georg-Ledebour-Schule vergleichsweise höhere Messwerte gefunden, die Mediane der Kontrollschule lagen jeweils unterhalb der Nachweisgrenze von 1 ng/l. Auch in den 95. Perzentilen der niederchlorierten PCB wird deutlich, dass die Schüler der Georg-Ledebour-Schule, insgesamt gesehen, eine höhere innere Belastung an niederchlorierten PCB aufweisen.

Bei den höherchlorierten PCB-Kongeneren 153, 138 und 180 war im Gegensatz zu den niederchlorierten kein Unterschied in der Höhe der im Blut gemessenen Konzentration feststellbar. Dies galt für die einzelnen Kongeneren wie für die Summe der drei höherchlorierten PCB. Die zahlenmäßige Differenz der Medianwerte lag innerhalb der Schwankungsbreite der Messwerte für belastete und unbelastete Schüler. Statistisch ergab sich kein Unterschied zwischen den PCB-Spiegeln im Blut belasteter und unbelasteter Schüler.

Die Resultate der Betrachtung der Einzelkongeneren spiegelt sich auch wider, wenn man die Ergebnisse auf Summenbasis betrachtet (**Tabelle 4**). Während im Median und 95. Perzentil bei den niederchlorierten PCB noch Unterschiede zwischen beiden Schulen erkennbar sind, nivelliert sich dieses Bild bei der Betrachtung der Summe der höherchlorierten PCB wie auch bei der Summe aller 6 Indikatorkongeneren, wobei bei geringfügig höheren Medianwerten der Schüler der Georg-Ledebour-Schule die 95. Perzentile nahezu identisch sind.

**Tabelle 4: PCB-Werte der Schüler der Georg-Ledebour-Schule und der Kontrollschule - Summenbetrachtung**

[µg/l]		Summe PCB 28, 52, 101 (niederchlorierte)	Summe PCB 153, 138, 180 (höherchlorierte)	Summe aller Indikator- Kongeneren
Median	Georg-Ledebour	0,022	0,396	0,438
	Kontrollschule	< NWG	0,331	0,331
Mittelwert	Georg-Ledebour	0,030	0,484	0,514
	Kontrollschule	0,005	0,434	0,439
Maximum	Georg-Ledebour	0,240	5,834	5,903
	Kontrollschule	0,163	2,324	2,341
95.Perzentil	Georg-Ledebour	0,081	1,038	1,070
	Kontrollschule	0,013	1,008	1,010
Stdabw.	Georg-Ledebour	0,030	0,414	0,421
	Kontrollschule	0,014	0,339	0,341

In **Tabelle 5** sind die PCB-Summenkonzentrationen verschiedener anderer aktueller Studien an Kindern in Deutschland aus den letzten Jahren dokumentiert.

Verglichen mit diesen Untersuchungen, die ebenfalls im Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Universität Erlangen-Nürnberg durchgeführt wurden (Heudorf et al. 2001), und externen Untersuchungen im Vollblut (BGesbl. 2002), ist die Belastung der Kinder im Nürnberger Raum im Vergleich zu Kindern entsprechenden Alters aus der Region Frankfurt/Main, Baden-Württemberg und dem ganzen Bundesgebiet deutlich niedriger. Die Messwerte der Nürnberger Kinder liegen auch unter den aktuellen Referenzwerten des Umweltbundesamtes (UBA) für Kinder zwischen 7 und 10 Jahren mit einem 95. Perzentil von 1,3 µg/l Vollblut (Höherchlorierte). Dies wird umso deutlicher, wenn man bedenkt, dass die Referenzwerte des UBA in Vollblut ermittelt wurden. PCB-Werte im Vollblut sind im Allgemeinen etwa halb so groß wie im Plasma gemessene Werte (z.B. Kappos et al. 1998).

Dies gilt in guter Näherung auch für die berechneten Mediane, jedoch nicht für die 95. Perzentile, da in diese Kenngröße außer der zentralen Tendenz auch die Variabilität der Daten verstärkt einfließt. Dennoch ist auch bei den 95. Perzentilen von vergleichsweise höheren Werten im Plasma auszugehen.

Damit liegen die im Umweltsurvey und die bei den Referenzwerten ermittelten Vollblutwerte deutlich höher als bei den Kindern beider Nürnberger Schulen.

**Tabelle 5: PCB-Summenkonzentrationen in µg/l in Plasma und Vollblut\* im Vergleich<sup>1</sup>**

	Alter [Jahre]	Unters.- Jahr	An- zahl [N]	Median [µg/l]	95. Perz. [µg/l]	Quelle
<u>NÜRNBERG</u>						
Ledebour-Schule	6 – 17	2001	377	0,438	1,070	Studie des StMGEV / IPASUM 2001/2002
Kontrollschule	6 – 17	2001	218	0,331	1,010	
<u>FRANKFURT/MAIN</u>						
	6 – 12	1998	60	0,92 <sup>(2)</sup>	3,51 <sup>(2)</sup>	Heudorf et al. [2001]
	12 – 18	1998	40	0,66 <sup>(2)</sup>	1,34 <sup>(2)</sup>	
<u>BADEN- WÜRTTEMBERG</u>						
Gesundheitsämter	9 – 11	1998/1999	404	0,35 <sup>(*2)</sup>	0,89 <sup>(*2)</sup>	Bundesgesundheitsblatt im Druck [2002]
<u>DEUTSCHLAND</u>						
Umweltsurvey	18 – 19	1998	107	–	0,9 <sup>(*2)</sup>	Bundesgesundheitsblatt im Druck [2002]
Referenzwerte	7 – 10	1998	509	–	1,3 <sup>(*2)</sup>	Bundesgesundheitsblatt [1998], Kappos et al. [1998]

\* Vollblut

<sup>1</sup> Die erzielten Median-Werte sind im Vollblut etwa halb so groß wie die im Plasma zu erwartenden Werte.

<sup>2</sup>  $\Sigma$  PCB 138, PCB 153, PCB 180

Zusammenfassend bleibt festzuhalten:

- Die PCB-Werte im Plasma der Kinder beider Schulen liegen im Fall der niederchlorierten PCB im Median unterhalb von 10 ng/l, die höherchlorierten PCB werden im Median im Bereich um 100 ng/l und darüber gemessen.
- Die niederchlorierten PCB sind im Plasma von Kindern der Georg-Ledebour-Schule vergleichsweise zu einem höheren Prozentsatz und in höheren Konzentrationen messbar als bei Kindern der Kontrollschule.
- Bei den höherchlorierten PCB nivelliert sich dieser Unterschied im Median zwischen beiden Schulen nahezu, die 95. Perzentile (Referenzwertkonzept) der höherchlorierten PCB sind nicht mehr unterscheidbar.
- Der Unterschied zwischen beiden Schulen, wie er bei den niederchlorierten PCB festgestellt wurde, zeigt sich bei Betrachtung der Summe aller Indikator-PCB kaum noch. Die 95. Perzentile der PCB-Gesamtaufnahme sind zwischen beiden Schulen nicht mehr unterscheidbar. Die Gesamtaufnahme wird eindeutig von der Aufnahme der höherchlorierten PCB dominiert.
- Die PCB-Belastungen beider Schulen im Nürnberger Raum liegen z.T. deutlich unter denjenigen aktueller anderer Studien an Kindern in Deutschland. Sie liegen auch deutlich unter den derzeit aktuellen Referenzwerten des UBA bei der entsprechenden Altersgruppe.

#### 4.2.2 Lehrer

Aufgrund der niedrigen Fallzahlen in den einzelnen Altersgruppen werden bei den Lehrern beider Schulen jeweils nur die Bereiche der gemessenen Werte für die höherchlorierten PCB und deren Summe betrachtet. Diese Werte sind, aufgeteilt nach Altersgruppen, in **Tabelle 6** gemeinsam mit den jeweilig aktuellen Referenzwerten des Umweltbundesamtes dargestellt. Dabei ist festzustellen, dass sämtliche Messwerte der Lehrer beider Schulen z.T. weit unter den Referenzwerten liegen. In keinem Fall war eine Referenzwertüberschreitung zu beobachten. Die Belastungen lagen damit durchweg im Bereich der üblichen Grundbelastung der deutschen Allgemeinbevölkerung.

**Tabelle 6: Ergebnisse des Biologischen Monitoring bei den Lehrern beider Schulen und Referenzwerte des Umweltbundesamtes (für die Kongeneren PCB 28, 52, und 101 existieren keine Referenzwerte)**

[µg/l]	Alter [Jahre]	PCB 28	PCB 52	PCB 101	PCB 138	PCB 153	PCB 180	Summe (138,153,180)
G.-Ledebour (N=6)	26 – 35	<NWG* – 0,030	<NWG – 0,051	<NWG – 0,042	0,25 – 0,71	0,34 – 0,99	0,19 – 0,65	0,79 – 2,35
Kontrollschule (N=2)		<NWG – 0,006	<NWG	<NWG – 0,004	0,49 – 0,85	0,64 – 1,08	0,35 – 0,55	4,61 – 7,72
Referenzwert		–	–	–	1,5	1,9	1,5	5,6
G.-Ledebour (N=8)	36 – 45	<NWG – 0,031	<NWG – 0,056	<NWG – 0,049	0,25 – 0,84	0,36 – 1,22	0,32 – 1,13	0,93 – 3,20
Kontrollschule (N=4)		<NWG – 0,003	<NWG	<NWG – 0,005	0,29 – 0,81	0,84 – 1,13	0,38 – 0,76	1,93 – 4,24
Referenzwert		–	–	–	2,2	2,8	2,2	7,6
G.-Ledebour (N=8)	46 – 55	0,002 – 0,066	<NWG – 0,081	0,002 – 0,074	0,52 – 1,59	0,59 – 2,40	0,20 – 1,71	1,30 – 5,70
Kontrollschule (N=3)		<NWG – 0,011	<NWG	<NWG – 0,024	0,39 – 1,37	0,56 – 1,96	0,50 – 2,23	3,27 – 5,30
Referenzwert		–	–	–	3,0	3,7	2,9	10,0
G.-Ledebour (N=5)	56 – 65	0,016 – 0,168	<NWG – 0,092	0,014 – 0,116	0,93 – 1,92	1,34 – 2,53	0,94 – 1,63	3,28 – 6,09
Kontrollschule (N=8)		<NWG – 0,061	<NWG	<NWG – 0,074	0,51 – 2,15	0,76 – 3,16	0,65 – 2,28	1,05 – 4,94
Referenzwert		–	–	–	3,7	4,6	3,5	12,2

\* NWG = Nachweisgrenze

#### 4.2.3 PCB-Belastung und Dauer des Aufenthalts in der Georg-Ledebour-Schule

Bei Betrachtung des Zusammenhangs zwischen der Konzentration der PCB im Blut der Schüler, dem Alter und der Aufenthaltsdauer in den belasteten Räumen konnten nur die Daten der 238 Schüler herangezogen werden, die an der ärztlichen Untersuchung teilgenommen hatten und von denen daher Datensätze vorhanden waren.



Die Summe der niederchlorierten PCB zeigt in der multiplen linearen Regression unter Berücksichtigung von Lebensalter und Zahl der in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahre eine positive Assoziation mit den Schuljahren ( $p=0,034$ ) und eine negative Assoziation mit dem Lebensalter ( $p=0,051$ ). In Abbildung 2 sind die Boxplots der Summenkonzentrationen der niederchlorierten PCB in Abhängigkeit von den in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahren dargestellt.

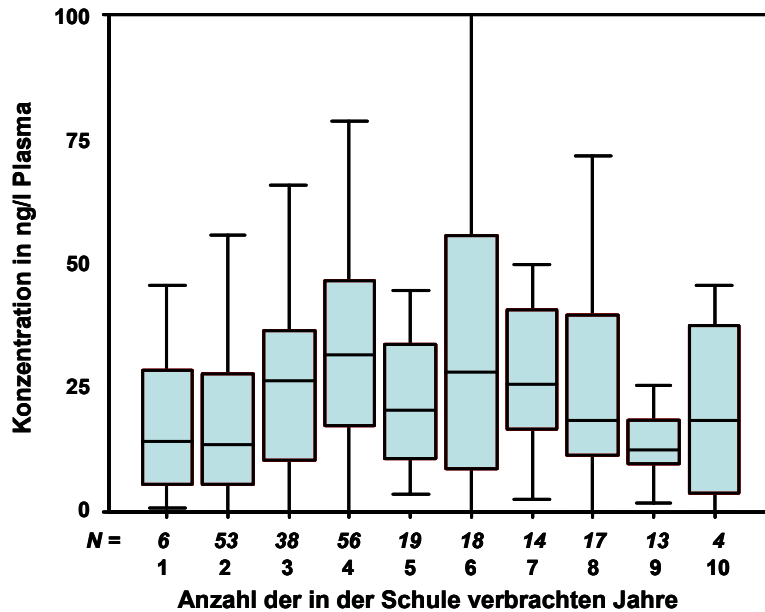


Abbildung 2: Konzentration niederchlorierter PCB im Blut von Schülern der Georg-Ledebour-Schule in Assoziation mit der Zahl der Schuljahre

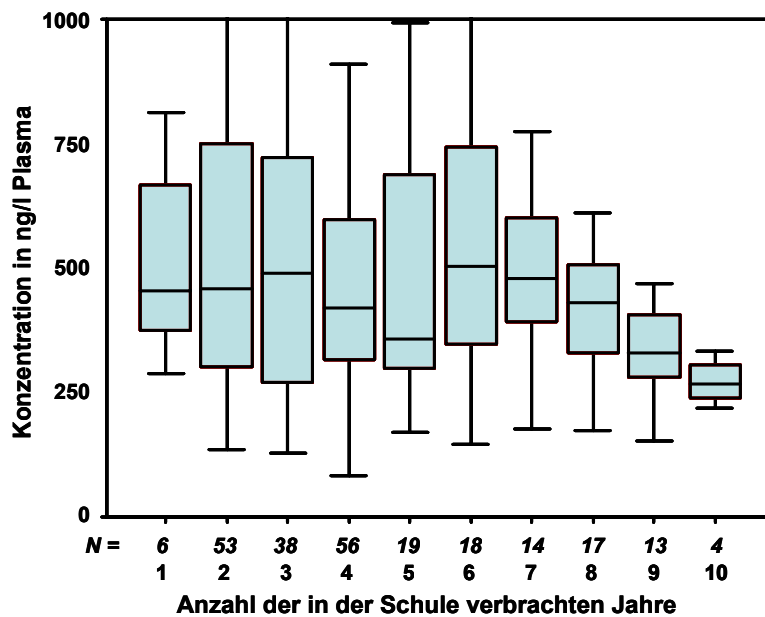


Abbildung 3: Konzentration der Summe aller PCB-Indikatorkongeneren im Blut von Kindern der Georg-Ledebour-Schule in Assoziation mit der Zahl der Schuljahre

Die Summe aller PCB-Indikatorkongeneren zeigt in der multiplen Regression eine statistisch signifikante negative Assoziation mit den Schuljahren ( $p=0,019$ ) (**Abbildung 3**), d.h. mit zunehmender Aufenthaltsdauer in der Georg-Ledebour-Schule nimmt die Summe der Gesamt-PCB-Konzentration im Blut der Kinder ab. Eine statistisch signifikante Assoziation mit dem Lebensalter besteht nicht ( $p=0,502$ ).

### 4.3 Gesundheitliche Beschwerden

An der erweiterten ärztlichen Fragebogen-Untersuchung im April bis Juni 2002 nahmen nicht alle Schüler und Lehrer teil, von denen vorher Blut zur PCB-Analytik entnommen worden war. Die Zahl der Schüler aus der Georg-Ledebour-Schule hatte sich von 377 auf 238, die aus der unbelasteten Schule von 235 auf 159 reduziert. Der Anteil der Lehrer war mit 16 Lehrern der Georg-Ledebour-Schule und nur 5 Lehrern der unbelasteten Schule gering. Der Lehrkörper an der Georg-Ledebour-Schule beträgt etwa 50 Lehrerinnen und Lehrer, sodass bei einer epidemiologischen Untersuchung von erheblichen Selektionseffekten auszugehen ist. Weiter erscheint ein Vergleich mit einem Kontrollkollektiv von fünf Lehrern der Vergleichsschule aus epidemiologischen Überlegungen nicht möglich. Aus diesem Grunde werden im Folgenden für alle weiteren Analysen ausschließlich die Ergebnisse von Schülern beider Schulen betrachtet.

Geprüft wurde, ob sich die PCB-Belastung der Kinder, die auch an der ärztlichen Fragebogen-Untersuchung zum Gesundheitszustand im 2. Quartal 2002 teilnahmen, von derjenigen der Gesamtgruppe (Georg-Ledebour- und unbelastete Schule) unterscheidet, die im Jahr 2001 untersucht worden waren. Dies war nicht der Fall. Selektionseffekte, die zur Unterschätzung von expositionsbedingten Beschwerden führen könnten, sind daher nicht zu befürchten.

#### 4.3.1 *Standardisierter, validierter Fragebogen*

Eine Auswertung von Einzelfragen sieht das computergestützte Fragebogen-Instrumentarium (Hogrefe-Testsystem, Version 3.7) des „Gießener Beschwerdeboogens für Kinder und Jugendliche“ nicht vor. Zur Prüfung von Unterschieden zwischen beiden Kollektiven wurde der jeweils aus mehreren Einzelfragen gebildete Summenscore pro Beschwerdekomples (Erschöpfung, Magensymptomatik, Gliederschmerzen, Kreislaufsymptomatik, Erkältungssymptomatik) und des Beschwerdedruckes ausgewertet. Die differenzierte Auswertung zeigte keinerlei Unterschiede zwischen den Schülern der Georg-Ledebour-Schule und denen der unbelasteten Schule sowohl hinsichtlich der Summenscores als auch hinsichtlich der Quartilslage (prozentualer Bezug zur entsprechenden Kinderstichprobe der „Normal“-Bevölkerung). Eine grafische Übersicht über die Ergebnisse in Form von Box- and Whisker-Plots ist in **Abbildung 4** dargestellt. In dieser Abbildung sind die Box- and Whisker-Plots der Summenscores der einzelnen Beschwerdekomples und des Beschwerdedruckes abgebildet. An

der y-Achse ist der Summenscore für die verschiedenen Symptomkomplexe als Punktwert aufgetragen.

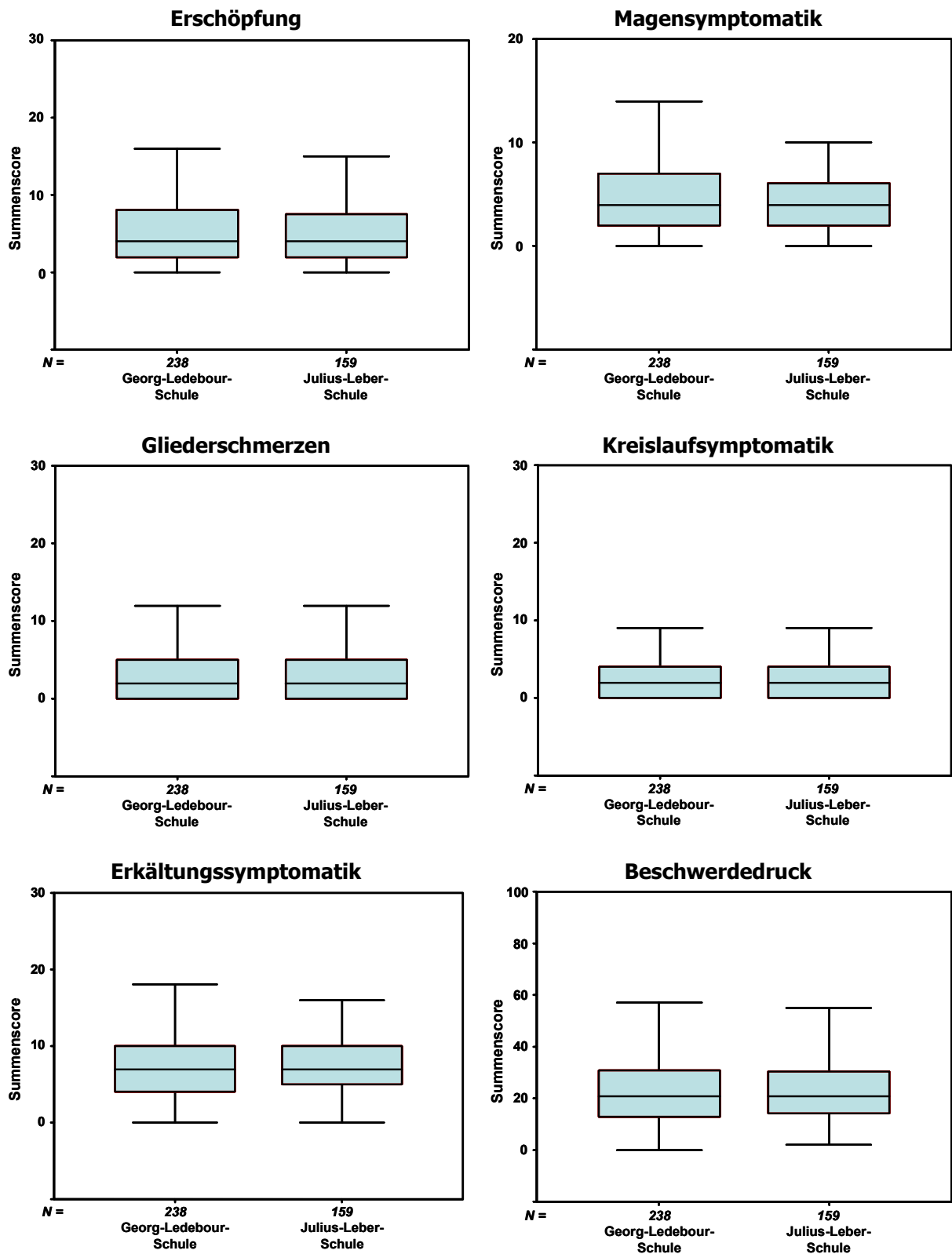


Abbildung 4: Grafischer Vergleich der Ergebnisse des standardisierten „Gießener Beschwerdeboogens für Kinder und Jugendliche“ (Georg-Ledebour-Schule vs. Julius-Leber-Schule (Kontrollschule))

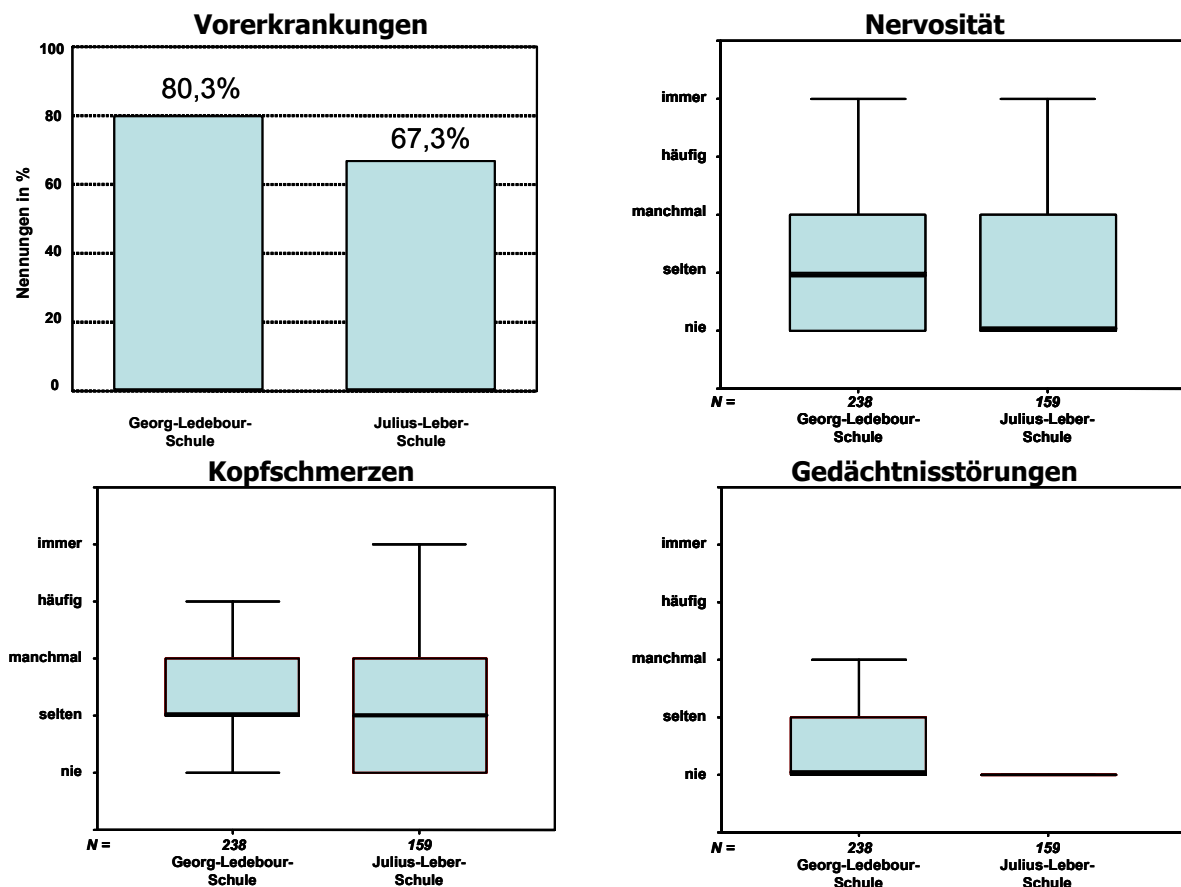
### 4.3.2 Frei entworfenen ärztlichen Screeningbogen

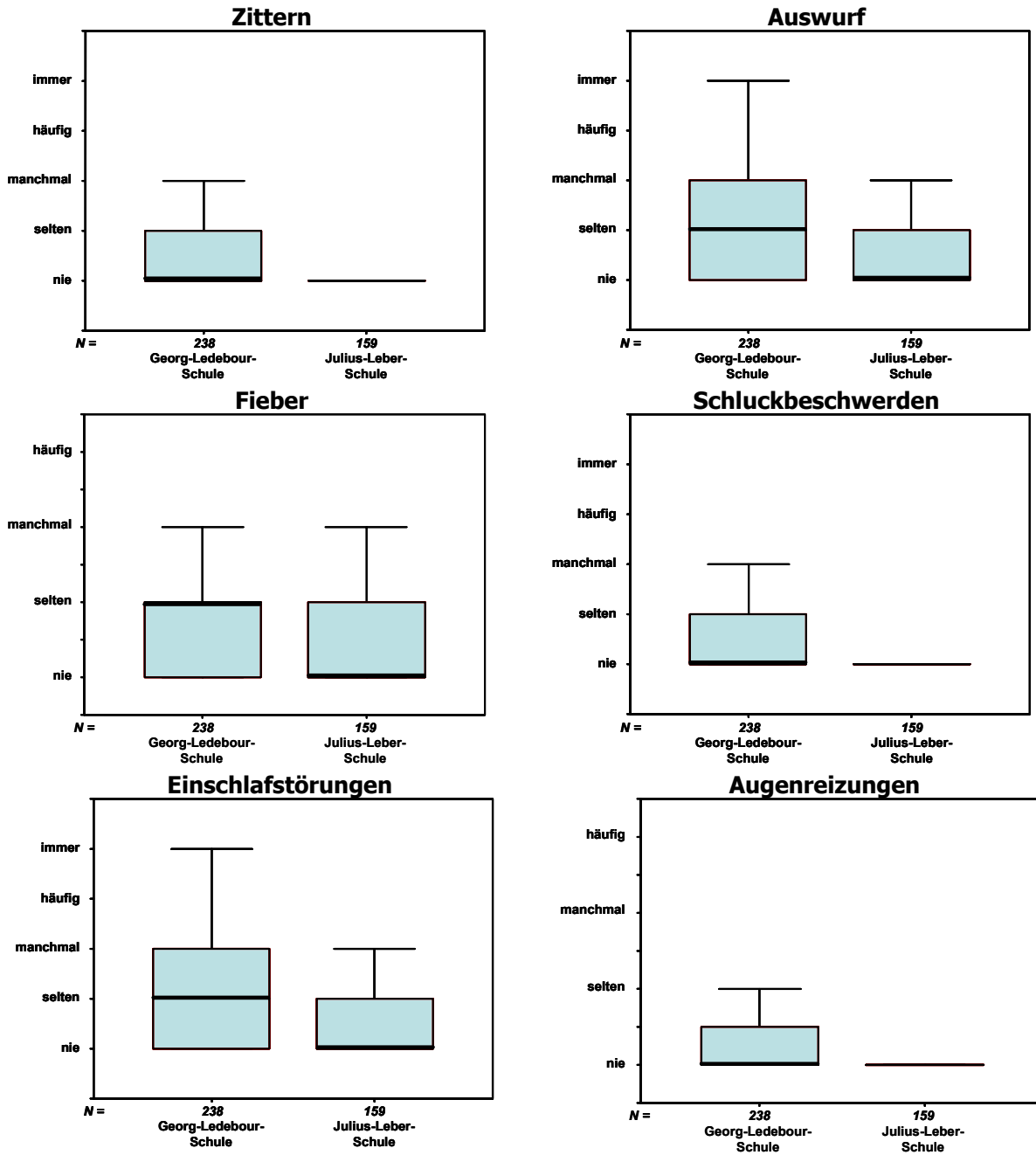
#### 4.3.2.1 Häufigkeiten in der Nennung von Beschwerden

Bei der Auswertung des frei erarbeiteten ärztlichen Screeningbogens gab es keine Unterschiede zwischen den Kollektiven bei Nennung der Beschwerden: Muskelschmerzen, Schwellungen, Haarausfall, Schwitzen, Erschöpfung, Wärmeunverträglichkeit, Unruhe, Taubheit, Gewichtsveränderung, Durchschlafstörungen, Hautrötung, Braunverfärbung der Haut, häufiger Herpes labialis und häufige Atemwegsinfektionen.

Dagegen fanden sich bei der Rubrik: Vorerkrankungen sowie bei den Einzelsymptomen: Augenreizungen, Kopfschmerzen, Nervosität, Gedächtnisstörungen, Zittern, Auswurf, Fieber, Schluckbeschwerden und Einschlafstörungen häufiger Nennungen bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule.

In **Abbildung 5** sind die Box- and Whisker-Plots zu den Rubriken, bei denen sich im ärztlichen Screeningbogen Unterschiede zwischen den Schülern der Georg-Ledebour-Schule und der Vergleichsschule ( $p < 0,05$ ) ergaben, grafisch dargestellt. Bei Vorerkrankungen wurde nur JA / NEIN abgefragt; an der y-Achse ist die prozentuale Häufigkeit der Nennung von Vorerkrankungen dargestellt. Bei den anderen Rubriken ist an der y-Achse jeweils die angegebene Symptommhäufigkeit aufgetragen. Der Median ist als Strich (fett) dargestellt.





**Abbildung 5: Grafischer Vergleich der Ergebnisse des frei entworfenen ärztlichen Screeningbogens (Unterschiede Georg-Ledebour-Schule vs. Julius-Leber-Schule (Kontrollschule))**

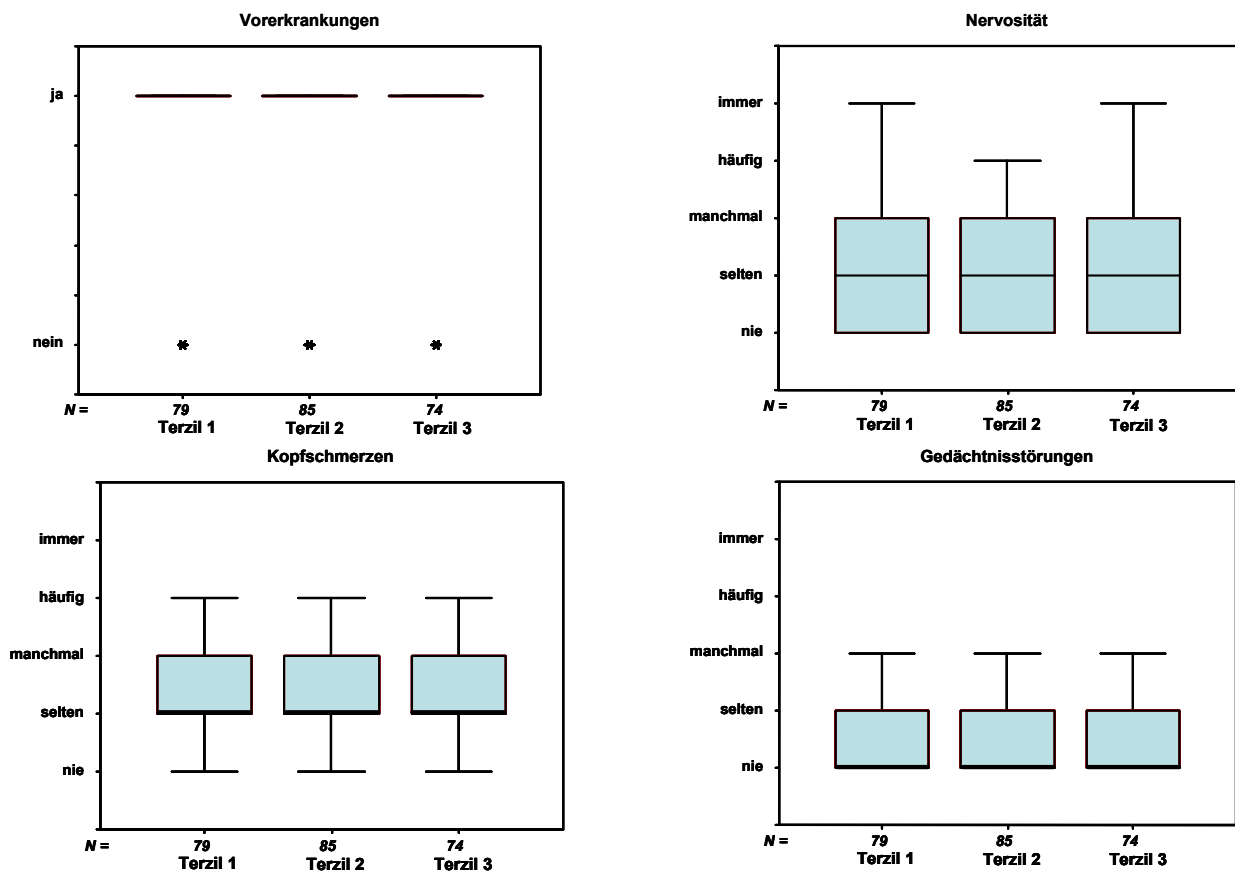
#### 4.3.2.2 Prüfung auf Dosis-Wirkungs-Beziehungen

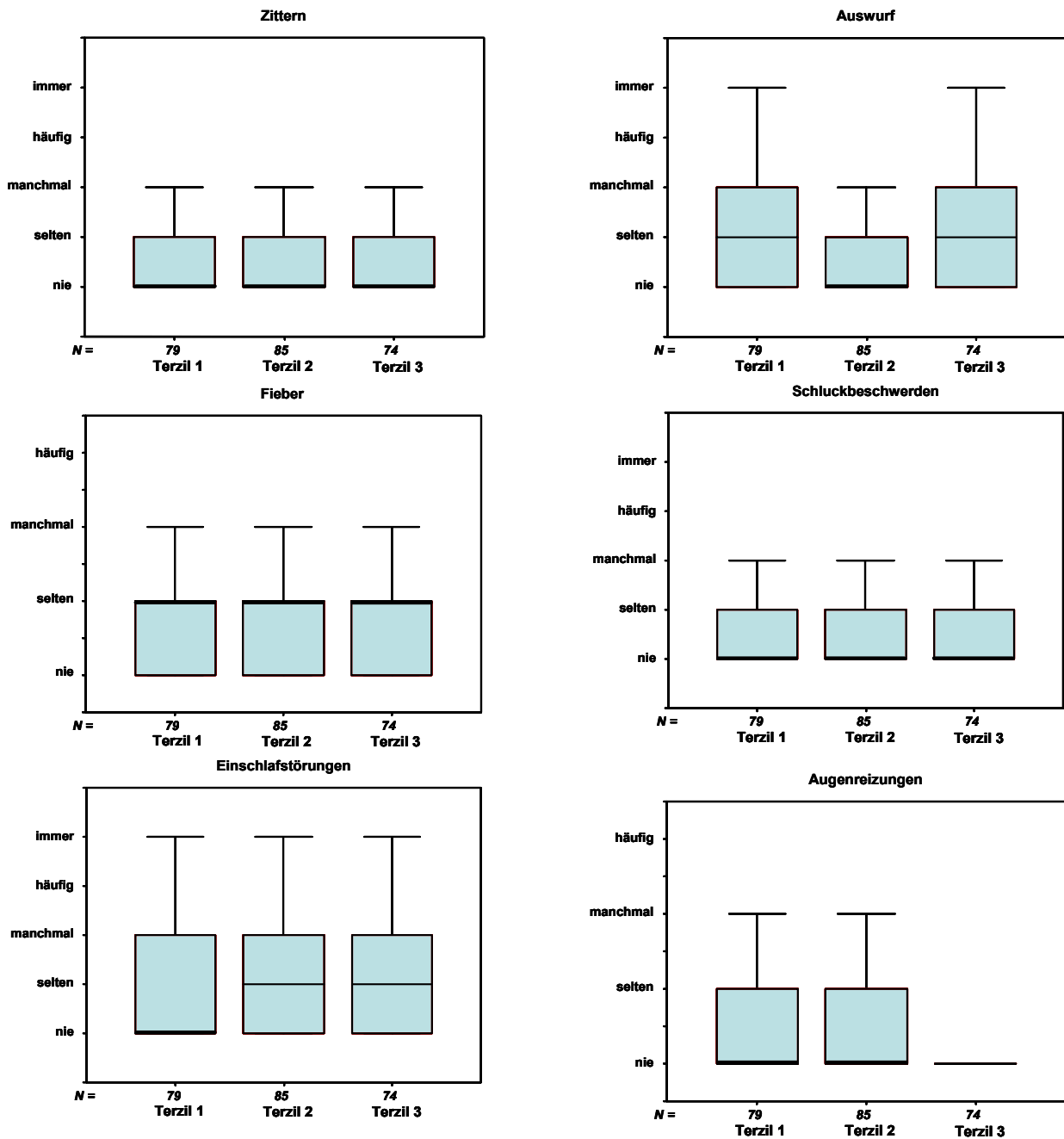
Um zu prüfen, ob die genannten Symptome im ärztlichen Screeningbogen mit der PCB-Exposition in der Schule assoziiert sind, wurden sowohl für die Summe aller PCB als auch für die Teilsumme der niederchlorierten PCB Terzile gebildet. Die Berechnungen für die Terzile der PCB-Gesamtsumme und für die Summe der niederchlorierten PCB sind in **Tabelle 7** dargestellt.

**Tabelle 7: Terzile der Summe aller PCB und der Summe der niederchlorierten PCB**

Summe aller PCB [ $\mu\text{g/l}$ ]			Summe der niederchlorierten PCB [ $\mu\text{g/l}$ ]		
1. Terzil	2. Terzil	3. Terzil	1. Terzil	2. Terzil	3. Terzil
< 0,350	< 0,350 < 0,587	> 0,587	< 0,013	< 0,013 < 0,031	> 0,031

Die o.g. Terzile sind in **Abbildung 6** nach vorliegender statistischer Berechnung grafisch aufgetragen. Die Abbildung stellt die Box- and Whisker-Plots der Angaben zu Vorerkrankungen und zu den Symptommhäufigkeiten der Georg-Ledebour-Schüler als diskretes Merkmal dar, verteilt auf die Terzile der niederchlorierten PCB. Die Symptommhäufigkeiten wurden in den Ausprägungen: nie, selten, manchmal, häufig und immer ermittelt. Die Rubrik „Vorerkrankungen“ erhielt die diskrete Ausprägung NEIN und JA. Dabei ergab sich kein Hinweis auf eine bestehende Dosis-Wirkungs-Beziehung.



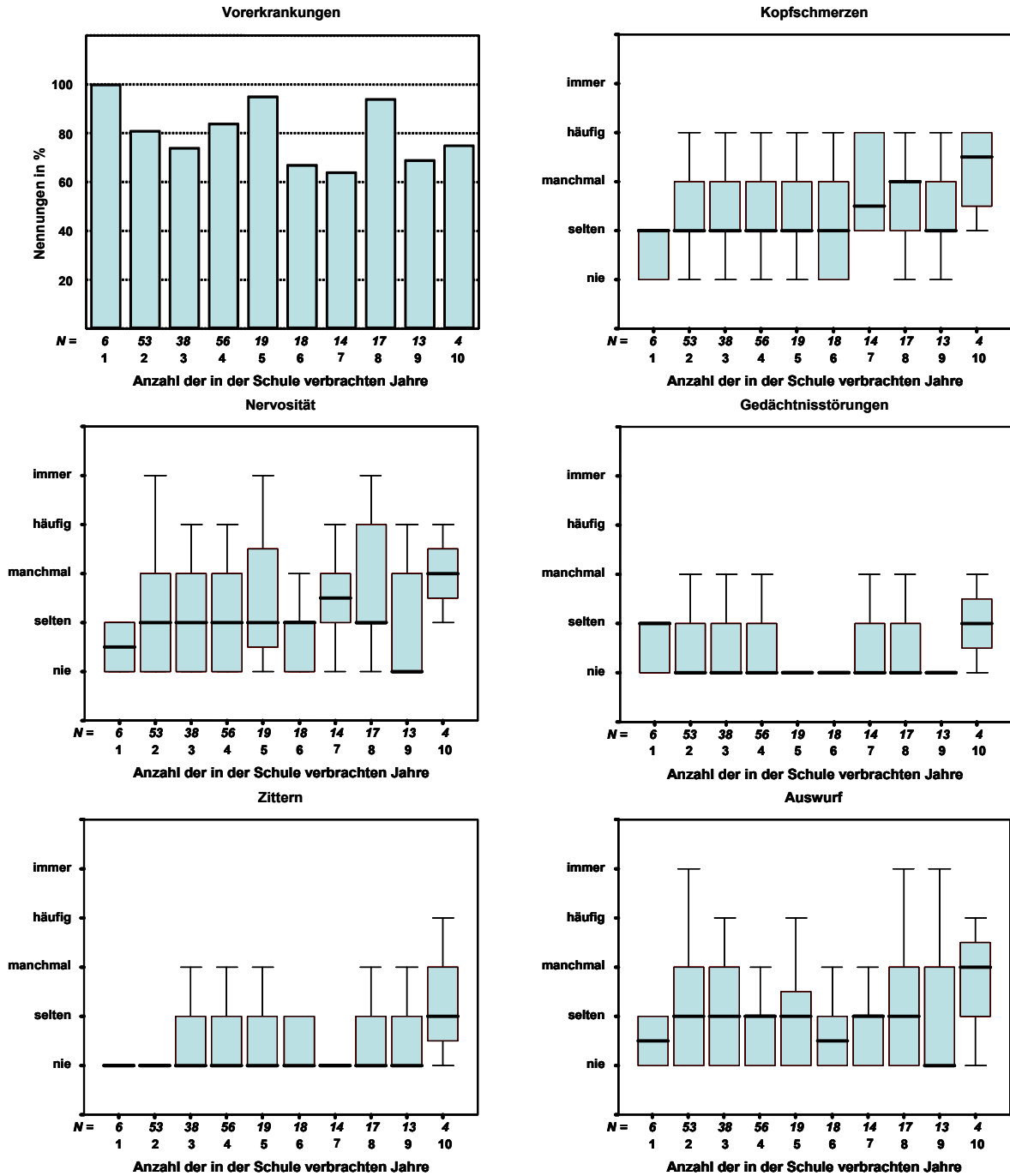


**Abbildung 6: Grafische Darstellung der Vorerkrankungen und Symptome gemäss ärztlichem Screeningbogen gegenüber den Terzilen der Belastung durch niederchlorierte PCB**

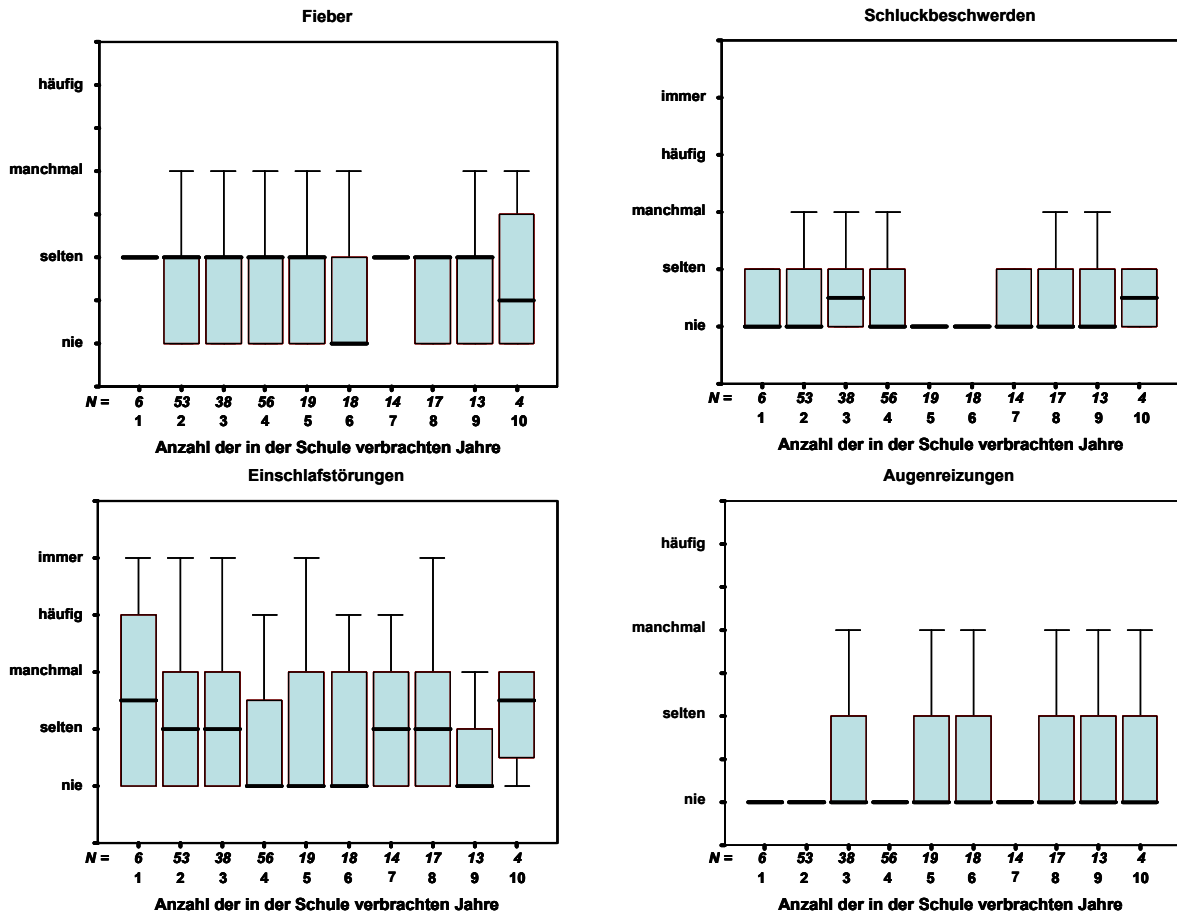
Unter Berücksichtigung der Terzile bei Betrachtung der gesamten PCB-Belastung (Summe der 6 Indikator-Kongeneren) liegt ebenfalls kein Hinweis auf eine bestehende Dosis-Wirkungs-Beziehung zwischen dem Vorhandensein von Vorerkrankungen bzw. den Symptomhäufigkeiten und der Höhe der PCB-Belastung vor (ohne Abb.).

Eine zweite Möglichkeit, den Einfluss einer Exposition zu erfassen, stellt der Nachweis einer Expositionsdauer-Wirkungs-Beziehung dar. In entsprechender Weise werden die anamnesti-

schen Angaben in Beziehung zu den in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahren gesetzt. Dies ist in **Abbildung 7** dargestellt.







**Abbildung 7: Grafische Darstellung der Vorerkrankungen und Symptome gemäss ärztlichem Screeningbogen gegenüber der Zahl der Schuljahre an der Georg-Ledebour-Schule**

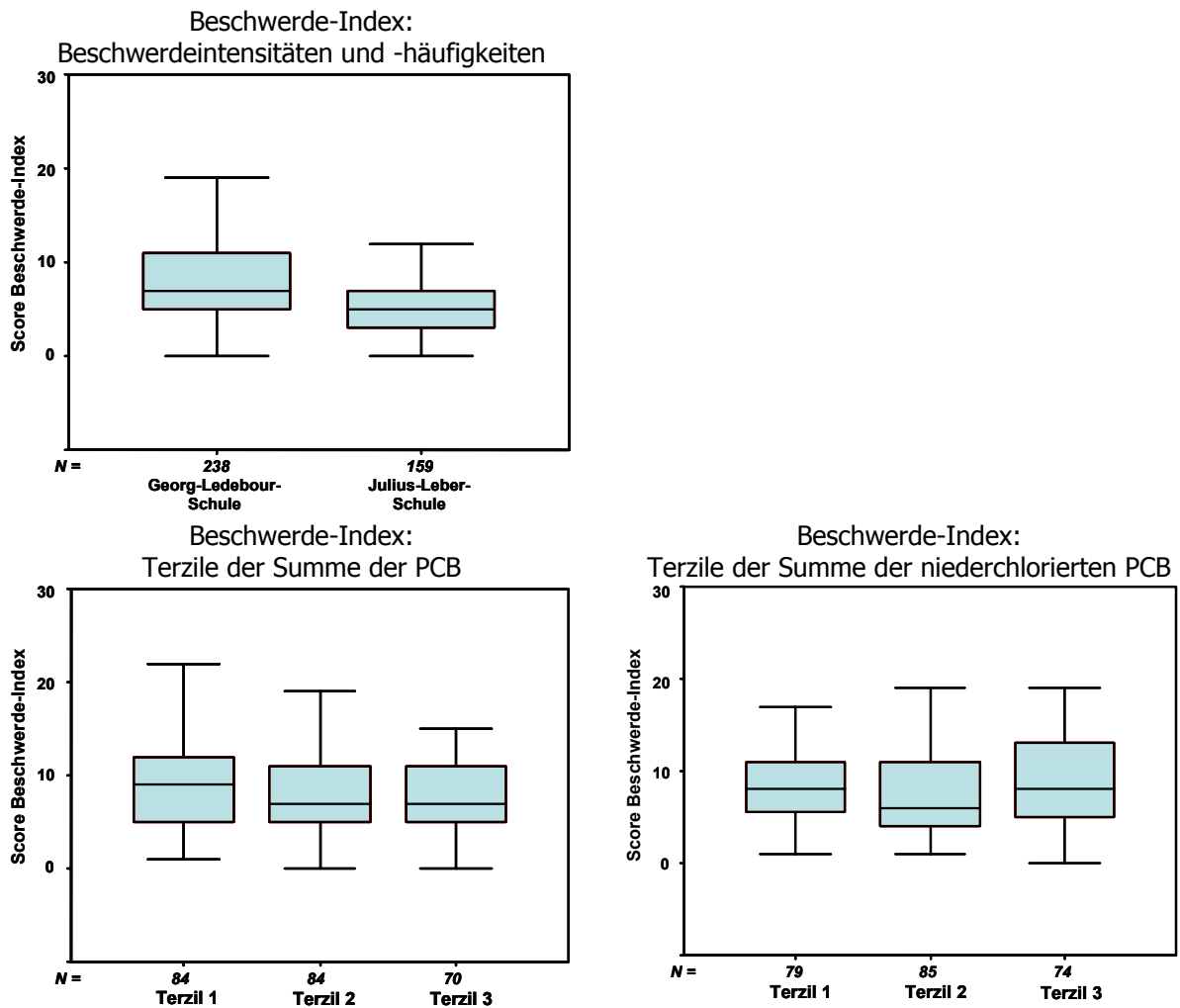
Berücksichtigt man nicht die Konzentration der niederchlorierten PCB im Blut der Kinder, sondern die Zahl der in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahre, so zeigt sich ebenfalls kein Hinweis auf eine bestehende Assoziation zwischen der Zahl der Schuljahre in der Georg-Ledebour-Schule einerseits und der Häufigkeit des Auftretens von Beschwerden andererseits.

#### 4.3.2.3 Bildung von Beschwerde-Indices

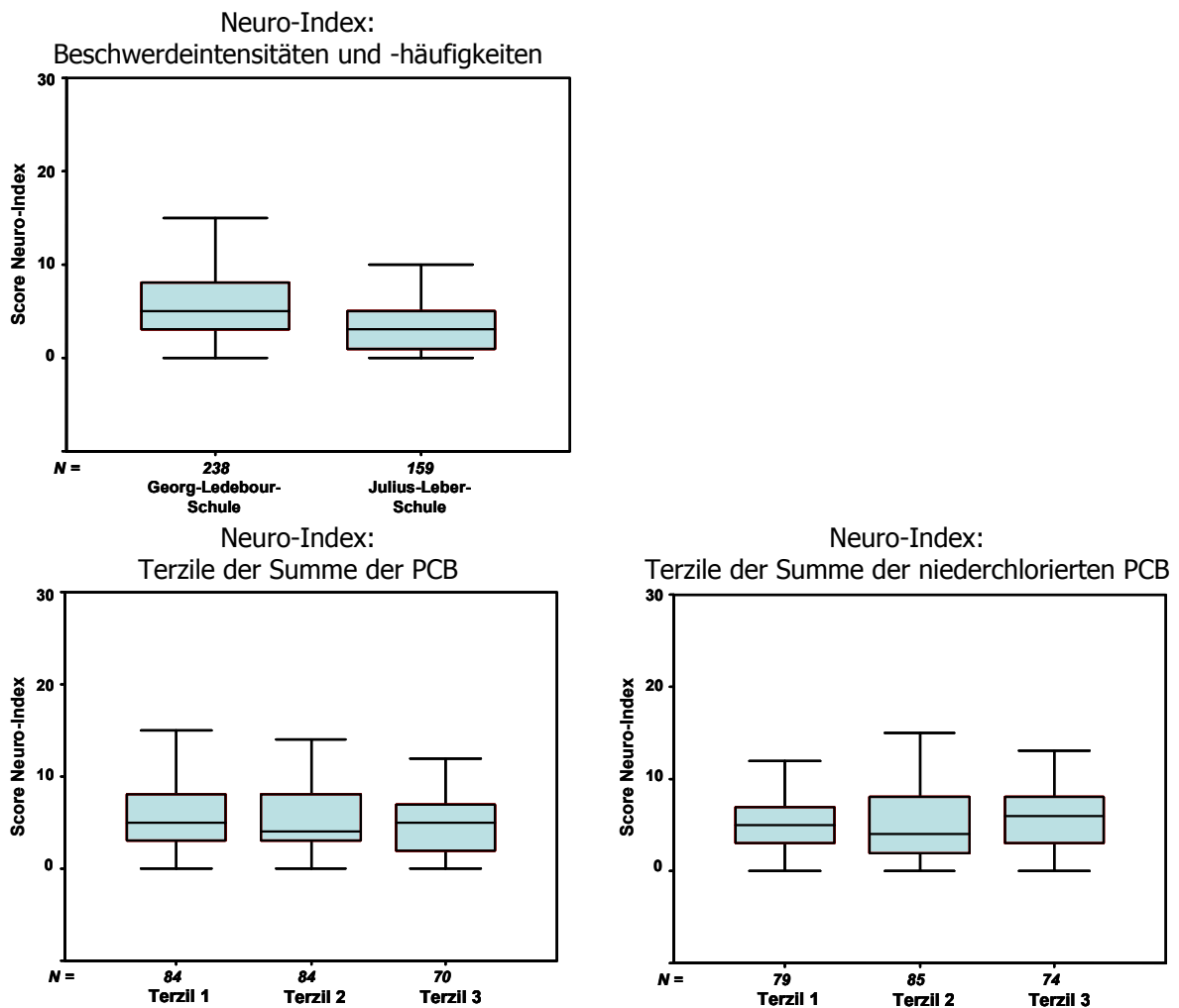
Um einen möglichen Zusammenhang zwischen PCB-Belastung und Beschwerden zu finden, die bei Betrachtung der Einzelsymptome vielleicht nicht erkennbar waren, wurden verschiedene Indices gebildet. Dabei erfolgte nur die Berücksichtigung von Symptomen, bei denen statistische Unterschiede zwischen den Gruppen nachgewiesen wurden. In den Beschwerde-Index (**Abbildung 8**) gingen Vorerkrankungen und alle Symptome, die Unterschiede zeigten, ein. Symptome, die mit einer Erkrankung des Nervensystems in Verbindung gebracht werden könnten, wurden in einem sog. Neuro-Index (**Abbildung 9**) zusammengefasst (Nervosität, Gedächtnisstörungen, Zittern, Schluckbeschwerden, Kopfschmerzen, Einschlafstörungen). Schließlich wurden Symptome, die auf eine Atemwegserkrankung hin-

weisen könnten, in einem Atemwegs-Index (Abbildung 10) zusammengefasst (Kopfschmerzen, Fieber, Auswurf, Augenreizungen).

Eine grafische Übersicht in Form von Box- and Whisker-Plots ist in den Abbildungen 8 – 10 dargestellt. An der y-Achse ist der Summenscore für die in den jeweiligen Index integrierten Symptommhäufigkeiten aufgetragen. Im Bild 2 jeder Abbildung sind an der x-Achse die Terzile der Summe der PCB und in Bild 3 die Terzile der Summe der niederchlorierten PCB aufgetragen.



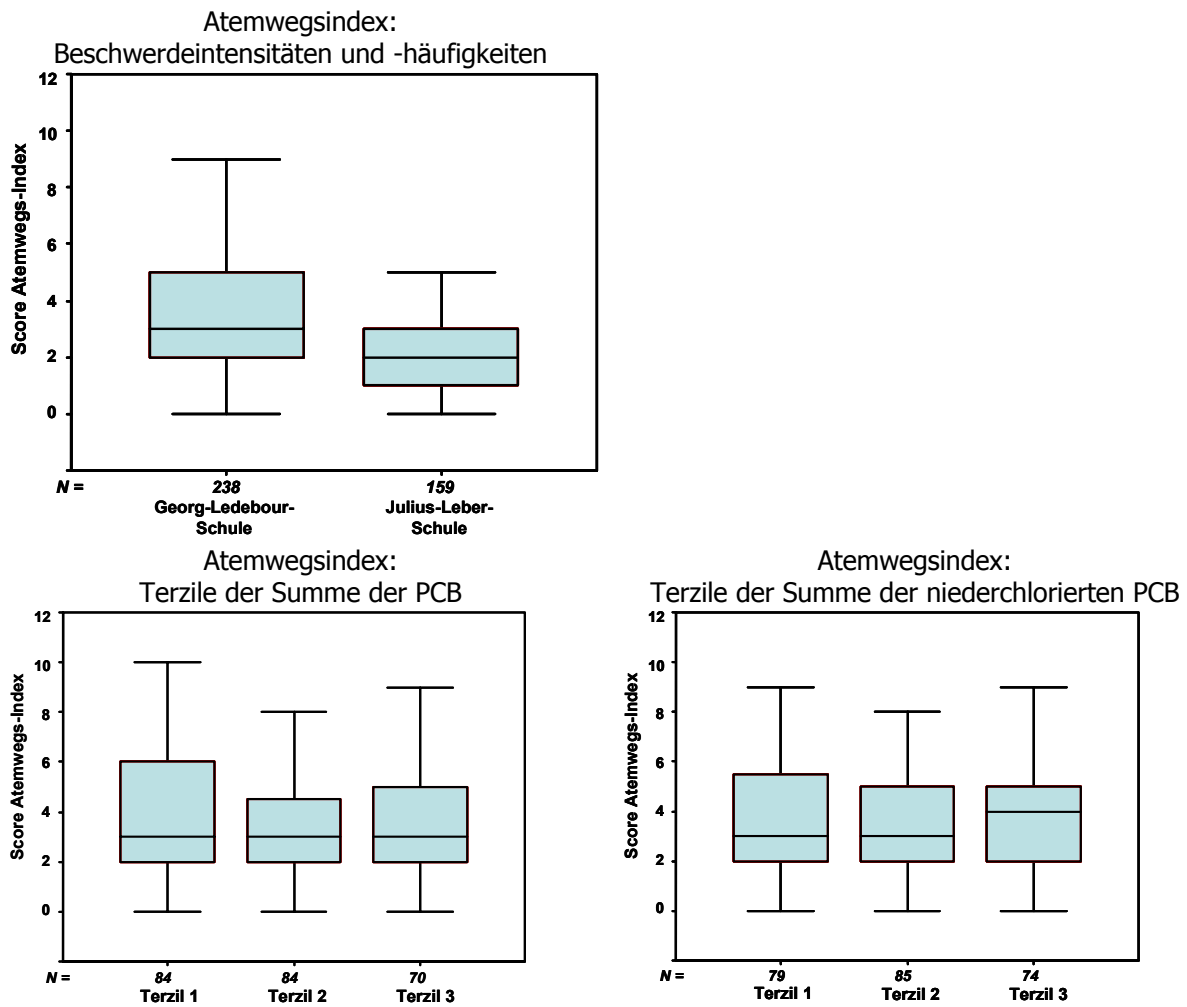
**Abbildung 8: Beschwerde-Index**



**Abbildung 9: Neuro-Index**

Die Untersuchungen zum Nachweis möglicher Dosis-Wirkungs-Beziehungen gaben somit keinen Hinweis darauf, dass die Indices mit der Konzentration der PCB im Blut (**Abbildungen 8 – 10**) assoziiert sind.

Ebenso erbrachte die Prüfung, ob die Zahl der Schuljahre mit den Beschwerden korreliert, keinen Hinweis auf einen derartigen Zusammenhang (ohne Abbildung).



**Abbildung 10: Atemwegs-Index**

#### 4.3.2.4 Organspezifische Beschwerdemuster

Weiter wurde geprüft, ob ein spezifisches Symptommuster bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule vorlag. Dabei wurde in einer multiplen Regression untersucht, welche der gehäuft von Schülern der Georg-Ledebour-Schule genannten Symptome des ärztlichen Screeningbogens mit welchen anderen Beschwerden oder Symptomen assoziiert sind. Dabei zeigte sich kein spezifisches Muster, das auf die Schädigung eines bestimmten Organs oder Organsystems hinweist. Die Symptome des frei entworfenen ärztlichen Fragebogens und die assoziiert genannten Symptome sind in Tabelle 8 aufgeführt.

**Tabelle 8: Symptome des frei entworfenen ärztlichen Fragebogens und assoziiert genannte Symptome**

<b>Symptom</b>	<b>assoziierte Symptome</b>
Vorerkrankungen	Fieber Augenreizungen
Kopfschmerzen	Nervosität
Nervosität	Kopfschmerzen Gedächtnisstörungen Zittern
Gedächtnisstörungen	Nervosität Auswurf Schluckbeschwerden
Zittern	Nervosität Auswurf
Auswurf	Gedächtnisstörungen Zittern Fieber Schluckbeschwerden
Fieber	Vorerkrankungen Auswurf Einschlafstörungen
Einschlafstörungen	Fieber
Schluckbeschwerden	Auswurf Gedächtnisstörungen Augenreizungen
Augenreizungen	Schluckbeschwerden Vorerkrankungen

## 5. Diskussion

### 5.1 Innere Belastung

Mit der eingesetzten standardisierten und optimierten analytischen Methode gelang es, die sechs WHO-Indikator-Kongeneren bis zu Konzentrationen um 1 ng/l zu erfassen. Dabei wurden ein in diesem Konzentrationsbereich nicht zu vermeidender Reagenzienleerwert und dessen dreifache Standardabweichungen rechnerisch berücksichtigt und von den Messwerten abgezogen. Es gelang so, PCB-Konzentrationen zu bestimmen, die weit unterhalb der konventionellen Bestimmungsgrenze von 100 ng/l liegen. Dass dies gelungen ist, findet seine Bestätigung durch das Studiendesign. Während der gesamten Zeit, die die Analytik in Anspruch nahm, war dem Labor nicht bekannt, ob es sich um Plasmaproben von Probanden aus der belasteten oder der unbelasteten Schule handelte. Jeder subjektive Einfluss auf die Analyseergebnisse war durch dieses Studiendesign ausgeschlossen. Auf diese Weise konnte hier erstmals der unbezweifelbare Nachweis geführt werden, dass eine PCB-Kontamination im Indoor-Bereich zu einer messbaren Erhöhung der Konzentration niederchlorierter PCB im Blut der Betroffenen führt.

Von den Schülern der Georg-Ledebour-Schule wiesen 69 % bis 85 % nachweisbare Gehalte an PCB 28, 52 und 101 auf. Dem gegenüber war dies nur bei 4 % bis 20 % der Schüler der unbelasteten Schule der Fall. Erwartungsgemäß wiesen die Schüler der Georg-Ledebour-Schule auch eine höhere Belastung durch die niederchlorierten PCB in Plasma auf: im Median 6 ng/l für PCB 28, 9 ng/l für PCB 52 und 5 ng/l für PCB 101. Der entsprechende Wert lag bei den Schülern der unbelasteten Schule jeweils unterhalb der Nachweisgrenze. Dabei handelt es sich um neue wissenschaftliche Erkenntnisse, die noch in entsprechender Form in einschlägigen Fachzeitschriften publiziert werden sollen. Die vorliegende Studie liefert wichtige Daten für die Beurteilung der PCB-Aufnahme in belasteten Gebäuden. Die Ergebnisse werden auch bei der weiteren Festlegung von Kriterien zur Beurteilung PCB-belasteter Gebäude zu berücksichtigen sein.

Die multiple lineare Regression zeigte, dass die Summe der PCB-Konzentrationen der drei niederchlorierten PCB mit der Anzahl der in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahre anstieg. Ein entsprechender Anstieg mit dem Lebensalter konnte nicht beobachtet werden.

Dass die Entnahme der Blutproben in einem Zeitraum zwischen 19 und maximal 54 Tagen nach dem Ende des Schuljahres entnommen werden konnten, ist vor dem Hintergrund der Halbwertszeiten zu diskutieren, mit denen die PCB aus dem menschlichen Körper eliminiert werden. Die bisherige Datenlage zur Toxikokinetik, vor allem der niederchlorierten PCB, war äußerst lückenhaft und führte zu der Annahme, dass diese Kongeneren im schlimmsten Fall mit Halbwertszeiten von wenigen Tagen ausgeschieden würden. Dies war der Anlass, einen renommierten Toxikokinetiker in die Studie einzubinden. Herrn Professor Dr. Dr. Filser ist es

gelingen, ein toxikokinetisches Modell zu erstellen und für die PCB-Kongeneren 28, 52 und 101 bei 8-jährigen Schülern Halbwertszeiten von 82, 11,2 und 27,6 Tagen zu ermitteln. Diese Halbwertszeiten steigen mit wachsendem Lebensalter an und erreichen im 17. Lebensjahr 329, 47,3 und 115 Tage (**Tabelle 2**). Da mit steigendem Lebensalter die Halbwertszeit der niederchlorierten PCB zunimmt, muss der Einfluss der Halbwertszeit auf die Ergebnisse der jüngsten Schüler am höchsten sein. Nach den Ergebnissen von Herrn Professor Filser sinkt z.B. der PCB 52-Spiegel im Verlauf der Ferien um max. 15 ng/l ab. Der entsprechende Abfall von PCB 28 und 101 ist auf Grund der längeren Halbwertszeit dieser Kongeneren geringer. Dies bedeutet, dass die Konzentrationen von PCB 28, 52 und 101 auch vor Beginn der Ferien nicht mehr als diesen Betrag höher lagen, als zum Zeitpunkt der Probenahme. Dies aber bedeutet, dass die zusätzliche PCB-Belastung in der Georg-Ledebour-Schule nur einen geringen Anteil an der Hintergrundbelastung darstellte.

Aus den Ergebnissen ist zu folgern, dass es beim Aufenthalt in der Georg-Ledebour-Schule zu einer zusätzlichen Aufnahme der leichter flüchtigen, niederchlorierten PCB-Kongeneren 28, 52 und 101 gekommen ist. Diese zusätzliche Aufnahme lässt sich durch ein sog. biologisches Monitoring objektivieren und liefert die Basis für eine Bewertung einer evtl. gesundheitlichen Gefährdung durch die PCB-Aufnahme im Indoor-Bereich. Diese zusätzliche Aufnahme resultiert aus der Belastung der Raumluft durch die drei niederchlorierten PCB-Kongeneren.

Bei den Plasmakonzentrationen der 3 höherchlorierten Indikatorkongeneren 138, 153 und 180 war ein Unterschied zwischen den Schülern der Georg-Ledebour-Schule und den Schülern der unbelasteten Schule nicht festzustellen. Dieser Befund ist plausibel, da auch die in der Raumluft gemessenen Konzentrationen für diese 3 Kongeneren sehr niedrig lagen. Im Gegensatz zu den niederchlorierten PCB-Kongeneren findet sich bei den höherchlorierten Verbindungen kein Anstieg der Plasmaspiegel mit der Anzahl der in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Jahre. Gleiches gilt in Bezug auf das Lebensalter.

Betrachtet man schließlich noch die Summe aller 6 hier erfassten PCB-Kongeneren, so zeigt sich erwartungsgemäß bei den Schülern der Georg-Ledebour-Schule mit einem Medianwert von 438 ng/l eine höhere Plasmakonzentration als bei den Schülern der unbelasteten Schule (331 ng/l Plasma). Dieser Anstieg ist statistisch signifikant und erklärt sich vor allem aus dem Anstieg der niederchlorierten PCB-Kongeneren. Dagegen sind die 95. Perzentile der Plasmaspiegel bei Schülern beider Schulen mit Werten von 1070 ng/l (Georg-Ledebour-Schule) und 1010 ng/l (unbelastete Schule) nahezu identisch.

Im Gegensatz zu den PCB-Kongeneren 28, 52 und 101 kommt es bei den höherchlorierten PCB 138, 153 und 180 nicht zu einer messbaren zusätzlichen PCB Belastung in den Räumen der Georg-Ledebour-Schule. Die hier beobachtete innere Belastung durch höherchlorierte Biphenyle dürfte also zum weitaus überwiegenden Teil über die Nahrung aufgenommen werden. Hervorzuheben ist, dass die Konzentrationen der höherchlorierten, über die

Nahrungsmittel aufgenommenen PCB Plasmakonzentrationen wenigstens eine 10-er Potenz höher liegen als die über die Raumluft aufgenommenen niederchlorierten Kongeneren 28, 52 und 101.

Wichtig für die Bewertung der PCB Belastung in den beiden Nürnberger Schulen ist der Vergleich mit PCB-Konzentrationen im Blut anderer Gruppen von Kindern, die in den letzten Jahren in Deutschland untersucht worden sind (**Tabelle 5**). Bei einer Untersuchung von 404 Schülern in Baden-Württemberg wurde für die Summe aller PCB-Kongeneren in Vollblut ein Medianwert von 350 ng/l Blut ermittelt. Weil die PCB nur im Plasma auftreten und weil das Plasma am Vollblut nur einen Anteil von etwa 50 % aufweist, wären diese Werte mit einem Faktor von ca. 2 zu multiplizieren, um sie mit den hier zur Diskussion stehenden Werten zu vergleichen. Das heißt, falls in Baden-Württemberg ebenfalls Plasma anstatt Vollblut untersucht worden wäre, lägen die Medianwerte bei etwa 700 ng/l und damit etwa 50 % höher als die Vergleichswerte für die Schüler der Georg-Ledebour-Schule. Große Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang auch dem Umweltsurvey des Umweltbundesamtes (UBA) und der Verlautbarung der Kommission Human-Biomonitoring des UBA zu. Leider liegen hier keine Medianwerte vor. Die 95. Perzentile aber liegen bei 900 bzw. 1300 ng/l. Auch hier ist zu beachten, dass diese Messergebnisse Vollblut betreffen. Im Falle von Plasma wäre auch hier mit wesentlich höheren Werten als den in Nürnberg ermittelten zu rechnen. Es zeigt sich also, dass die bei den Nürnberger Schülern gemessenen Plasmaspiegel niedriger liegen als die der anderen Kinder, die bisher in Deutschland untersucht worden sind. Dies kann nicht alleine mit der seit längerem zu beobachtenden abnehmenden PCB-Gesamtbelastung der Bevölkerung zusammenhängen, wenngleich die Abnahme der PCB-Hintergrundbelastung den positiven Effekt bisheriger gesetzlicher Maßnahmen (PCB-Verbotsverordnung) wieder spiegelt.

Zusammenfassend ergibt sich also folgende Schlussfolgerung: In der Georg-Ledebour-Schule kommt es zu einer zusätzlichen Aufnahme von niederchlorierten PCB. Diese zusätzliche Aufnahme, die sich in der Summe in einem Medianwert von 22 ng/l niederschlägt, stellt nur einen geringen Anteil an der PCB-Gesamtaufnahme dar, die auch Personen aufweisen, die sich nicht in kontaminierten Räumen aufhalten. Bei der Gruppe aus der unbelasteten Schule drückt sich die Hintergrundbelastung durch PCB, die aus anderen Quellen aufgenommen wird, in einem Medianwert von 331 ng/l Plasma aus. Dies bedeutet, dass ein eventuell zusätzliches Gesundheitsrisiko in der Georg-Ledebour-Schule in der Schwankungsbreite „untergeht“, die die Allgemeinbevölkerung bzw. die Kontrollgruppe durch die allgemeine PCB-Belastung zu vergegenwärtigen hat. Diese Aussage wird gestützt von der Tatsache, dass Kinder in andere Teilen Deutschlands offenbar höheren PCB-Belastungen ausgesetzt sind, als dies in Nürnberg der Fall ist.



## 5.2 Gesundheitliche Beanspruchung

Um abzuklären, ob die Belastung mit PCB bei Schulkindern zu gesundheitlichen Beschwerden geführt hat, wurde als Untersuchungsinstrumentarium ein ärztliches Interview eingesetzt. Die Untersuchung von Laborparametern oder andere ärztliche Untersuchungen waren nicht indiziert, da in Kenntnis des toxikologischen Profils der polychlorierten Biphenyle nicht zu erwarten war, dass diese Untersuchungen ausreichend sensitiv wären, um Veränderungen, die durch derart niedrige Expositionen hervorgerufen werden, erfassen zu können.

Als Untersuchungsinstrumentarium kommt dem standardisierten und validierten „Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche“ eine höhere diagnostische Aussagekraft zu als dem frei erarbeiteten ärztlichen Screeningbogen. Einerseits ist der „Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche“ für Kinder bis zum Alter von 15 Jahren validiert worden, d.h. es wurde geprüft, ob mit dem Fragebogen in der entsprechenden Altersgruppe auch die entsprechende körperliche Beschwerdesymptomatik sicher erfasst wird. Andererseits werden die Beschwerden mit einer gleichaltrigen Vergleichsgruppe der Allgemeinbevölkerung bei der Auswertung des Fragebogens verglichen.

Der Vergleich der Summenscores im „Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche“ zwischen Schülern beider Schulen zeigte jeweils nahezu identische Verteilungen. Ein Hinweis für eine ausgeprägtere Beschwerdesymptomatik bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule ließ sich bei keinem Beschwerdekomples feststellen. Darüber hinaus ist festzustellen, dass die Beschwerdehäufigkeiten im Bereich der altersentsprechenden Allgemeinbevölkerung liegen.

In Absprache mit der Projektgruppe, bestehend aus Vertretern des Bayerischen Staatsministeriums für Gesundheit, Ernährung und Verbraucherschutz, den beiden Schulen und den Eltern der Georg-Ledebour-Schüler sowie ärztlichen Mitarbeitern des Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin, wurde festgelegt, dass zusätzlich zu diesem standardisierten Fragebogen ein individueller ärztlicher Screeningbogen erarbeitet werden sollte, in dem einerseits bekannte Symptome der PCB-Intoxikation (z.B. Braunverfärbung der Haut), andererseits auch von den Eltern häufig beklagte Beschwerdesymptome (z.B. Kopfschmerzen) mit eingehen. Beim Vergleich der einzelnen Symptome, die mit dem ärztlichen Screeningbogen ermittelt wurden, fanden sich statistisch signifikante Unterschiede bei den Antworten zu den Fragen nach der Zahl der Vorerkrankungen, nach Kopfschmerzen, nach Nervosität, nach Gedächtnisstörungen, Zittern, Auswurf, Fieber, Schluckbeschwerden, Einschlafstörungen und Augenreizungen. Gefragt wurde jeweils nach den Kategorien: nie, selten, manchmal, häufig und immer. Immer dann, wenn sich statistisch signifikante Unterschiede fanden, war die Symptomhäufigkeit bei den Schülern der Georg-Ledebour-Schule höher als bei den Schülern der unbelasteten Schule.

Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass in dem ärztlichen Screeningbogen im Unterschied zum „Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche“ unterschiedliche Qualitäten

an Informationen (zusätzliche Beschwerden, spezifische Symptome, Vorerkrankungen) erfasst wurden und somit eine breitere Streuung der Ergebnisse erklärbar ist. Die Auswahl der symptombezogenen Fragen im ärztlichen Fragebogen erfolgte zudem u.a. nach Vorgaben von Eltern betroffener Kinder und basierte somit auch auf häufig in der Presse, im häuslichen und schulischen Umfeld diskutierten Formulierungen. Möglicherweise erinnern sich durch die häusliche Diskussion sensibilisierte Kinder bei gezielter Abfrage angstbesetzter und oft wiederholter Formulierungen häufiger an diese Beschwerden. Auch Verknüpfungen alltäglicher und unspezifischer Befindlichkeitsstörungen mit den „typischen Symptomen“ einer PCB-Vergiftung kann leicht erfolgt sein. Vergleichbar ist dieses ebenfalls mit suggestiven Prozessen beförderte Phänomen mit Befunden pharmakologischer Studien mit sogenannten „Placebos“, also Tabletten ohne eigentlichen Wirkstoff.

Bei Prüfung auf Kausalität muss beachtet werden, dass Unterschiede zwischen verschiedenen Kollektiven immer vielfältiger Natur sein können. Im Allgemeinen fordert man daher bei exogenen Belastungen neben der biologischen Plausibilität und der Konsistenz mit entsprechenden Literaturangaben eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. Die Prüfung auf Dosis-Wirkungs-Beziehung kann einerseits erfolgen durch eine direkte Messung der Belastung, wie hier beispielsweise die Konzentration der polychlorierten Biphenyle, oder durch eine Zeit-Wirkungs-Beziehung, d.h. als Maß der Exposition wird die Expositionsdauer herangezogen. Letztere Betrachtungsweise hat den Vorteil, dass Unschärfen einer einmaligen Expositionsbestimmung vermieden werden.

Mit dem Ziel, zu prüfen, ob Dosis-Wirkungs-Beziehungen bestehen, wurde das Kollektiv der Georg-Ledebour-Schüler entsprechend den gefundenen PCB-Konzentrationen in drei gleiche Teile (Terzile) aufgeteilt. Dabei wurde differenziert zwischen der Summe aller PCB und der Summe der niederchlorierten PCB. Auf eine Einzelkongenerbetrachtung wurde bewusst verzichtet, da die Summe der niederchlorierten PCB und die Summe aller gemessenen PCB die Gesamtbelastung besser beschreibt als die einzelnen Kongeneren.

Keines der Symptome, bei denen sich Unterschiede zwischen beiden Schülerkollektiven ergaben, war mit der Konzentration der PCB assoziiert. Eine Dosis-Wirkungs-Beziehung ließ sich somit nicht nachweisen. In gleicher Weise erfolgte die Prüfung mit den Terzilen der Gesamtbelastung. Auch dabei ergab sich kein Hinweis auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung. Als zweiter Ansatz, die Dosis-Wirkungs-Beziehung zu untersuchen, wurde die Symptommhäufigkeit mit der Zahl der in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahre verglichen. Auch dabei ergab sich kein Hinweis darauf, dass die Häufigkeit von Symptomen mit der Zahl der in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahre assoziiert war.

Um die Sensitivität der Untersuchungen zu verbessern, wurden verschiedene Indices gebildet. Zum einen wurden alle statistisch signifikanten, unterschiedlichen Beschwerden addiert (Beschwerde-Index), des Weiteren die häufiger genannten neurologischen Symptome (Nervosität, Gedächtnisstörungen, Zittern, Schluckbeschwerden, Kopfschmerzen, Einschlafstö-

rungen) als Neuro-Index zusammengefasst und die Beschwerden Kopfschmerzen, Fieber, Auswurf, Augenreizungen als Atemwegs-Index subsummiert. Die differenzierte Betrachtung dieser Indices im Hinblick auf die Terzile der PCB-Belastung und die Dauer der Schuljahre lassen wiederum keinen Hinweis auf eine Dosis-Wirkungs-Beziehung bzw. eine Zeit-Wirkungs-Beziehung erkennen.

Unter der Annahme, dass der frei erstellte ärztliche Screeningbogen Beschwerden und Symptome überhaupt valide erfasst, ist festzustellen, dass Schüler der Georg-Ledebour-Schule häufiger über Symptome und Vorerkrankungen berichteten. Da eine Dosis-Wirkungs-Beziehung oder Dauer-Wirkungs-Beziehung nicht nachweisbar war, ergibt sich kein Hinweis darauf, dass diese Beschwerdesymptomatik durch die PCB-Belastung mit niederchlorierten bzw. mit höherchlorierten PCB verursacht ist.

Als alternative Möglichkeiten zur Erklärung der gefundenen Unterschiede stehen im Wesentlichen vier Denkansätze zur Verfügung:

1. Niederchlorierte PCB könnten nur bei suszeptiblen Personengruppen Beschwerden verursachen, die nicht mit der Konzentration der PCB im Blut assoziiert sind. Dieser spekulative Denkansatz ist allerdings derzeit durch systematische Untersuchungen nicht untermauert. Die fehlende Beziehung zwischen Expositionsdauer und Beschwerden spricht ebenfalls gegen diese Annahme, da zumindest davon auszugehen wäre, dass suszeptible Personen bei längerem Aufenthalt in der Schule auch häufiger Beschwerden angegeben hätten.
2. Theoretisch vorstellbar wäre, dass die Beschwerden der Schüler der Georg-Ledebour-Schule durch einen anderen, nicht identifizierten Faktor verursacht sind. Gegen diese Annahme spricht wiederum die fehlende Beziehung zwischen Aufenthaltsdauer in der Schule und Symptomen.
3. Weiter besteht die Möglichkeit, dass ein kurzzeitiger Effekt durch eine aktuelle Exposition hervorgerufen wird. Ein Teil der häufiger genannten Beschwerden (z.B. Augenreizungen und Atemwegsbeschwerden) könnte somit durch Stoffe verursacht sein, die aus Materialien der Ausweichgebäude emittiert werden (z.B. flüchtige organische Verbindungen wie Lösemittel und Aldehyde etc.).
4. Die vierte Möglichkeit, die Unterschiede zu erklären, wäre der sogenannte *recall-bias*. Man versteht darunter die Tatsache, dass sich exponierte Personen besser an zurückliegende Erkrankungen und Beschwerden erinnern bzw. Beschwerden wahrnehmen als Personen ohne angeschuldigte Exposition. Der in zahlreichen Studien nachgewiesene *recall-bias* ist methodisch schwer zu fassen.

Berücksichtigt man die psychische Belastung und die daraus resultierende Traumatisierung der Schulkinder (zweifache Blutentnahme, vorzeitiger Ferienbeginn im Sommer 2001, exzessive Medienberichterstattung, in der von Vergiftungen und zu erwartenden

Krebserkrankungen die Rede war), so scheint ein *recall-bias*, d.h. ein Sich-mehr-bewusst-sein von Beschwerden, gut vorstellbar.

Ein spezifisches Beschwerdemuster, das auf ein bestimmtes Zielorgan hinweisen könnte, wurde bei differenzierter Prüfung nicht identifiziert. Alle Beschwerden, die miteinander assoziiert waren, lassen sich durch eine spezifische Organtoxizität nicht erklären. Weitergehende organspezifische Untersuchungen lassen sich auf der Basis dieser Beschwerdemuster nicht ableiten. Für weitergehende Untersuchungen lässt sich daher keine medizinische Indikation stellen.

### 5.3 Schlussfolgerungen und gesundheitliche Bewertung

Zusammenfassend kann somit festgestellt werden, dass sich die PCB-Belastung der Kinder der Georg-Ledebour-Schule in der Summe nicht wesentlich unterscheidet von derjenigen der Schüler der unbelasteten Kontrollschule (Julius-Leber-Schule). Im Vergleich zu Kindern und Jugendlichen in anderen Regionen Deutschlands ist die Gesamtbelastung mit polychlorierten Biphenylen der Schüler der Nürnberger Schulen deutlich niedriger.

Die innere Belastung mit niederchlorierten polychlorierten Biphenylen, die hauptsächlich über die Atemwege in den Körper gelangen, war bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule jedoch eindeutig häufiger und in größerer Konzentration nachweisbar als bei den Schülern der Kontrollschule. Diese Belastung ist mit hoher Wahrscheinlichkeit Folge der Raumluftbelastung mit niederchlorierten polychlorierten Biphenylen in der Georg-Ledebour-Schule. Die Summe der PCB wird jedoch zum überwiegenden Teil durch die Konzentrationen der höherchlorierten PCB, die hauptsächlich über die Nahrungsmittel aufgenommen werden, bestimmt. Die zusätzliche Aufnahme der niederchlorierten PCB bei den Schülern und Lehrern der Georg-Ledebour-Schule erhöhte die interne PCB-Gesamtbelastung allerdings nicht in dem Maße, dass daraus Unterschiede zwischen den Probanden aus der PCB-belasteten Georg-Ledebour-Schule und der nicht belasteten Kontrollschule resultierten.

Eine größere Häufigkeit von Beschwerden lässt sich in einem standardisierten und validierten Fragebogen („Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche“) ebenfalls nicht verifizieren. Signifikante Unterschiede zwischen den Schülern beider Schulen fanden sich darin nicht. Dem gegenüber zeigte sich in einzelnen subjektiven Beschwerden, die frei abgefragt wurden, eine größere Häufigkeit bei Schülern der Georg-Ledebour-Schule. Ein Hinweis, dass die Beschwerden mit der PCB-Belastung assoziiert waren, ergab sich nicht. Speziell die fehlende Dosis-Wirkungs-Beziehung und die fehlende Expositionsdauer-Wirkungs-Beziehung sprechen gegen einen kausalen Zusammenhang. Die Unterschiede lassen sich möglicherweise durch den bekannten Effekt des *recall bias* erklären, der dazu geführt haben könnte, dass die Beschwerden von Schülern der Georg-Ledebour-Schule anders empfunden und bewertet wurden.

Nach dem wissenschaftlichen Kenntnisstand ist nicht davon auszugehen, dass die überwiegend über die Raumlufte aufgenommenen niederchlorierten PCB ein höheres Schädigungspotential als die höherchlorierten PCB aufweisen. Eine wesentlich höhere, PCB-bedingte gesundheitliche Gefährdung von Lehrern und Schülern der Georg-Ledebour-Schule kann daher nach derzeitigem Kenntnisstand durch die gemessenen PCB-Konzentrationen im Blut nicht abgeleitet werden.

## 6. Zusammenfassung

Ziel der Studie war es, zu prüfen, ob die PCB-Belastung in der Raumluft der Georg-Ledebour-Schule zu höheren Blutkonzentrationen bei Schülern und Lehrern führt und ob gesundheitliche Beschwerden auf diese Belastung zurückgeführt werden können.

Dazu wurden insgesamt 639 Blutuntersuchungen durchgeführt, davon bei 404 Personen (377 Schüler und 27 Erwachsene) der Georg-Ledebour-Schule und bei 235 Personen (218 Schüler und 17 Erwachsene) der Julius-Leber-Schule. Zur Abklärung der Frage, ob die Latenz zwischen Beendigung der Exposition und Blutentnahme zu einer wesentlichen Verfälschung der Blutergebnisse führt, wurde ein toxikokinetisches Gutachten von Herrn Professor Dr. Dr. J. G. Filser, München-Neuherberg, erstellt. Zur Erfassung gesundheitlicher Beschwerden wurde eine standardisierte, EDV-gerechte Anamneseerhebung durchgeführt. Dazu wurde ein standardisierter Beschwerdebogen („Gießener Beschwerdebogen“) und ein frei erstellter, individueller Screeningbogen eingesetzt.

Im Blut der Schüler der PCB-belasteten Schule konnten niederchlorierte PCB (Kongener 28, 52 und 101) häufiger und in höherer Konzentration nachgewiesen werden als bei den Schülern der Vergleichsschule. Die Maximalwerte überschritten allerdings nur in Einzelfällen die konventionelle Nachweisgrenze von 100 ng/l Plasma.

Die Summe der niederchlorierten PCB war mit der Zahl der in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahre positiv assoziiert, die Summe aller 6 Indikatorkongeneren jedoch nicht. Im Vergleich zu anderen Regionen Deutschlands war die Gesamtbelastung mit PCB der Schüler der Nürnberger Schulen deutlich niedriger.

Im standardisierten und evaluierten „Gießener Beschwerdebogen“ zeigten sich keine Unterschiede zwischen den Schülern beider Schulen. Im nicht validierten, selbst erstellten Screeningbogen wurden von Schülern der Georg-Ledebour-Schule häufiger Beschwerden zu einzelnen Fragen genannt. Ein Zusammenhang der Nennung von Beschwerden mit der gemessenen PCB-Konzentration im Blut oder der in der Georg-Ledebour-Schule verbrachten Schuljahre ließ sich jedoch nicht herstellen.

Durch den Aufenthalt in der PCB-belasteten Georg-Ledebour-Schule kam es zu einer nachweisbar erhöhten Konzentration von niederchlorierten Biphenylen im Blut der Georg-Ledebour-Schüler. Das zusätzliche Inkrement, das durch die niederchlorierten PCB hervorgerufen wird, trug jedoch nicht wesentlich zur Gesamtbelastung mit PCB bei, die vorwiegend aus der Ernährung herrührt.

Eine erhöhte, PCB-bedingte gesundheitliche Gefährdung von Schülern und Lehrern der Georg-Ledebour-Schule kann nach dem wissenschaftlichen Kenntnisstand nicht abgeleitet werden.

## 7. Literatur

- Angerer J, Schaller KH (1991) Analyses of Hazardous Substances in Biological materials, Volume 3, DFG / Wiley-VCH Weinheim
- Angerer J, Göen T, Schaller KH, Lackmann GM, Töllner U (1996) Pränatale Belastung mit polychlorierten Biphenylen und Hexachlorbenzol. *Umweltmedizin Forschung Praxis* 1 (2): 78-82
- Beck H, Mathar W (1985) Analysenverfahren zur Bestimmung von ausgewählten PCB-Einzelkomponenten in Lebensmitteln. *Bundesgesundheitsblatt* 28:1 – 12
- Brähler E, Scheer JW (1995) Der Gießener Beschwerdebogen (GBB), 2. Auflage, Verlag Hans Huber; Bern
- Brähler E (1992) Der Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche (GBB-KJ), Handanweisung, Verlag Hans Huber, Bern
- Brähler E, Ernst R, Hettich W, Klein H, Otten A (1995) Körperbeschwerden von Kindern im Alter von 8 – 15 Jahren. In: Brähler E (Hrsg): *Körpererleben. Ein subjektiver Ausdruck von Leib und Seele*, 2. Auflage: 253-266, Psychosozial-Verlag, Gießen
- Bundesärztekammer (1988) Qualitätssicherung der quantitativen Bestimmungen im Laboratorium. Neue Richtlinien der Bundesärztekammer. *Dt. Ärztebl.* 85: A699 – A712
- Bundesärztekammer (1994) Ergänzung der „Richtlinien der Bundesärztekammer zur Qualitätssicherung in medizinischen Laboratorien“. *Dt. Ärztebl.* 91: C159 – C161
- Polychlorierte Biphenyle (1988) Mitteilung XIII der Senatskommission zur Prüfung von Rückständen in Lebensmitteln. DFG / Wiley-VCH Weinheim
- Heudorf U, Angerer J, Göen T (1995) PCB-Konzentrationen im Blut von Mitarbeiterinnen PCB-belasteter Kindertagesstätten *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 9: 398
- Heudorf U, Angerer J (2000) Aktuelle PCB-Belastung einer Wohnbevölkerung in Deutschland 1998. *Umweltmedizin Forschung Praxis* 5 (3):137-142
- Heudorf U, Angerer J (2001) Polychlorinated biphenyls in the blood plasma: current exposure of the population in Germany, 1998. *Inhouse-Publikation*
- Kappos AD, Schumann M, Angerer J (1998) Referenzwerte für die PCB-Kongeneren Nr. 138, 153 und 180 und deren Summe in Humanblut. *Umweltmedizin Forschung Praxis* 3 (3): 135-143
- Lackmann GM (2002) Polychlorinated biphenyls and hexachlorobenzene in full-term neonates – Reference values updated. *Biol Neonate* 81: 82–85

- Lackmann GM, Angerer J, Salzberger U, Töllner U (1999) Influence of maternal age and duration of pregnancy on serum concentrations of polychlorinated biphenyls and hexachlorobenzene in full-term neonates. *Biol Neonate* 76: 214–219
- Lackmann GM, Salzberger U, Hecht SS, Töllner U (1999) Rauchen während der Schwangerschaft: Neue Erkenntnisse zum Einfluß auf den Fetus und das neugeborene Kind. *Dt. Arztebl* 96: A 2080–2083
- Lehnert G, Angerer J, Göen T, Schaller KH (1994) Referenzwerte für persistente Gefahrstoffe am Beispiel der Konzentrationen an polychlorierten Biphenylen im Humanserum. *Arbeitsmed Sozialmed Umweltmed* 29: 454–458
- Prehler M, Kupfer J, Brähler E (1992) Der Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche. *Psychother Psychosom Med Psychol* 42: 71-76
- Roth M (2000) Körperliche Beschwerden als Indikator für psychische Auffälligkeiten bei 12- bis 16jährigen Schülerinnen und Schülern der Sekundarstufe I. *Psychologie in Erziehung und Unterricht* 47 (I): 18-28
- Roth M (1999) Validierungsstudie zum Gießener Beschwerdebogen für Kinder und Jugendliche (GBB-KJ) bei gesunden und chronisch kranken Jugendlichen. *Diagnostica* 45, 3: 128-137
- Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes Berlin (1999) Stoffmonographie PCB – Referenzwerte für Blut. *Bundesgesundheitsblatt – Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz* 42: 511-521
- Schulte E, Lewalter J, Ellrich D (1991) Polychlorierte Biphenyle. in: Angerer J, Schaller KH (Hrsg.): *Analysen in biologischem Material*. Loseblattsammlung, 10. Lieferung, Wiley-VCH
- Strebl H, Goen T, Weltle D, Angerer J. (1993) Biomonitoring beruflich- und umweltbedingter PCB-Belastungen unter Berücksichtigung des Bezugs auf den Gesamtlipid-Gehalt des Serums. *Dokumentationsband der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V.*: 573-576
- Walkowiak J, Wiender JA, Fastabend A, Heinzow B, Krämer U, Schmidt E, Steingrüber HJ, Wundram S, Winneke G (2001) Environmental exposure to polychlorinated biphenyls and quality of the home environment: effects on psychodevelopment in early childhood. *Lancet* 358,11: 1602-1607
- Zimmermann G, Schlatter C Organische Verbindungen / Polychlorierte Biphenyle. in: Wichmann HE, Schlipkötter HW, Fülgraff G (1995) *Handbuch Umweltmedizin:1-12*, Ecomed Verlag



## Anhänge

### Anhang 1 „Gießener Beschwerdebogen für Kinder u. Jugendliche“ (GBB-KJ) (Hogrefe-Testsystem 3.7)

Nr.	Fragen nach Hogrefe-Testsystem	Antwort
Bitte geben Sie durch die Zahlen 1 bis 5 an, ob Sie sich durch die aufgeführten Beschwerden nie (1), selten (2), manchmal (3), häufig (4) oder immer (5) belästigt fühlen.		
1.	Schwächgefühl	
2.	Herzklopfen, Herzjagen oder Herzstolpern	
3.	Bauchweh	
4.	Weinen	
5.	Hautjucken, Hautausschlag	
6.	Unterleibsschmerzen	
7.	Schmerzen in den Armen	
8.	Schwarz von den Augen werden	
9.	Müdigkeit	
10.	Schmerzen im Knie	
11.	Schwindelgefühl	
12.	Gelenk- und Gliederschmerzen	
13.	Kreuz- oder Rückenschmerzen	
14.	Nacken- oder Schulterschmerzen	
15.	Stolpern oder Hinfallen	
16.	Erbrechen	
17.	verschwommen sehen	
18.	Übelkeit	
19.	Schmerzen im Rücken	
20.	häufig zum Klo rennen müssen	
21.	Flimmern vor den Augen	
22.	Frieren	
23.	Sodbrennen oder saures Aufstoßen	
24.	Verkrampfung im Arm oder in der Hand	
25.	Kopfschmerzen	
26.	schnell müde werden	
27.	Schwanken und Torkeln	
28.	Husten	

29.	Gefühl der Benommenheit	
30.	Brennen oder Kribbeln in Händen und Füßen	
31.	Verstopfung	
32.	Schmerzen in den Füßen	
33.	kalte Hände	
34.	Einschlafen von Armen und Beinen	
35.	nachts aufwachen	
36.	keinen Appetit	
37.	Mattigkeit	
38.	Durchfall	
39.	Stiche, Schmerzen oder Ziehen in der Brust	
40.	Zittern	
41.	Halsschmerzen	
42.	kalte Füße	
43.	Fressanfälle	
44.	Magenschmerzen	
45.	Atemnot	
46.	Druckgefühl im Kopf	
47.	rasche Erschöpfbarkeit	
48.	Erstickungsanfälle	
49.	verstopfte Nase	
50.	Zappeligkeit	
51.	Hitzegefühl	
52.	Hautunreinheiten, Pickel	
53.	Schnupfen	
54.	Druck- oder Völlegefühl im Leib	
55.	übermäßiges Schlafbedürfnis	
56.	Kloßgefühl, Engigkeit oder Würgen im Hals	
57.	Aufstoßen	
58.	Schweregefühl oder Müdigkeit in den Beinen	
59.	anfallsweise Halsbeschwerden	

**Anhang 2 „Gießener Beschwerdebogen für Erwachsene“ (GBB)  
(Hogrefe-Testsystem 3.7)**

Nr.	Fragen nach Hogrefe-Testsystem	Antwort
Bitte geben erklären Sie durch Eingabe der Zahlen 1, 2, 3, 4 oder 5, ob Sie sich durch die genannten Beschwerden nicht, kaum, einigermaßen, erheblich oder stark belästigt fühlen.		
1.	Schwächegefühl	
2.	Herzklopfen	
3.	Völlegefühl	
4.	Neigung zum Weinen	
5.	Juckreiz	
6.	Ohnmachtsanfälle	
7.	Schlafbedürfnis	
8.	Sexuelle Untererregbarkeit	
9.	Gliederschmerzen	
10.	Schwindelgefühl	
11.	Rückenschmerzen	
12.	Schwitzen	
13.	Nackenschmerzen	
14.	Gehstörungen	
15.	Erbrechen	
16.	Sehstörungen	
17.	Anfälle	
18.	Übelkeit	
19.	Gewichtszunahme	
20.	Kloßgefühl im Hals	
21.	Drang zum Wasserlassen	
22.	Hautveränderungen	
23.	Aufstoßen	
24.	Kälteüberempfindlichkeit	
25.	Sodbrennen	
26.	Verkrampfung im Arm	
27.	Kopfschmerzen	
28.	Wärmeüberempfindlichkeit	
29.	Erschöpfbarkeit	

30.	Schlafstörungen	
31.	Sexuelle Übererregbarkeit	
32.	Müdigkeit	
33.	Gleichgewichtsstörungen	
34.	Schluckbeschwerden	
35.	Hustenreiz	
36.	Benommenheit	
37.	Taubheitsgefühl	
38.	Verstopfung	
39.	Appetitlosigkeit	
40.	Hitzewallungen	
41.	Müdigkeit in den Beinen	
42.	Mattigkeit	
43.	Durchfälle	
44.	Lähmungen	
45.	Stiche in der Brust	
46.	Zittern	
47.	Halsschmerzen	
48.	Leichtes Erröten	
49.	Kalte Füße	
50.	Heißhunger	
51.	Magenschmerzen	
52.	Atemnot	
53.	Unterleibsschmerzen	
54.	Gewichtsabnahme	
55.	Druckgefühl im Kopf	
56.	Herzbeschwerden	
57.	Sprachstörung	
58.	O.g. Beschwerden psychisch bedingt	
59.	O.g. Beschwerden körperlich bedingt	

### Anhang 3 Frei entwickelter ärztlicher Screeningbogen

Nr.	Text	Antwort
1	Name?	
2	Vorname?	
3	Straße/Nr?	
4	Postleitzahl?	
5	Wohnort?	
6	Geburtsdatum?	
7	Alter?	
8	Geschlecht?	
9	Geburtsland?	
10	Wie lange in Deutschland lebend (falls nicht hier geboren)?	
11	Wie lange im Ausland gelebt (Jahre)?	
12	In welchem Land?	
13	Baujahr der jetzigen Wohnung?	
14	Seit wann in jetziger Wohnung?	
15	Heizung (Gas, Öl usw.)? wann?	
16	Verwendung von Gas (Herd o.ä.)? wann?	
17	Arbeitgeber?	
18	erlernter Beruf?	
19	ausgeübter Beruf?	
20	Hobbys?	
21	Körpergröße cm?	
22	Körpergewicht kg?	
23	Beruf Mutter?	
24	Beruf Vater?	
25	Arbeitgeber Mutter?	
26	Arbeitgeber Vater?	
27	Hobbys der Eltern?	
28	aktuelle Schule?	
29	Seit wann in der jetzigen Schule?	
30	Vorerkrankungen Ja / Nein	
31	Welche Vorerkrankungen?	

32	Seit wann (Krankheit 1)?	
33	Seit wann (Krankheit 2)?	
34	Seit wann (Krankheit 3)?	
35	Vegetarier(in)?	
36	Fleisch täglich Ja/Nein	
37	Fleischgerichte pro Woche?	
38	bevorzugte Fleischsorte(n)	
39	nicht konsumierte Fleischsorte(n)?	
40	Fisch täglich Ja/Nein	
41	Fischgerichte pro Woche?	
42	bevorzugte Fischarte(n)?	
43	nicht konsumierte Fischarte(n)?	
44	Raucher(in)?	
45	Seit wann Raucher(in)?	
46	Zigaretten pro Tag?	
47	Ehemalige(r) Raucher(in)?	
48	Passivraucher(in)?	
49	Lehrerin? (Folgendes betrifft nur Lehrerinnen):	
50	Stillen nach Geburt der Kinder	
51	1. Kind: wann?	
52	1. Kind: Wie lange (Monate)?	
53	2. Kind: wann?	
54	2. Kind: Wie lange (Monate)?	
55	3. Kind: wann?	
56	3. Kind: Wie lange (Monate)?	
57	4. Kind: wann?	
58	4. Kind: Wie lange (Monate)?	
Bitte geben Sie ein 0: nicht 1: selten 2: manchmal 3: häufig 4: ständig.		
59	Kopfschmerzen?	
60	Erschöpfung?	
61	Muskelschmerzen?	
62	Nervosität, Reizbarkeit?	
63	Gedächtnisstörungen?	
64	Schwellungen von Gesicht, Armen oder Beinen (Ödeme)?	

65	Haarausfall?	
66	Schwitzen (auch nachts)?	
67	Überempfindlichkeit gegen Wärme?	
68	Zittern?	
69	Unruhe?	
70	Taubheitsgefühl?	
71	unabsichtliche Gewichtsveränderung in letzten 12 Monaten?	
72	Auswurf?	
73	Fieber?	
74	Schluckbeschwerden?	
75	Mundtrockenheit?	
76	Einschlafstörungen?	
77	Durchschlafstörungen?	
78	Hautrötungen oder -entzündungen?	
79	Braunverfärbungen an Haut, Nägeln oder Schleimhäuten?	
80	Blutungen an Haut oder Schleimhaut?	
81	Schwellungen der Augenlider?	
82	Augenreizungen?	
83	gehäufte Atemwegsinfektionen?	
84	häufiger Lippenherpes?	
85	SONSTIGES?	