



Publikationen des Umweltbundesamtes

**Untersuchungen der Beiträge
von Umweltpolitik sowie
ökologischer Modernisierung zur
Verbesserung der Lebensqualität
in Deutschland und Weiterent-
wicklung des Konzeptes der
Ökologischen Gerechtigkeit**

**TV 01 Untersuchungen zur
Ökologischen Gerechtigkeit:
Explorative Vorbereitungsstudie
Teilprojekt B: Entwicklung einer
Strategie zur vertieften Auswertung
des Zusammenhangs zwischen
sozioökonomischen Faktoren und der
korporalen Schadstoffbelastung**

**Forschungsprojekt im Auftrag des
Umweltbundesamtes
Förderkennzeichen 3707 17 102/01**

PD Dr. Gabriele Bolte
Bayerisches Landesamt für Gesundheit und
Lebensmittelsicherheit

Oktober 2008

Umweltforschungsplan
des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Umwelt und Gesundheit

Förderkennzeichen (UFOPLAN) 3707 17 102/01

Untersuchungen der Beiträge von Umweltpolitik sowie ökologischer Modernisierung zur
Verbesserung der Lebensqualität in Deutschland und Weiterentwicklung des Konzeptes
der Ökologischen Gerechtigkeit

TV 01 Untersuchungen zur Ökologischen Gerechtigkeit: Explorative Vorbereitungsstudie
Teilprojekt B: Entwicklung einer Strategie zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs
zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung

von

PD Dr. Gabriele Bolte, MPH

unter Mitarbeit von

Ursula Handel, MPH

Dr. Vera Zietmann, MPH

Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit
Sachgebiet Umweltmedizin
Oberschleißheim

IM AUFTRAG
DES UMWELTBUNDESAMTES

Januar 2008

Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3.
4. Titel des Berichts Untersuchungen der Beiträge von Umweltpolitik sowie ökologischer Modernisierung zur Verbesserung der Lebensqualität in Deutschland und Weiterentwicklung des Konzeptes der Ökologischen Gerechtigkeit TV 01: Untersuchungen zur Ökologischen Gerechtigkeit: Explorative Vorbereitungsstudie Teilprojekt B: Entwicklung einer Strategie zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung		
5. Autorin, Name, Vorname Bolte, Gabriele	8. Abschlussdatum 16.01.2008	
	9. Veröffentlichungsdatum	
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift) Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit Sachgebiet Umweltmedizin Veterinärstr. 2 85764 Oberschleißheim	10. UFOPLAN-Nr. 3707 17 102/01	
	11. Seitenzahl 130	
	12. Literaturangaben 63	
	13. Tabellen und Diagramme 53	
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift) Umweltbundesamt, Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau	14. Abbildungen 14	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Zusammenfassung Das Ziel des Teilprojekts B war, eine Strategie zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung anhand der Daten des Umwelt-Survey 1998 und des Bundes-Gesundheitssurvey 1998 zu entwickeln. Bivariate Analysen wurden mit den Zielgrößen Metabolite polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) im Urin und Quecksilber im Urin und im Blut durchgeführt. Zur Charakterisierung der sozialen Lage wurden Bildung, Einkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung und Migrationshintergrund verwendet. Als multivariate Verfahren wurden multiple lineare Regression, ordinale logistische Regression und Strukturgleichungsmodelle mit der Zielgröße korporale Belastung mit Quecksilber eingesetzt. Wesentliche Grundannahmen hierbei waren, dass sozioökonomische Merkmale distale Ursachen darstellen und separat betrachtet werden sollten. Alle Analysen wurden nach Geschlecht stratifiziert durchgeführt. Die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren für Quecksilber im Blut oder Urin (Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllung, Alter der letzten Amalgamfüllung, Kaugummikonsum falls Amalgamfüllungen, Zahnarztbesuch, Fischverzehr, Weinkonsum, Gemeindegröße, Alter) wurden als mögliche Intermediärfaktoren oder Confounder einbezogen. Je nach Modellierung standen Daten von 1709 bis 2206 Frauen und 1812 bis 2153 Männern im Alter zwischen 18 und 69 Jahren zur Verfügung. Insgesamt wiesen Personen in einer benachteiligten sozialen Lage geringere Quecksilberkonzentrationen in Blut und Urin auf. Die Analysen ergaben, dass einzelne sozioökonomische Faktoren teilweise unabhängig voneinander und nach Geschlecht unterschiedlich mit den Zielgrößen assoziiert waren. Die Effekte der sozioökonomischen Faktoren auf die Quecksilberbelastung konnten nicht vollständig durch die bereits bekannten Prädiktoren erklärt werden. Aus den Ergebnissen wurden wesentliche Elemente einer Vorgehensweise zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung abgeleitet.		
17. Schlagwörter Umweltgerechtigkeit, Deutschland, Humanbiomonitoring, Sozialindikatoren, lineare Regression, ordinale logistische Regression, Strukturgleichungsmodelle		
18. Preis	19.	20.

Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3.
4. Report Title Analyses of the contributions of environmental policy and ecological modernization to the improvement of quality of life in Germany and further development of the conception of ecological justice: an explorative preparatory study Project part B: Development of a strategy for the intensive analysis of the association between socioeconomic factors and the body burden of pollutants		
5. Author(s), Family Name(s), First Name(s) Bolte, Gabriele		8. Report Date 16.01.2008
6. Performing Organisation (Name, Address) Bavarian Health and Food Safety Authority Department of Environmental Health Veterinaerstr. 2 D-85764 Oberschleissheim		9. Publication Date
		10. UFOPLAN-Ref. No. 3707 17 102/01
7. Funding Agency (Name, Address) Umweltbundesamt (Federal Environmental Agency) Postfach 14 06 06813 Dessau-Roßlau		11. No. of Pages 130
		12. No. of Reference 63
		13. No. of Tables, Diagrams 53
		14. No. of Figures 14
15. Supplementary Notes TV 01 Analyses of ecological justice: Explorative preparatory study		
16. Abstract The aim of subproject B was to develop a strategy of an extended analysis of the association of socioeconomic factors with body burden of pollutants using data of the German Environmental Survey 1998 and the German Federal Health Survey 1998. Bivariate analyses were performed with metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine and mercury in urine and blood. Education, equivalent household income, occupation, occupational status and migration background were used to characterise social position. Multiple linear regression, ordinal logistic regression and structural equation models were applied in multi-variate analyses of the outcome body burden of mercury. Basic assumptions were that socioeconomic factors are distal causes and should be analysed separately. All analyses were stratified by gender. Those predictors of mercury in blood and urine identified by Benemann et al. (2004) (number of teeth with amalgam filling, age of the last amalgam filling, usage of chewing gum if amalgam filling, visit to a dentist, fish consumption, drinking of wine, municipal dimension, age) were regarded as possible intermediate variables or confounder. According to type of modelling, data of 1709 to 2206 women and 1812 to 2153 men was available. Overall, individuals with a low social position had lower mercury concentrations in blood and in urine. Multivariate analyses showed that socioeconomic factors were in part independently and in men and women differently associated with the outcome. The effects of socioeconomic factors on body burden of mercury could not be totally explained by the already known predictors. Essential elements of a strategy of an extended analysis of the association of socioeconomic factors with body burden of pollutants were deduced from these results.		
17. Keywords environmental justice, Germany, human biomonitoring, social indicators, linear regression, ordinal logistic regression, structural equation models		
18. Price	19.	20.

Umweltforschungsplan

des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Förderkennzeichen 3707 17 102/01

**Sozioökonomische Faktoren und Umweltbelastungen
in Deutschland - aktueller Erkenntnisstand und exem-
plarische Analysen ausgewählter Umweltschadstoffe**

Teilprojekt B

**Entwicklung einer Strategie zur vertieften Auswertung
des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen
Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung**

PD Dr. Gabriele Bolte, MPH



**Sachgebiet Umweltmedizin
Bayerisches Landesamt für Gesundheit und
Lebensmittelsicherheit
Oberschleißheim**

unter Mitarbeit von

Frau Ursula Handel, MPH und Frau Dr. Vera Zietemann, MPH

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Januar 2008

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Einleitung	9
---	------------------	---

1. Projektabschnitt

2	Datensätze und Methoden.....	11
2.1	Umwelt-Survey 1998 (US98).....	11
2.2	Bundes-Gesundheitssurvey 1998 (BGS98).....	11
2.3	Sozioökonomische Faktoren	12
2.4	PAK-Metabolite und Quecksilber	20
2.5	Deskriptive Analysen	20
3	Ergebnisse des 1. Projektabschnitts.....	21
3.1	Zusammenhang zwischen soziodemographischen und sozioökonomischen Faktoren	21
3.2	PAK-Metabolite.....	24
3.2.1	Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Belastung mit PAK-Metaboliten	24
3.2.2	Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und den Prädiktoren für die korporale Belastung mit PAK-Metaboliten	35
3.3	Quecksilber.....	37
3.3.1	Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Belastung mit Quecksilber	37
3.3.2	Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und den Prädiktoren für die korporale Belastung mit Quecksilber	41
4	Bewertung der Ergebnisse aus dem 1. Projektabschnitt und Vorgaben für den 2. Projektabschnitt	44

2. Projektabschnitt

5	Einführung: Modellierungsansätze zur Abschätzung des Einflusses sozio- ökonomischer Faktoren auf gesundheitsbezogene Zielgrößen in der Epi- demiologie	45
6	Multiple lineare Regression	48
6.1	Lineare Regression mit Zielgröße Quecksilber im Blut.....	49
6.1.1	Ergebnisse der linearen Regressionsmodelle	53
6.2	Lineare Regression mit Zielgröße Quecksilber im Urin	59
6.2.1	Ergebnisse der linearen Regressionsmodelle	63
6.3	Anmerkung zur der linearen Regression	68
7	Ordinale logistische Regression	69
7.1	Einführung zu ordinalen logistischen Modellen	69
7.2	Angewendete Methodik beim vorliegenden Datensatz.....	72
7.3	Ergebnisse der ordinalen logistischen Regression mit der Zielgröße Quecksilber im Blut.....	75
7.4	Ergebnisse der ordinalen logistischen Regression mit der Zielgröße Quecksilber im Urin	80
8	Strukturgleichungsmodelle (SEM)	85
8.1	Einführung	85
8.2	Methodik	86
8.3	Ergebnisse.....	92
8.3.1	SEM mit Quecksilber im Blut	92
8.3.2	SEM mit Quecksilber im Urin.....	98
8.4	Explorative Analyse weiterer Strukturgleichungsmodelle	99
8.4.1	SEM-Modell mit einer latenten Variable "korporale Quecksilberbelastung" ...	100
8.4.2	SEM-Modell mit einer kausalen Abhängigkeit Quecksilber im Blut → Queck- silber im Urin.....	102
8.4.3	Pfadmodell mit Quecksilber im Blut → Quecksilber im Urin	104
8.5	Anmerkung zu den Strukturgleichungsmodellen	114

9	Vergleichende Zusammenfassende der Ergebnisse	116
10	Ausblick: Implikationen für Auswertestrategien zu sozialer Lage und korporaler Schadstoffbelastung bei anderen Datensätzen.....	120
11	Zusammenfassung	122
12	Summary	124
13	Literaturverzeichnis	126

Vorwort

Im Rahmen des Projekts "Sozioökonomische Faktoren und Umweltbelastungen in Deutschland - aktueller Erkenntnisstand und exemplarische Analysen ausgewählter Umweltschadstoffe" wurde im Teilprojekt B eine Strategie zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung anhand der Daten des Umwelt-Survey 1998 und des Bundes-Gesundheitssurvey 1998 entwickelt.

Der erste Teil der Ergebnisdarstellung enthält die Deskription der ausgewählten sozioökonomischen Faktoren und bivariate Analysen zum Zusammenhang zwischen den sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Belastung mit Metaboliten der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und mit Quecksilber.

Aufgrund der Ergebnisse dieser deskriptiven Analysen wurde gemeinsam entschieden, die multivariaten Analysen im zweiten Projektabschnitt nur mit der Zielgröße Quecksilber im Blut und im Urin durchzuführen.

Die Projektlaufzeit betrug bis zur termingerechten Abgabe des Berichtsentwurfs für die beiden Projektabschnitte 12 Wochen (24.09. bis 16.12.07). Nach Absprache mit dem Umweltbundesamt wurden anschließend im Berichtsteil des zweiten Projektabschnitts noch weitere Modellierungsergebnisse (ordinale logistische Regression, zusätzliche Strukturgleichungsmodelle) ergänzt.

1 Einleitung

In Deutschland findet in den letzten Jahren zunehmend eine Beschäftigung mit der Thematik soziale Ungleichheit bei Umweltqualität und umweltbezogener Gesundheit statt (Heinrich et al. 1998, Maschewsky 2001, Bolte & Mielck 2004). Sozioökonomische Faktoren können die umweltbezogene Gesundheit über zwei Mechanismen beeinflussen: (1) Expositionsvariation und (2) Effektmodifikation (Bolte 2006). Expositionsvariation bedeutet, dass die Umweltqualität hinsichtlich Art und Ausmaß nach der sozialen Lage variieren kann. Effektmodifikation bezeichnet die sozial ungleich verteilte Vulnerabilität von Personen gegenüber Umweltexpositionen, die zu unterschiedlichen Effekten bei gleicher Exposition führt. Soziale Unterschiede in der Umweltqualität sowie bei der Vulnerabilität gegenüber Umweltbelastungen können zur Erklärung gesundheitlicher Ungleichheit beitragen (Bolte & Kohlhuber 2006).

Erkenntnisse zur Expositionsvariation wurden bisher vor allem durch Sekundäranalysen von Daten umweltepidemiologischer oder sozialepidemiologischer Studien und durch ökologische Analysen des kleinräumigen Zusammenhangs zwischen Umweltqualität und Merkmalen der Wohnbevölkerung gewonnen. In umweltepidemiologischen Studien werden häufig nur Daten zu einzelnen Indikatoren wie z.B. Bildung erhoben (Bolte et al. 2005), eine umfassende Charakterisierung der sozialen Lage mittels verschiedener sozioökonomischer Faktoren und ein Vergleich des Zusammenhangs verschiedener sozioökonomischer Faktoren mit der Umweltqualität ist dann nicht möglich.

Umgekehrt gibt es bisher wenige sozialepidemiologische Studien, die aussagekräftige Parameter der Umweltqualität erhoben haben. Eine systematische Verknüpfung von Sozial-, Umwelt- und Gesundheitsdaten und damit eine Erfassung der sozialen Verteilung von Umweltbelastungen und deren gesundheitlichen Bedeutung fehlt bisher in Deutschland (Burkhardt & Grunow-Lutter 2005, Volkert 2005).

Insbesondere der Zusammenhang der korporalen Schadstoffbelastung der Bevölkerung in Deutschland mit sozioökonomischen Faktoren als Indikatoren der sozialen

Lage¹ wurde bisher nicht systematisch untersucht. Ältere Daten aus den 1990er Jahren liegen aus einzelnen umweltepidemiologischen Studien vor (Begerow et al. 1994, Trepka et al. 1997, Heinrich et al. 1998). Die Ergebnisse des Humanbiomonitoring der Beobachtungsgesundheitsämter in Baden-Württemberg wurden nur nach Nationalität der Kinder stratifiziert berichtet; Daten zum Schulabschluss und zur Berufsausbildung der Eltern wurden aber zumindest erhoben (Landesgesundheitsamt 2005). Die Aussagekraft der aktuellen Daten der Hot Spot-Studie zu industriellen Belastungsschwerpunkten in Nordrhein-Westfalen ist aufgrund der geringen Fallzahl im Hinblick auf die soziale Verteilung der korporalen Belastung mit Schwermetallen, Benzol- und PAK-Metaboliten eingeschränkt (Kolahgar 2006). Einzelne Ergebnisse des Umwelt-Survey 1998 zum Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und der Schadstoffbelastung wurden in der Deskription der Schadstoffgehalte in Blut und Urin (Becker et al. 2002) und bei multivariaten Regressionsanalysen (z.B. Benemann et al. 2004) berichtet. Im Berichtsband "Human-Biomonitoring" zum Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 wurden erstmals die Basisdeskriptionen der Stoffgehalte im Blut und Urin systematisch stratifiziert nach Sozialstatus (Schichtindex nach Winkler) und nach Migrationsstatus dargestellt (Becker et al. 2007).

Vor diesem Hintergrund war das **Ziel des Teilprojekts B**, eine Strategie zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung anhand der Daten des Umwelt-Survey 1998 und des Bundes-Gesundheitssurvey 1998 zu entwickeln.

Wesentliche Grundannahmen hierbei waren, dass

- (1) sozioökonomische Merkmale distale Ursachen darstellen, deren Effekte durch proximale Faktoren wie z.B. Ernährung oder gesundheitsrelevantes Verhalten vermittelt werden (Bolte & Kohlhuber 2005);
- (2) sozioökonomische Indikatoren (vor allem Bildung, Einkommen und berufliche Stellung als wesentliche Dimensionen) separat betrachtet werden sollten, da sie verschiedene Phänomene messen (Liberatos et al. 1988, Jöckel et al. 1998, Geyer et al. 2006).

¹ Mit „sozialer Lage“ wird hier im Sinne eines Überbegriffs die durch verschiedene sozioökonomische Faktoren charakterisierte Lebenssituation bezeichnet ohne auf eine spezifische soziologische Definition von „Lebenslagen“ allein Bezug zu nehmen und ohne den schichtsoziologischen Ansatz negieren zu wollen.

1. Projektabschnitt

In einem ersten Schritt sollte geprüft werden, ob die zur Verfügung stehende Datenbasis aus dem Umwelt-Survey 1998 ausreicht, die soziale Verteilung der korporalen Belastung mit Metaboliten der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) und mit Quecksilber zu beschreiben.

2 Datensätze und Methoden

2.1 Umwelt-Survey 1998 (US98)

Der Umwelt-Survey 1998 wurde vom Umweltbundesamt im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit als Befragungs- und Untersuchungssurvey im Zeitraum von 1997 bis 1999 durchgeführt. Der Umwelt-Survey dient der Erfassung und Aktualisierung repräsentativer Daten über ausgewählte korporale Schadstoffbelastungen und Schadstoffbelastungen im häuslichen Bereich der Bevölkerung in Deutschland (Schulz et al. 1999, Becker et al. 2002). Im Rahmen des Umwelt-Survey 1998 wurde eine repräsentative Querschnittstichprobe der 18 - 69-jährigen Wohnbevölkerung in Deutschland als zufällige Unterstichprobe des Bundes-Gesundheitssurvey 1998 untersucht. Es nahmen 4822 Personen aus 120 Erhebungs-orten teil (Fragebogen). Urinproben standen von 4742 Personen zur Verfügung, Vollblutproben von 4647 Personen.

Die Datensätze zu korporalen Schadstoffbelastungen und zu dem Fragebogen des Umwelt-Survey 1998 wurden vom Umweltbundesamt für dieses Projekt zur Verfügung gestellt.

2.2 Bundes-Gesundheitssurvey 1998 (BGS98)

Der Bundes-Gesundheitssurvey 1998 wurde vom Robert Koch-Institut im Auftrag des Bundesministeriums für Gesundheit als gesundheitsbezogene Befragung und Untersuchung einer repräsentativen Stichprobe der Wohnbevölkerung in Deutschland durchgeführt (Thefeld et al. 1999). Es wurden 7124 Personen im Alter von 18 bis 79 Jahren untersucht.

Das Public Use File BGS98, das vom RKI zur Verfügung gestellt wurde, enthält Daten zu 7124 Personen mit 582 Variablen (Stolzenberg 2000).

2.3 Sozioökonomische Faktoren

In einem ersten Schritt wurden nachfolgend beschriebene sozioökonomische Faktoren als neue Variablen im Gesamtdatensatz (US98 und BGS98) definiert. Dabei wurden Personen mit fehlenden Angaben in einer Extrakategorie gekennzeichnet, um das Ausmaß fehlender Angaben und etwaige Verzerrungs- und Selektionseffekte beurteilen zu können.

In dem Datensatz des Bundes-Gesundheitssurvey 1998 war bereits die Variable für den **Schicht-Index nach Winkler** (Variable "Schichtn") enthalten. Dieser ungewichtete, mehrdimensionale additive Index beruht auf Angaben zu Bildung, Einkommen und beruflicher Stellung (Winkler & Stolzenberg 1999). Für Personen, für die bei einer der drei Index-Variablen keine Angabe vorlag, wurde der Wert dieser Variablen geschätzt. Bei der Berechnung des Schicht-Index nach Winkler fanden weder die Haushaltsgröße zur Gewichtung des Haushaltseinkommens noch systematische Unterschiede in der Einkommenshöhe zwischen Ost- und Westdeutschland Beachtung. Die Kategorisierung in Ober-, Mittel- und Unterschicht erfolgte dergestalt, dass jede Schicht eine gleiche Anzahl von Schicht-Index-Werten umfasste (Stolzenberg 2000).

Anstelle der ursprünglichen Bezeichnungen Unter-, Mittel- und Oberschicht für die Kategorien des Schicht-Index nach Winkler werden im Folgenden die Bezeichnungen niedriger, mittlerer und hoher Schicht-Index verwendet.

Im Gesamtdatensatz von 7124 Personen hatten 1621 Personen (22,7 %) einen niedrigen Schicht-Index, 3817 Personen (53,6 %) einen mittleren Schicht-Index und 1458 Personen (20,5 %) einen hohen Schicht-Index. Für 228 Personen (3,2 %) fehlten die Angaben.

Bildungsindex aus Schul- und Berufsausbildung

Dieser Bildungsindex wurde aus den Angaben zu dem höchsten erreichten Schulabschluss (Variable F081) und der höchsten abgeschlossenen Berufs- oder Hochschulausbildung (Variable F082) gebildet. Der Definition lag die Matrix von Jöckel et al. (1998) mit Modifikationen nach Bolte et al. (2004) zugrunde (Tab. 2.3.1).

Tabelle 2.3.1. Definition des Bildungsindex aus Schul- und Berufsausbildung

		Höchster Schulabschluss (F081)								
		keine Angabe	Hauptschulabschluss, Volksschulabschluss	Realschulabschluss (Mittlere Reife)	Abschluss Polytechnische Oberschule 10. Klasse	Fachhochschulreife	Abitur, allgemeine o. fachgebundene Hochschulreife	Anderer Schulabschluss	Schule beendet ohne Abschluss	noch kein Schulabschluss
Höchste abgeschlossene Berufsausbildung (F082)	keine Angabe	-	2	3		5	6	3	1	
	Lehre (beruflich-betriebliche Ausbildung)	3	3	4	4	5	6	4	3	4
	Berufsfachschule, Handelsschule (beruflich-schulische Ausbildung)		3	4	4	5	6	4	3	
	Fachschule (z.B. Meister-schule, Berufsakademie)		4	5	5	6	6	5	4	5
	Fachhochschule, Ingenieurschule		7	7	7	7	7	7	7	
	Universität, Hochschule		8	8	8	8	8	8	8	
	anderer Ausbildungsabschluss		3	4	4	5	7	4	3	
	kein beruflicher Abschluss (und nicht in der Ausbildung)	1	2	3	3	5	6	3	1	3
	noch in beruflicher Ausbildung (Auszubildende/r, Student/in)		2	3	3	5	6	3	1	3

Dunkelgrau unterlegte Zellen: Diese Kombinationen kamen im Gesamtdatensatz mit N=7124 nicht vor.
 Hellgrau markierte Zellen: Bei beiden Kombinationen handelt es sich jeweils um Einzelfälle.

Der achtsstufige Bildungsindex wurde in vier Kategorien zusammengefasst:

- "sehr hoch" (Indexwerte 7 und 8): Fachhochschul- oder Universitätsabschluss
- "hoch" (Indexwerte 5 und 6): beispielsweise Personen mit Abitur, aber ohne abgeschlossenes Studium
- "mittel" (Indexwert 4): beispielsweise Personen mit mittlerer Reife und einer beruflich-betrieblichen Ausbildung
- "niedrig" (Indexwerte 1-3): beispielsweise Personen mit Hauptschulabschluss und beruflich-schulischer Ausbildung

Im Gesamtdatensatz von 7124 Personen hatten 995 (14,0 %) einen sehr hohen Bildungsindex, 1048 Personen (14,7 %) einen hohen, 1903 Personen (26,7 %) einen mittleren und 2984 Personen (41,9 %) einen niedrigen Bildungsindex. Bei 194 Personen (2,7 %) fehlten die Angaben.

Pro-Kopf-Einkommen

Das monatliche Haushaltsnettoeinkommen pro Kopf der ständig im Haushalt lebenden Personen wurde aus den Angaben zu den Fragen 99 (Variable F099z) und 100 (Variabel F100) berechnet. Hierzu wurden die Mediane der in der Frage 100 vorgegebenen Einkommenskategorien verwendet.

Da sich das Pro-Kopf-Einkommen erheblich zwischen Ost- und Westdeutschland unterschied (Median in Ostdeutschland 1188 DM versus 1417 DM in Westdeutschland), wurde die Kategorisierung in Quartile des Pro-Kopf-Einkommens getrennt für Ost- und Westdeutschland vorgenommen.

Für 1564 Personen (22 % von 7124) waren keine Angaben verfügbar.

Das Pro-Kopf-Einkommen lag in Ostdeutschland zwischen 100 und 5500 DM (Median 1188 DM, N=1897), in Westdeutschland zwischen 71 und 11000 DM (Median 1417 DM, N=3663).

Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen

Das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen wurde nach der neuen OECD-Skala als bedarfsgewichtetes Einkommen berechnet mit Gewichtung nach Anzahl und Alter der Haushaltsmitglieder (für den Vergleich alte und neue OECD-Skala siehe Bundesregierung 2001). Aufgrund der regionalen Einkommensunterschiede wurde die Kategorisierung in Quartile getrennt für Ost- und Westdeutschland vorgenommen.

Für 1564 Personen (22 % von 7124) waren keine Angaben verfügbar.

Das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen betrug in Ostdeutschland im Median 1750 DM (Minimum 167 DM, Maximum 7333 DM, N=1897) und in Westdeutschland im Median 2167 DM (Minimum 143 DM, Maximum 11000 DM, N=3663).

Relative Einkommensarmut

Die relative Einkommensarmut wurde definiert als ein Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen unter 60 % des Medians des Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen in Deutschland im Jahr 1998, stratifiziert für West- und Ostdeutschland. Diese Definition der relativen Einkommensarmut wurde auch im zweiten Armuts- und Reichtumsbericht der Bundesregierung verwendet und entspricht der zwischen den EU-Mitgliedstaaten vereinbarten Definition der "Armutsrisikoquote" (Bundesregierung 2005).

Die Werte für das durchschnittliche Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen in West- und Ostdeutschland im Jahr 1998 wurden dem ersten Armuts- und Reichtumsbericht

für Deutschland (Bundesregierung 2001) entnommen: Die Armutsgrenze definiert als 60% des Median des Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen betrug in Westdeutschland 1822,- DM pro Monat und in Ostdeutschland 1435,- DM pro Monat.

Für 1564 Personen (22 % von 7124, keine Unterschiede zwischen Ost- und Westdeutschland) waren keine Angaben verfügbar.

Bezogen auf die Gesamtstichprobe von 7124 Personen waren in Ostdeutschland 24,8 % (N=600) der Studienteilnehmer/innen arm und in Westdeutschland 27,4 % (N=1290).

Berufstätigkeit

Aus den Antworten auf die Frage 83 zu Berufstätigkeit und Frage 84 zur derzeitigen Situation wurden folgende Kategorien der Berufstätigkeit abgeleitet (Tab. 2.3.2):

- (1) arbeitslos
- (2) Ausbildung, Wehr- oder Zivildienst, Umschulung und nicht mindestens 15 Stunden pro Woche berufstätig
- (3) in Rente oder pensioniert und nicht mindestens 15 Stunden pro Woche berufstätig
- (4) mindestens 15 Stunden pro Woche berufstätig
- (5) weniger als 15 Stunden pro Woche berufstätig und weder arbeitslos noch in Ausbildung oder Rente

Für 188 Personen (2,6 % von 7124) waren keine Angaben verfügbar.

Tabelle 2.3.2. Definition der Berufstätigkeit anhand der Fragebogenangaben

		Derzeitige Situation (F084)									
		keine Angabe	in Schulausbildung	in Hochschulausbildung	altershalber in Rente / pensioniert	Vorzeitig in Rente / pensioniert	arbeitslos gemeldet	ausschließlich Hausfrau / Hausmann	Wehr-, Zivildienst, freiwilliges soziales Jahr	Umschulung, Arbeitsförderungsmaßnahme	nichts davon trifft zu
Berufstätigkeit (F083)	keine Angabe	-	2	2	3	3					
	zur Zeit nicht berufstätig	5	2	2	3	3	1	5	2	2	5
	teilzeit- oder stundenweise berufstätig (< 15 h / Woche)	5	2	2	3	3	1	5	2	2	5
	teilzeit-berufstätig (15-34 h / Woche)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	voll berufstätig (≥ 35 h / Woche)	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
	vorübergehende Freistellung (z.B. Erziehungsurlaub)	4		4			4	4	4	4	4
	Auszubildender (Lehrling)	2	2	2			2		2	2	2

Dunkelgrau unterlegte Zellen: Diese Kombinationen kamen im Gesamtdatensatz mit N=7124 nicht vor.
 Hellgrau markierte Zellen: Bei diesen Kombinationen handelt es sich jeweils um Einzelfälle.

Insgesamt waren 466 von 7124 Personen arbeitslos (6,5 %) und 3743 Personen (52,5 %) mindestens 15 Stunden pro Woche berufstätig. In Tabelle 2.3.3 sind die Prävalenzen der Berufstätigkeit stratifiziert nach Ost- und Westdeutschland dargestellt.

Tabelle 2.3.3. Berufstätigkeit in Ost- und Westdeutschland

	Ostdeutschland (N = 2419)		Westdeutschland (N = 4705)	
	N	%	N	%
Arbeitslosigkeit	284	11,7	182	3,9
Ausbildung	162	6,7	327	7,0
Rente	573	23,7	850	18,1
Berufstätigkeit	1246	51,5	2497	53,1
Geringfügige Erwerbstätigkeit	98	4,1	717	15,2
Keine Angabe	56	2,3	132	2,8

Berufliche Stellung

Die Angaben in Frage 88 zur derzeitigen hauptsächlichen bzw. letzten beruflichen Stellung wurden analog zu dem Vorgehen von Kohlhuber et al. (2006) bei den Daten des Sozio-ökonomischen Panel (SOEP) nach Hoffmeyer-Zlotnik (1998) und Mielck (2000) folgendermaßen zusammengefasst:

- niedrige berufliche Stellung:
ungelernte Arbeiter, mithelfende Familienangehörige, Beamte im einfachen Dienst,
- untere mittlere berufliche Stellung:
angelernte Arbeiter, selbständige Landwirte / Genossenschaftsbauer, Angestellte mit einfacher Tätigkeit, Sonstige (z.B. Auszubildende, Student(inn)en),
- mittlere berufliche Stellung:
gelernte Arbeiter und Facharbeiter, Vorarbeiter / Kolonnenführer / Meister / Polier / Brigadier, Industrie- und Werkmeister im Angestelltenverhältnis, Beamte im mittleren Dienst,
- obere mittlere berufliche Stellung:
sonstige Selbständige mit bis zu 9 Mitarbeiter/innen, z.B. Selbständige bis zu 9 Mitarbeiter/innen, Angestellte mit qualifizierter Tätigkeit, Beamte im gehobenen Dienst,
- hohe berufliche Stellung:
freie Berufe / selbständige Akademiker, sonstige Selbständige mit 10 und mehr Mitarbeiter/innen, Angestellte mit hochqualifizierter Tätigkeit oder Leitungsfunktion, Angestellte mit umfassenden Führungsaufgaben, Beamte im höheren Dienst,

Für 426 Personen (6,0 % von 7124) waren keine Angaben verfügbar.

In Tabelle 2.3.4 sind die Prävalenzen der beruflichen Stellung stratifiziert nach Ost- und Westdeutschland dargestellt.

Tabelle 2.3.4. Berufliche Stellung in Ost- und Westdeutschland

	Ostdeutschland (N = 2419)		Westdeutschland (N = 4705)	
	N	%	N	%
Niedrige berufliche Stellung	129	5,3	304	6,5
Untere mittlere berufliche Stellung	625	25,8	1367	29,1
Mittlere berufliche Stellung	656	27,1	808	17,2
Obere mittlere berufliche Stellung	600	24,8	1306	27,8
Hohe berufliche Stellung	304	12,6	599	12,7
Keine Angabe berufliche Stellung	105	4,3	321	6,8

Staatsangehörigkeit / Migrationshintergrund

Im Ausgangsdatensatz von 7124 Personen hatten 6790 Personen (95,3 %) die deutsche Staatsangehörigkeit, 32 Personen (0,5 %) die deutsche und eine andere Staatsangehörigkeit sowie 302 Personen (4,2 %) eine andere Staatsangehörigkeit. Es gab keine fehlenden Angaben. Bei den Fragen zum Geburtsland und der Dauer des Lebens in Deutschland gab es 2,7 % bzw. 3,0 % fehlende Angaben. Vereinzelt gab es auch unplausible Kombinationen im Ausgangsdatensatz wie z.B. "seit Geburt in Deutschland lebend" und "seit 1988 in Deutschland lebend" bei einer Person, die 1952 geboren war.

Die verfügbaren Angaben aus dem Fragebogen des Bundes-Gesundheitssurveys 1998 reichten nicht aus, um den Migrationshintergrund adäquat zu beschreiben (vgl. Schenk et al. 2006). Angaben wie z.B. das Geburtsland der Eltern oder Deutschkenntnisse fehlten. Aus den zur Verfügung stehenden Daten wurde die Variable ‚Migrationshintergrund‘ daher behelfsweise definiert mit

- "nein": in Deutschland geboren, seit Geburt in Deutschland lebend und deutsche Staatsangehörigkeit; N=6397 (89,8 %)
- "teils": nicht in Deutschland geboren, deutsche Staatsangehörigkeit; N=425 (6,0 %)
- "ja": nur nicht-deutsche Staatsangehörigkeit; N=302 (4,2 %).

Von den 302 Studienteilnehmer/innen mit Migrationshintergrund waren 229 (75,8 %) nicht in Deutschland geboren, 47 (15,6%) gaben Deutschland als Geburtsland an, bei 26 Personen (8,6 %) fehlte die Angabe.

In Ostdeutschland hatten 23 Personen (1,0 %) einen Migrationshintergrund und 76 Personen (3,1 %) teilweise, in Westdeutschland waren es 279 Personen (5,9 %) und 349 (7,4 %).

Hohe Belegungsdichte / Crowding

Ein in verschiedenen Studienpopulationen sehr aussagekräftiger Indikator der sozio-ökonomischen Verhältnisse (vgl. z.B. Bolte 2000, Bolte et al. 2004, Bolte et al. 2007), die Belegungsdichte der Wohnung, konnte mangels Daten zur Wohnungsfläche oder Anzahl der Zimmer nicht gebildet werden.

Zudem ist Crowding eher als ein proximaler Faktor in der Ursache-Wirkungs-Kette einzustufen.

Als wesentliche soziodemographische Merkmale wurden des Weiteren das **Geschlecht**, das **Alter** sowie die **Region** (Ost-, Westdeutschland) in die Analysen einbezogen.

2.4 PAK-Metabolite und Quecksilber

Aus dem Gesamtkollektiv von 4822 Probanden mit 4742 Urinproben wurde eine Zufallsstichprobe (N=573) ausgewählt und Metabolite der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe im Urin bestimmt (Bernigau et al. 2004). Analysiert wurde die korporale Belastung mit 1-Hydroxypyren (1-OH-Pyr), 1-Hydroxyphenanthren (1-OH-Phen), 2/9-Hydroxyphenanthren (2/9-OH-Phen) und 3-Hydroxyphenanthren (3-OH-Phen). Ferner wurde die Summe der Konzentrationen der Hydroxyphenanthrene ($\Sigma(1-,2/9-,3-)\text{OH-Phen}$) berechnet.

Die Daten zu den PAK-Metaboliten liegen in dem zur Verfügung gestellten Datensatz sowohl in Bezug auf das Urinvolumen als auch auf den Kreatiningehalt des Urins vor (Becker et al. 2002).

Die Daten zur korporalen Quecksilberbelastung liegen in dem zur Verfügung gestellten Datensatz für Blut volumenbezogen (N=4645), für Urin sowohl volumenbezogen (N=4741) als auch bezogen auf Kreatinin (N=4730) vor (Becker et al. 2002).

2.5 Deskriptive Analysen

Für die Analyse der Assoziation zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung wurden die Schadstoffkonzentrationen nicht gewichtet, da keine Aussagen entsprechend der Proportionen der Ziehungsmerkmale verallgemeinert für die Grundgesamtheit getroffen werden sollen und eine Verzerrung von Effekten bei Modellierung vermieden werden sollte (Becker et al. 2002, Bernigau et al. 2004).

Im Datensatz waren bereits Werte unter der Bestimmungsgrenze (BG) als BG/2 enthalten.

Als Maß für den Grad des Zusammenhangs zwischen zwei Merkmalen wurde bei dichotomen Variablen das Zusammenhangsmaß Phi und bei nominalskalierten Variablen das Zusammenhangsmaß Cramers V berechnet. Zur Prüfung des monotonen Zusammenhangs zweier ordinalskalierten Merkmale wurde die Rangkorrelation τ nach Kendall berechnet.

Die statistischen Analysen wurden mit dem Statistikprogramm SAS 9.1.3 durchgeführt.

3 Ergebnisse des 1. Projektabschnitts

3.1 Zusammenhang zwischen soziodemographischen und sozioökonomischen Faktoren

Die Stärke des Zusammenhangs zwischen den sozioökonomischen Faktoren bzw. zwischen den sozioökonomischen und soziodemographischen Faktoren wurde mittels des Kontingenzkoeffizienten Cramers V analysiert (Tab. 3.1.1 und 3.1.2).

Ein etwas stärkerer Zusammenhang mit Cramers $V > 0,3$ bestand nur zwischen den Merkmalen Bildung und berufliche Stellung (Tab. 3.1.1) sowie zwischen Geschlecht und Berufstätigkeit und berufliche Stellung (Tab. 3.1.2) in der Gesamtstudienpopulation.

Bei ordinalen Merkmalen konnte zusätzlich die Rangkorrelation (Kendall's Tau) betrachtet werden: Eine positive Rangkorrelation bestand bei den Merkmalen Bildung und Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen ($\tau = 0,07$; $p < 0,0001$) sowie Bildung und berufliche Stellung ($\tau = 0,42$; $p < 0,0001$).

Tabelle 3.1.1. Zusammenhang zwischen den sozioökonomischen Faktoren

	Bildungsindex	Pro-Kopf-Einkommen (Quartile)	Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen (Quartile)	Relative Einkommensarmut	Berufstätigkeit	Berufliche Stellung
Pro-Kopf-Einkommen (Quartile)	0,17					
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen (Quartile)	0,19	0,73				
Relative Einkommensarmut	0,19	0,90	0,93			
Berufstätigkeit	0,23	0,14	0,15	0,18		
Berufliche Stellung	0,36	0,17	0,19	0,22	0,21	
Migrationshintergrund	0,07	0,09	0,10	0,09	0,08	0,08

Dargestellt ist das Zusammenhangsmaß Cramers V. Für diese Analysen wurden nur die fehlenden Angaben bei den Merkmalen Pro-Kopf-Einkommen, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und relative Einkommensarmut als eigene Kategorie berücksichtigt. Grau markierte Zellen: Diese Werte illustrieren den starken Zusammenhang, wenn die Definitionen der Variablen nicht unabhängig voneinander sind.

Tabelle 3.1.2. Zusammenhang zwischen sozioökonomischen und soziodemographischen Faktoren

	Geschlecht	Alter (in 3 Kategorien)	Wohnort (2 Kategorien)
Bildungsindex	0,13	0,24	0,21
Pro-Kopf-Einkommen (Quartile)	0,08	0,15	0,04
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen (Quartile)	0,09	0,12	0,05
Relative Einkommensarmut	0,10	0,11	0,03
Berufstätigkeit	0,31	0,61	0,23
Berufliche Stellung	0,38	0,13	0,12
Migrationshintergrund	0,03	0,07	0,15

Dargestellt ist das Zusammenhangsmaß Cramers V. Für diese Analysen wurden nur die fehlenden Angaben bei den Merkmalen Pro-Kopf-Einkommen, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und relative Einkommensarmut als eigene Kategorie berücksichtigt. Dunkelgrau markierte Zelle: Dieser Wert illustriert den starken Zusammenhang, wenn die Definitionen der Variablen nicht unabhängig voneinander sind. Hellgrau markierte Zellen: Bei diesen Variablen wurde die Kategorisierung getrennt für Ost- und Westdeutschland vorgenommen bzw. wurden regionspezifische Werte zur Definition der relativen Einkommensarmut verwendet.

Alter war positiv mit dem Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen ($\tau = 0,09$; $p < 0,0001$) und mit der beruflichen Stellung korreliert ($\tau = 0,02$; $p = 0,023$) sowie negativ mit dem Bildungsindex ($\tau = -0,20$; $p < 0,0001$).

In Tabelle 3.1.3 sind die Zusammenhänge zwischen Bildung und den weiteren sozioökonomischen Faktoren im Detail nach Geschlecht stratifiziert für die Gesamtstudienpopulation dargestellt.

Tabelle 3.1.3. Einkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung und Nationalität nach Bildung und Geschlecht

	Männer										Frauen										Männer und Frauen									
	Gesamt		Bildung								Gesamt		Bildung								Gesamt		Bildung							
	N	%	I	%	II	%	III	%	IV	%	N	%	I	%	II	%	III	%	IV	%	N	%	I	%	II	%	III	%	IV	%
Pro-Kopf-Einkommen																														
Q1	636	18,9	46	7,2	86	13,5	186	29,3	318	50,0	725	20,3	39	5,4	96	13,2	265	36,6	325	44,8	1361	19,6	85	6,3	182	13,4	451	33,1	643	47,2
Q2	671	20,0	87	13,0	119	17,7	189	28,2	276	41,1	655	18,4	54	8,2	110	16,8	188	28,7	303	46,3	1326	19,1	141	10,6	229	17,3	377	28,4	579	43,7
Q3	680	20,2	133	19,6	143	21,0	168	24,7	236	34,7	702	19,7	84	12,0	86	12,3	205	29,2	327	46,6	1382	19,9	217	15,7	229	16,6	373	27,0	563	40,7
Q4	799	23,8	290	36,3	131	16,4	195	24,4	183	22,9	689	19,3	147	21,3	134	19,5	191	27,7	217	31,5	1488	21,5	437	29,4	265	17,8	386	26,0	400	27,0
Keine Angaben	577	17,2	67	11,6	65	11,3	130	22,5	315	54,6	796	22,3	48	6,0	78	9,8	186	23,4	484	60,8	1373	19,8	115	8,4	143	10,4	316	23,0	799	58,2
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen																														
Q1	611	18,2	41	6,7	81	13,3	155	25,4	334	54,7	692	19,4	28	4,1	87	12,6	219	31,7	358	51,7	1303	18,8	69	5,3	168	12,9	374	28,7	692	53,1
Q2	612	18,2	60	9,8	100	16,3	184	30,1	268	43,8	696	19,5	51	7,3	93	13,4	225	32,3	327	47,0	1308	18,9	111	8,5	193	14,8	409	31,3	595	45,5
Q3	735	21,9	151	20,5	143	19,5	188	25,6	253	34,4	711	19,9	77	10,8	106	14,9	207	29,1	321	45,2	1446	20,9	228	15,8	249	17,2	395	27,3	574	39,7
Q4	828	24,6	304	36,7	155	18,7	211	25,5	158	19,1	672	18,8	168	25,0	140	20,8	198	29,5	166	24,7	1500	21,7	472	31,5	295	19,7	409	27,3	324	21,6
Keine Angaben	577	17,2	67	11,6	65	11,3	130	22,5	315	54,6	796	22,3	48	6,0	78	9,8	186	23,4	484	60,8	1373	19,8	115	8,4	143	10,4	316	23,0	799	58,2
Relative Einkommensarmut																														
Ja	842	25,0	59	7,0	114	13,5	224	26,6	445	52,9	1046	29,3	47	4,5	133	12,7	329	31,5	537	51,3	1888	27,2	106	5,6	247	13,1	553	29,3	982	52,0
Nein	1944	57,8	497	25,6	365	18,8	514	26,4	568	29,2	1725	48,4	277	16,1	293	17,0	520	30,1	635	36,8	3669	52,9	774	21,1	658	17,9	1034	28,2	1203	32,8
Keine Angaben	577	17,2	67	11,6	65	11,3	130	22,5	315	54,6	796	22,3	48	6,0	78	9,8	186	23,4	484	60,8	1373	19,8	115	8,4	143	10,4	316	23,0	799	58,2
Berufstätigkeit																														
Arbeitslosigkeit	215	6,4	41	19,1	17	7,9	70	32,6	87	40,5	251	7,0	23	9,2	15	6,0	127	50,6	86	34,3	466	6,7	64	13,7	32	6,9	197	42,3	173	37,1
Ausbildung	250	7,4	9	3,6	110	44,0	15	6,0	116	46,4	239	6,7	17	7,1	101	42,3	19	8,0	102	42,7	489	7,1	26	5,3	211	43,2	34	7,0	218	44,6
Rente	687	20,4	115	16,7	51	7,4	110	16,0	411	59,8	734	20,6	32	4,4	29	4,0	113	15,4	560	76,3	1421	20,5	147	10,3	80	5,6	223	15,7	971	68,3
Berufstätigkeit (≥ 15 h/Wo.)	2143	63,7	444	20,7	355	16,6	663	30,9	681	31,8	1595	44,7	249	15,6	287	18,0	591	37,1	468	29,3	3738	54,0	693	18,5	642	17,2	1254	33,6	1149	30,7
Berufstätigkeit (< 15 h/Wo.)	67	2,0	13	19,4	11	16,4	10	14,9	33	49,3	746	20,9	51	6,8	72	9,7	185	24,8	438	58,7	813	11,7	64	7,9	83	10,2	195	24,0	471	57,9
Berufliche Stellung																														
Niedrige	126	3,8	4	3,2	12	9,5	22	17,5	88	69,8	307	9,0	5	1,6	14	4,6	42	13,7	246	80,1	433	6,5	9	2,1	26	6,0	64	14,8	334	77,1
Untere mittlere	720	21,9	27	3,8	159	22,1	108	15,0	426	59,2	1272	37,4	31	2,4	144	11,3	313	24,6	784	61,6	1992	29,8	58	2,9	303	15,2	421	21,1	1210	60,7
Mittlere	1125	34,2	22	2,0	108	9,6	432	38,4	563	50,0	336	9,9	16	4,8	27	8,0	138	41,1	155	46,1	1461	21,8	38	2,6	135	9,2	570	39,0	718	49,1
Obere mittlere	684	20,8	171	25,0	152	22,2	197	28,8	164	24,0	1220	35,9	172	14,1	248	20,3	477	39,1	323	26,5	1904	28,5	343	18,0	400	21,0	674	35,4	487	25,6
Hohe	634	19,3	391	61,7	100	15,8	95	15,0	48	7,6	268	7,9	142	53,0	53	19,8	41	15,3	32	11,9	902	13,5	533	59,1	153	17,0	136	15,1	80	8,9
Schicht-Index nach Winkler																														
Niedrig	682	20,4	0	0	52	7,6	77	11,3	553	81,1	939	26,5	0	0	42	4,5	100	10,7	797	84,9	1621	23,5	0	0	94	5,8	177	10,9	1350	83,3
Mittel	1855	55,4	110	5,9	356	19,2	670	36,1	719	38,8	1962	55,3	112	5,7	326	16,6	761	38,8	763	38,9	3817	55,4	222	5,8	682	17,9	1431	37,5	1482	38,8
Hoch	810	24,2	512	63,2	132	16,3	119	14,7	47	5,8	648	18,3	260	40,1	134	20,7	174	26,9	80	12,4	1458	21,1	772	53,0	266	18,2	293	20,1	127	8,7
Nationalität																														
Deutsch	3209	95,4	598	18,6	521	16,2	852	26,6	1238	38,6	3443	96,5	356	10,3	484	14,1	1020	29,6	1583	46,0	6652	96,0	954	14,3	1005	15,1	1872	28,1	2821	42,4
Nicht deutsch	154	4,6	25	16,2	23	14,9	1	10,4	90	58,4	124	3,5	16	12,9	20	16,1	15	12,1	73	58,9	278	4,0	41	14,8	43	15,5	31	11,2	163	58,6
Gesamt	3363	100,0	623	18,5	544	16,2	868	25,8	1328	39,5	3567	100,0	372	10,4	504	14,1	1035	29,0	1656	46,4	6930	100,0	995	14,4	1048	15,1	1903	27,5	2984	43,1

Für diese Analysen wurden nur die fehlenden Angaben bei den Merkmalen Pro-Kopf-Einkommen, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und relative Einkommensarmut als eigene Kategorie berücksichtigt. Für Erläuterungen der Kategorien sozioökonomischer Faktoren siehe Kapitel 2.3. Q1 = 1. Quartil, Q2 = 2. Quartil, Q3 = 3. Quartil, Q4 = 4. Quartil

3.2 PAK-Metabolite

Für 573 Studienteilnehmer/innen sind Daten zu Metaboliten der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK-Metabolite) im Urin verfügbar (Tab. 3.2.1).

Tabelle 3.2.1. Geometrische Mittelwerte mit 95% Konfidenzintervallen der PAK-Metabolite im Urin

Metabolit			Volumenbezug [µg/l]		Kreatininbezug [µg/g]	
	N	N<BG	GM	95% KI	GM	95% KI
1-OH-Pyr	573	12	0,14	0,13 – 0,15	0,11	0,10 – 0,12
1-OH-Phen	573	4	0,40	0,37 – 0,42	0,31	0,29 – 0,33
2/9-OH-Phen	573	2	0,25	0,23 – 0,26	0,19	0,18 – 0,20
3-PH-Phen	573	1	0,30	0,28 – 0,33	0,24	0,23 – 0,25
Σ(1-, 2/9-,3-)OH-Phen	573	-	0,98	0,91 – 1,04	0,77	0,73 – 0,81

Ungewichtete Daten. Bestimmungsgrenzen: 1-OH-Pyr 0,012 µg/l; 1-OH-Phen 0,016 µg/l; 2/9-OH-Phen 0,004 µg/l; 3-PH-Phen 0,005 µg/l.

3.2.1 Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Belastung mit PAK-Metaboliten

In den Tabellen 3.2.1.1 und 3.2.1.2 sind die 1-Hydroxypyren-Konzentrationen in Abhängigkeit von soziodemographischen und sozioökonomischen Faktoren dargestellt. Bei Betrachtung der einzelnen sozioökonomischen Faktoren sind die Unterschiede in den geometrischen Mittelwerten gering, Tendenzen zu etwas höheren Konzentrationen sind bei einem geringen Pro-Kopf-Einkommen, geringem Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, relativer Einkommensarmut und beruflicher Stellung in unterer und mittlerer Mittelschicht zu beobachten.

Tabelle 3.2.1.1. 1-Hydroxypyren nach soziodemographischen Merkmalen

	N	Volumenbezug [$\mu\text{g/l}$]		Kreatininbezug [$\mu\text{g/g}$]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Gesamt	573	0,14	0,13 - 0,15	0,11	0,10 - 0,12
Geschlecht					
Männer	296	0,16	0,14 - 0,18	0,11	0,10 - 0,12
Frauen	277	0,12	0,10 - 0,14	0,11	0,10 - 0,12
Altersgruppe					
18 - 39 Jahre	258	0,18	0,16 - 0,20	0,11	0,10 - 0,12
40 - 59 Jahre	227	0,13	0,11 - 0,15	0,11	0,10 - 0,13
60 - 69 Jahre	88	0,09	0,07 - 0,11	0,09	0,08 - 0,11
Wohnort					
Alte Bundesländer	459	0,13	0,12 - 0,15	0,10	0,09 - 0,11
Neue Bundesländer	114	0,17	0,14 - 0,21	0,14	0,12 - 0,17
Ungewichtete Daten.					

Tabelle 3.2.1.2. 1-Hydroxypyren nach sozioökonomischen Faktoren

	N	Volumenbezug [µg/l]		Kreatininbezug [µg/g]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Schicht-Index nach Winkler					
Niedrig	96	0,17	0,13 – 0,21	0,13	0,11 – 0,15
Mittel	344	0,14	0,12 – 0,16	0,11	0,10 – 0,12
Hoch	130	0,12	0,10 – 0,15	0,10	0,08 – 0,11
Bildungsindex					
Sehr hoch	92	0,14	0,11 – 0,18	0,10	0,09 – 0,13
Hoch	101	0,16	0,13 – 0,19	0,11	0,09 – 0,13
Mittel	139	0,15	0,12 – 0,18	0,11	0,10 – 0,13
Niedrig	238	0,13	0,11 – 0,15	0,11	0,10 – 0,13
Keine Angaben	3	0,08	0,03 - 0,19	0,07	0,04 – 0,13
Pro-Kopf-Einkommen					
Q1	126	0,18	0,16 – 0,22	0,13	0,11 – 0,14
Q2	111	0,12	0,10 – 0,15	0,10	0,08 – 0,11
Q3	125	0,14	0,12 – 0,17	0,12	0,10 – 0,14
Q4	128	0,13	0,11 – 0,15	0,11	0,10 – 0,13
Keine Angaben	83	0,12	0,10 – 0,15	0,10	0,08 – 0,11
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen					
Q1	114	0,17	0,14 – 0,21	0,12	0,11 - 0,14
Q2	111	0,15	0,12 – 0,18	0,12	0,10 – 0,14
Q3	122	0,12	0,09 – 0,14	0,10	0,09 – 0,12
Q4	143	0,14	0,12 – 0,16	0,11	0,09 – 0,13
Keine Angaben	83	0,12	0,10 – 0,15	0,01	0,08 – 0,11
Relative Einkommensarmut					
Ja	170	0,17	0,15 – 0,20	0,12	0,11 – 0,14
Nein	320	0,13	0,11 – 0,14	0,11	0,10 – 0,12
Keine Angaben	83	0,12	0,10 – 0,15	0,10	0,08 – 0,11
Berufstätigkeit					
Arbeitslosigkeit	25	0,14	0,09 – 0,21	0,11	0,08 – 0,15
Ausbildung	41	0,20	0,15 – 0,27	0,12	0,09 – 0,16
Rente	86	0,12	0,10 – 0,15	0,13	0,11 – 0,15
Berufstätigkeit (≥ 15 h/Wo.)	338	0,15	0,14 – 0,17	0,11	0,10 – 0,12
Berufstätigkeit (< 15 h/Wo.)	80	0,09	0,07 – 0,12	0,09	0,07 – 0,11
Keine Angaben	3	0,08	0,03 – 0,19	0,07	0,04 – 0,13
Berufliche Stellung					
Niedrige	26	0,11	0,07 – 0,18	0,10	0,07 – 0,15
Untere mittlere	148	0,15	0,12 – 0,17	0,11	0,10 – 0,13
Mittlere	131	0,16	0,13 – 0,19	0,12	0,11 – 0,14
Obere mittlere	164	0,12	0,11 – 0,15	0,10	0,09 – 0,11
Hohe	88	0,14	0,11 – 0,17	0,10	0,09 – 0,13
Keine Angaben	16	0,14	0,08 – 0,26	0,11	0,07 – 0,19
Staatsangehörigkeit					
Deutsch	550	0,14	0,13 – 0,15	0,11	0,10 – 0,12
Nicht deutsch	23	0,17	0,10 – 0,29	0,12	0,08 – 0,19

Ungewichtete Daten. Schichtindex nach Winkler: bei 3 Personen fehlende Angaben

Tabellen 3.2.1.3 und 3.2.1.4 zeigen die Konzentrationen von 1-Hydroxyphenanthren nach soziodemographischen und sozioökonomischen Faktoren. Es gibt keine konsistenten sozioökonomischen Unterschiede.

Tabelle 3.2.1.3. 1-Hydroxyphenanthren nach soziodemographischen Merkmalen

	N	Volumenbezug [$\mu\text{g/l}$]		Kreatininbezug [$\mu\text{g/g}$]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Gesamt	573	0,40	0,37 – 0,42	0,31	0,29 – 0,33
Geschlecht					
Männer	296	0,43	0,39 – 0,46	0,29	0,27 – 0,31
Frauen	277	0,37	0,33 – 0,41	0,34	0,31 – 0,37
Altersgruppe					
18 - 39 Jahre	258	0,44	0,41 – 0,49	0,28	0,26 – 0,30
40 - 59 Jahre	227	0,39	0,35 – 0,43	0,36	0,33 – 0,39
60 - 69 Jahre	88	0,29	0,24 – 0,36	0,31	0,26 – 0,37
Wohnort					
Alte Bundesländer	459	0,38	0,35 – 0,41	0,30	0,28 – 0,32
Neue Bundesländer	114	0,46	0,40 – 0,54	0,38	0,34 – 0,43
Ungewichtete Daten.					

Tabelle 3.2.1.4. 1- Hydroxyphenanthren nach sozioökonomischen Faktoren

	N	Volumenbezug [µg/l]		Kreatininbezug [µg/g]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Schicht-Index nach Winkler					
Niedrig	96	0,44	0,37 – 0,51	0,34	0,29 – 0,38
Mittel	344	0,39	0,35 – 0,42	0,31	0,28 – 0,33
Hoch	130	0,39	0,34 – 0,45	0,31	0,27 – 0,34
Bildungsindex					
Sehr hoch	92	0,42	0,35 – 0,49	0,31	0,27 – 0,36
Hoch	101	0,47	0,41 – 0,55	0,31	0,27 – 0,36
Mittel	139	0,40	0,35 – 0,47	0,30	0,27 – 0,34
Niedrig	238	0,35	0,32 – 0,39	0,32	0,29 – 0,35
Keine Angaben	3	0,47	0,26 – 0,85	0,41	0,26 – 0,66
Pro-Kopf-Einkommen					
Q1	126	0,46	0,41 – 0,53	0,32	0,29 – 0,35
Q2	111	0,39	0,34 – 0,45	0,31	0,28 – 0,35
Q3	125	0,38	0,32 – 0,44	0,31	0,27 – 0,36
Q4	128	0,39	0,34 – 0,45	0,34	0,30 – 0,38
Keine Angaben	83	0,35	0,29 – 0,42	0,27	0,22 – 0,32
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen					
Q1	114	0,45	0,38 – 0,52	0,31	0,28 – 0,35
Q2	111	0,42	0,36 – 0,49	0,33	0,29 – 0,38
Q3	122	0,36	0,31 – 0,42	0,33	0,29 – 0,37
Q4	143	0,40	0,35 – 0,46	0,31	0,28 – 0,35
Keine Angaben	83	0,35	0,29 – 0,42	0,27	0,22 – 0,32
Relative Einkommensarmut					
Ja	170	0,44	0,39 – 0,51	0,32	0,29 – 0,35
Nein	320	0,38	0,35 – 0,42	0,32	0,30 – 0,35
Keine Angaben	83	0,35	0,29 – 0,42	0,27	0,22 – 0,32
Berufstätigkeit					
Arbeitslosigkeit	25	0,36	0,24 – 0,54	0,29	0,21 – 0,39
Ausbildung	41	0,52	0,43 – 0,63	0,31	0,25 – 0,38
Rente	86	0,35	0,29 – 0,42	0,38	0,32 – 0,44
Berufstätigkeit (≥ 15 h/Wo.)	338	0,42	0,38 – 0,45	0,30	0,28 – 0,33
Berufstätigkeit (< 15 h/Wo.)	80	0,32	0,25 – 0,40	0,29	0,25 – 0,34
Keine Angaben	3	0,47	0,26 – 0,85	0,41	0,26 – 0,66
Berufliche Stellung					
Niedrige	26	0,29	0,17 – 0,52	0,27	0,17 – 0,41
Untere mittlere	148	0,40	0,36 – 0,45	0,31	0,28 – 0,34
Mittlere	131	0,42	0,36 – 0,48	0,32	0,29 – 0,36
Obere mittlere	164	0,38	0,33 – 0,43	0,31	0,28 – 0,34
Hohe	88	0,41	0,35 – 0,48	0,31	0,27 – 0,35
Keine Angaben	16	0,47	0,34 – 0,65	0,38	0,31 – 0,48
Staatsangehörigkeit					
Deutsch	550	0,39	0,36 – 0,42	0,31	0,29 – 0,33
Nicht deutsch	23	0,56	0,37 – 0,84	0,40	0,31 – 0,52

Ungewichtete Daten. Schichtindex nach Winkler: bei 3 Personen fehlende Angaben

Der Zusammenhang zwischen der Konzentration an 2/9-Hydroxyphenanthren und soziodemographischen bzw. sozioökonomischen Faktoren ist in den Tabellen 3.2.1.5 und 3.2.1.6 dargestellt.

Tabelle 3.2.1.5. 2/9-Hydroxyphenanthren nach soziodemographischen Merkmalen

	N	Volumenbezug [$\mu\text{g/l}$]		Kreatininbezug [$\mu\text{g/g}$]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Gesamt	573	0,25	0,23 – 0,26	0,19	0,18 – 0,20
Geschlecht					
Männer	296	0,28	0,26 – 0,31	0,19	0,18 – 0,21
Frauen	277	0,21	0,19 – 0,23	0,19	0,18 – 0,21
Altersgruppe					
18 - 39 Jahre	258	0,27	0,25 – 0,29	0,17	0,16 – 0,18
40 - 59 Jahre	227	0,24	0,21 – 0,26	0,22	0,20 – 0,23
60 - 69 Jahre	88	0,20	0,16 – 0,25	0,21	0,18 – 0,26
Wohnort					
Alte Bundesländer	459	0,23	0,22 – 0,25	0,18	0,17 – 0,19
Neue Bundesländer	114	0,30	0,26 – 0,34	0,25	0,22 – 0,28
Ungewichtete Daten.					

Tabelle 3.2.1.6. 2/9- Hydroxyphenanthren nach sozioökonomischen Faktoren

	N	Volumenbezug [µg/l]		Kreatininbezug [µg/g]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Schicht-Index nach Winkler					
Niedrig	96	0,26	0,22 – 0,30	0,20	0,18 – 0,23
Mittel	344	0,24	0,22 – 0,26	0,19	0,18 – 0,21
Hoch	130	0,24	0,21 – 0,28	0,19	0,17 – 0,21
Bildungsindex					
Sehr hoch	92	0,26	0,22 – 0,30	0,19	0,17 – 0,22
Hoch	101	0,28	0,24 – 0,32	0,19	0,16 – 0,21
Mittel	139	0,24	0,21 – 0,29	0,18	0,16 – 0,20
Niedrig	238	0,27	0,20 – 0,25	0,20	0,19 – 0,22
Keine Angaben	3	0,23	0,15 – 0,34	0,20	0,14 – 0,29
Pro-Kopf-Einkommen					
Q1	126	0,27	0,24 – 0,31	0,19	0,17 – 0,21
Q2	111	0,24	0,20 – 0,28	0,19	0,17 – 0,22
Q3	125	0,24	0,20 – 0,28	0,19	0,17 – 0,22
Q4	128	0,25	0,22 – 0,29	0,21	0,19 – 0,24
Keine Angaben	83	0,22	0,19 – 0,27	0,17	0,15 – 0,20
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen					
Q1	114	0,27	0,23 – 0,31	0,18	0,16 – 0,21
Q2	111	0,24	0,21 – 0,28	0,19	0,17 – 0,22
Q3	122	0,23	0,20 – 0,27	0,21	0,18 – 0,24
Q4	143	0,26	0,23 – 0,29	0,20	0,18 – 0,22
Keine Angaben	83	0,22	0,19 – 0,27	0,17	0,15 – 0,20
Relative Einkommensarmut					
Ja	170	0,26	0,23 – 0,30	0,19	0,17 – 0,21
Nein	320	0,24	0,22 – 0,26	0,20	0,19 – 0,22
Keine Angaben	83	0,22	0,19 – 0,27	0,17	0,15 – 0,20
Berufstätigkeit					
Arbeitslosigkeit	25	0,24	0,19 – 0,30	0,19	0,15 – 0,24
Ausbildung	41	0,29	0,25 – 0,33	0,17	0,15 – 0,20
Rente	86	0,24	0,21 – 0,29	0,26	0,23 – 0,29
Berufstätigkeit (≥ 15 h/Wo.)	338	0,26	0,24 – 0,28	0,19	0,18 – 0,20
Berufstätigkeit (< 15 h/Wo.)	80	0,18	0,14 – 0,23	0,16	0,14 – 0,20
Keine Angaben	3	0,23	0,15 – 0,34	0,20	0,14 – 0,29
Berufliche Stellung					
Niedrige	26	0,23	0,16 – 0,32	0,20	0,16 – 0,26
Untere mittlere	148	0,24	0,21 – 0,27	0,19	0,17 – 0,21
Mittlere	131	0,27	0,23 – 0,31	0,21	0,18 – 0,24
Obere mittlere	164	0,24	0,21 – 0,27	0,19	0,17 – 0,21
Hohe	88	0,25	0,22 – 0,29	0,19	0,17 – 0,22
Keine Angaben	16	0,20	0,14 – 0,29	0,16	0,12 – 0,22
Staatsangehörigkeit					
Deutsch	550	0,24	0,23 – 0,26	0,19	0,18 – 0,20
Nicht deutsch	23	0,29	0,19 – 0,45	0,21	0,15 – 0,29

Ungewichtete Daten. Schichtindex nach Winkler: bei 3 Personen fehlende Angaben

Tabellen 3.2.1.7 und 3.2.1.8 zeigen die Konzentrationen von 3-Hydroxyphenanthren nach soziodemographischen und sozioökonomischen Faktoren.

Tabelle 3.2.1.7. 3-Hydroxyphenanthren nach soziodemographischen Merkmalen

	N	Volumenbezug [$\mu\text{g/l}$]		Kreatininbezug [$\mu\text{g/g}$]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Gesamt	573	0,30	0,28 – 0,33	0,24	0,23 – 0,25
Geschlecht					
Männer	296	0,37	0,34 – 0,40	0,25	0,23 – 0,27
Frauen	277	0,25	0,22 – 0,28	0,23	0,21 – 0,25
Altersgruppe					
18 - 39 Jahre	258	0,36	0,33 – 0,39	0,22	0,21 – 0,24
40 - 59 Jahre	227	0,28	0,25 – 0,32	0,26	0,24 – 0,28
60 - 69 Jahre	88	0,22	0,18 – 0,28	0,24	0,20 – 0,29
Wohnort					
Alte Bundesländer	459	0,29	0,27 – 0,31	0,22	0,21 – 0,24
Neue Bundesländer	114	0,37	0,32 – 0,43	0,31	0,27 – 0,35

Ungewichtete Daten.

Tabelle 3.2.1.8. 3- Hydroxyphenanthren nach sozioökonomischen Faktoren

	N	Volumenbezug [µg/l]		Kreatininbezug [µg/g]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Schicht-Index nach Winkler					
Niedrig	96	0,35	0,29 - 0,42	0,27	0,23 – 0,31
Mittel	344	0,29	0,27 - 0,32	0,23	0,22 – 0,25
Hoch	130	0,30	0,26 - 0,36	0,24	0,21 – 0,27
Bildungsindex					
Sehr hoch	92	0,33	0,27 - 0,39	0,24	0,21 – 0,28
Hoch	101	0,37	0,32 - 0,43	0,24	0,21 – 0,28
Mittel	139	0,31	0,26 - 0,36	0,23	0,20 – 0,25
Niedrig	238	0,27	0,24 - 0,31	0,24	0,22 - 0,27
Keine Angaben	3	0,26	0,21 - 0,33	0,23	0,15 – 0,35
Pro-Kopf-Einkommen					
Q1	126	0,37	0,32 - 0,43	0,25	0,23 – 0,28
Q2	111	0,28	0,24 - 0,34	0,23	0,20 – 0,26
Q3	125	0,28	0,23 - 0,33	0,23	0,20 – 0,26
Q4	128	0,31	0,26 - 0,36	0,26	0,23 – 0,30
Keine Angaben	83	0,26	0,23 - 0,33	0,22	0,19 – 0,25
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen					
Q1	114	0,35	0,30 - 0,41	0,24	0,22 – 0,27
Q2	111	0,32	0,27 - 0,38	0,25	0,22 – 0,29
Q3	122	0,27	0,22 - 0,32	0,24	0,21 – 0,28
Q4	143	0,31	0,27 - 0,36	0,24	0,22 – 0,27
Keine Angaben	83	0,28	0,23 - 0,34	0,22	0,19 – 0,25
Relative Einkommensarmut					
Ja	170	0,35	0,31 - 0,41	0,25	0,23 – 0,28
Nein	320	0,29	0,26 - 0,32	0,24	0,22 – 0,26
Keine Angaben	83	0,28	0,23 - 0,33	0,22	0,19 – 0,25
Berufstätigkeit					
Arbeitslosigkeit	25	0,31	0,22 - 0,42	0,25	0,19 – 0,32
Ausbildung	41	0,41	0,34 - 0,50	0,25	0,20 – 0,30
Rente	86	0,28	0,23 - 0,33	0,29	0,25 – 0,34
Berufstätigkeit (≥ 15 h/Wo.)	338	0,33	0,30 - 0,36	0,24	0,22 – 0,26
Berufstätigkeit (< 15 h/Wo.)	80	0,21	0,17 - 0,26	0,19	0,16 – 0,23
Keine Angaben	3	0,26	0,21 - 0,33	0,23	0,15 – 0,35
Berufliche Stellung					
Niedrige	26	0,26	0,17 - 0,39	0,23	0,18 – 0,31
Untere mittlere	148	0,30	0,27 - 0,35	0,24	0,21 – 0,26
Mittlere	131	0,34	0,29 - 0,40	0,26	0,23 – 0,30
Obere mittlere	164	0,28	0,24 - 0,32	0,23	0,20 – 0,25
Hohe	88	0,32	0,27 - 0,37	0,24	0,21 – 0,27
Keine Angaben	16	0,31	0,20 - 0,49	0,25	0,19 – 0,34
Staatsangehörigkeit					
Deutsch	550	0,30	0,28 - 0,32	0,24	0,22 – 0,25
Nicht deutsch	23	0,38	0,25 - 0,58	0,27	0,20 – 0,37

Ungewichtete Daten. Schichtindex nach Winkler: bei 3 Personen fehlende Angaben

In den Tabellen 3.2.1.9 und 3.2.1.10 ist die Summe der Konzentrationen der Hydroxyphenanthrene in Abhängigkeit von soziodemographischen und sozioökonomischen Faktoren dargestellt.

Tabelle 3.2.1.9. $\Sigma(1-,2/9-,3-)\text{OH-Phen}$ nach soziodemographischen Merkmalen

	N	Volumenbezug [$\mu\text{g/l}$]		Kreatininbezug [$\mu\text{g/g}$]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Gesamt	573	0,98	0,91 – 1,04	0,77	0,73 – 0,81
Geschlecht					
Männer	296	1,11	1,03 – 1,20	0,76	0,70 – 0,81
Frauen	277	0,85	0,77 – 0,94	0,78	0,73 – 0,84
Altersgruppe					
18 - 39 Jahre	258	1,11	1,02 – 1,21	0,69	0,64 – 0,75
40 - 59 Jahre	227	0,94	0,85 – 1,04	0,86	0,80 – 0,92
60 - 69 Jahre	88	0,74	0,60 – 0,91	0,79	0,66 – 0,94
Wohnort					
Alte Bundesländer	459	0,93	0,87 – 1,00	0,73	0,68 – 0,77
Neue Bundesländer	114	1,17	1,02 – 1,34	0,97	0,87 – 1,08
Ungewichtete Daten.					

Tabelle 3.2.1.10. $\Sigma(1-,2/9-,3-)$ OH-Phen nach sozioökonomischen Faktoren

	N	Volumenbezug [µg/l]		Kreatininbezug [µg/g]	
		GM	95% KI	GM	95% KI
Schicht-Index nach Winkler					
Niedrig	96	1,07	0,91 – 1,26	0,82	0,72 – 0,93
Mittel	344	0,95	0,88 – 1,04	0,76	0,71 – 0,81
Hoch	130	0,97	0,85 – 1,11	0,76	0,68 – 0,84
Bildungsindex					
Sehr hoch	92	1,03	0,88 – 1,20	0,76	0,67 – 0,87
Hoch	101	1,16	1,01 – 1,34	0,77	0,68 – 0,88
Mittel	139	0,98	0,85 – 1,13	0,73	0,66 – 0,81
Niedrig	238	0,88	0,80 – 0,98	0,79	0,73 – 0,86
Keine Angaben	3	0,98	0,66 – 1,45	0,86	0,63 – 1,17
Pro-Kopf-Einkommen					
Q1	126	1,14	1,00 – 1,30	0,78	0,71 – 0,86
Q2	111	0,94	0,81 – 1,09	0,76	0,68 – 0,86
Q3	125	0,92	0,79 – 1,07	0,76	0,67 – 0,86
Q4	128	0,98	0,85 – 1,12	0,84	0,75 – 0,94
Keine Angaben	83	0,88	0,75 – 1,04	0,68	0,59 – 0,79
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen					
Q1	114	1,09	0,94 – 1,26	0,76	0,68 – 0,84
Q2	111	1,01	0,87 – 1,17	0,80	0,71 – 0,91
Q3	122	0,88	0,76 – 1,02	0,80	0,70 – 0,90
Q4	143	1,00	0,88 – 1,14	0,78	0,71 – 0,86
Keine Angaben	83	0,88	0,75 – 1,04	0,68	0,59 – 0,79
Relative Einkommensarmut					
Ja	170	1,09	0,96 – 1,24	0,78	0,71 – 0,86
Nein	320	0,94	0,87 – 1,03	0,79	0,73 – 0,84
Keine Angaben	83	0,88	0,75 – 1,04	0,68	0,59 – 0,79
Berufstätigkeit					
Arbeitslosigkeit	25	0,95	0,72 – 1,26	0,76	0,61 – 0,95
Ausbildung	41	1,25	1,06 – 1,48	0,75	0,62 – 0,90
Rente	86	0,90	0,76 – 1,06	0,96	0,84 – 1,09
Berufstätigkeit (≥ 15 h/Wo.)	338	1,04	0,96 – 1,23	0,76	0,71 – 0,81
Berufstätigkeit (< 15 h/Wo.)	80	0,73	0,59 – 0,91	0,66	0,57 – 0,78
Keine Angaben	3	0,98	0,66 – 1,45	0,86	0,63 – 1,17
Berufliche Stellung					
Niedrige	26	0,84	0,56 – 1,26	0,76	0,59 – 0,98
Untere mittlere	148	0,98	0,87 – 1,10	0,76	0,69 – 0,83
Mittlere	131	1,06	0,92 – 1,22	0,82	0,73 – 0,92
Obere mittlere	164	0,92	0,80 – 1,05	0,75	0,67 – 0,83
Hohe	88	1,01	0,87 – 1,17	0,76	0,67 – 0,86
Keine Angaben	16	1,02	0,72 – 1,45	0,83	0,67 – 1,03
Staatsangehörigkeit					
Deutsch	550	0,96	0,90 – 1,03	0,76	0,72 – 0,81
Nicht deutsch	23	1,26	0,84 – 1,91	0,91	0,69 – 1,20

Ungewichtete Daten. Schichtindex nach Winkler: bei 3 Personen fehlende Angaben

3.2.2 Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und den Prädiktoren für die körperliche Belastung mit PAK-Metaboliten

Folgende Einflussgrößen für die Konzentration der PAK-Metabolite im Urin wurden in multivariaten Regressionsanalysen ermittelt (Bernigau et al. 2004):

1-Hydroxypyren

- Rauchen (Zigarettenanzahl pro Tag)
- Heizungsart (dezentrale Heizung)
- Wohnort (neue Bundesländer)

1-Hydroxyphenanthren, 3-Hydroxyphenanthren und Summe der Phenanthrene

- Rauchen (Zigarettenanzahl pro Tag)
- Alkoholkonsum (tägliche Alkoholmenge)
- Heizungsart (dezentrale Heizung)
- Wohnort (neue Bundesländer)

2/9-Hydroxyphenanthren

- Alkoholkonsum (tägliche Alkoholmenge)
- Rauchen (Zigarettenanzahl pro Tag)
- Heizungsart (dezentrale Heizung)
- Wohnort (neue Bundesländer)
- Body Mass Index

Schwache Einflussgrößen stellten das Geschlecht, das Alter, das Wohngebiet, die Anwendung chemischer Holzschutzmittel, die Entfernung der Wohnung zu Metall verarbeitenden Betrieben, ein Beruf als Kraftfahrer und der Kaffeeconsum dar.

Ausgehend von 573 Personen mit Daten zu PAK-Metaboliten im Urin wurde der Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und den oben genannten Prädiktoren für die körperliche Belastung mit PAK-Metaboliten untersucht (Tab. 3.2.2.1). Für diese erste Analyse wurden einfache Kategorisierungen der Prädiktoren gewählt in Anlehnung an Bernigau et al. (2004):

- Tabakkonsum: Nichtraucher, gelegentlich bis maximal 9 Zigaretten pro Tag rauchend, täglich rauchend bzw. mindestens 10 Zigaretten pro Tag
- Heizungsart: zentral oder dezentral ohne Kohle/Holz, dezentral mit Kohle oder Holz
- Alkoholkonsum: mindestens einmal pro Woche Bier, Wein oder Spirituosen versus seltener
- Body Mass Index (BMI): < 25 kg/m², 25 bis unter 30 kg/m², ≥ 30 kg/m²

Nach dem Zusammenhangsmaß Cramers V zu beurteilen zeigte keiner der Prädiktoren einen starken Zusammenhang mit sozioökonomischen Faktoren.

Tabelle 3.2.2.1. Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und den Prädiktoren für die körperliche Belastung mit PAK-Metaboliten

	Tabakkonsum	Heizungsart	Alkoholkonsum	Body Mass Index
Bildungsindex	0,10	0,11	0,13	0,12
Pro-Kopf-Einkommen (Quartile)	0,07	0,05	0,14	0,07
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen (Quartile)	0,07	0,09	0,16	0,09
Relative Einkommensarmut	0,07	0,04	0,13	0,07
Berufstätigkeit	0,14	0,12	0,16	0,23
Berufliche Stellung	0,07	0,07	0,19	0,13
Migrationshintergrund	0,09	0,07	0,06	0,03

Dargestellt ist das Zusammenhangsmaß Cramers V. Für diese Analysen wurden nur die fehlenden Angaben bei den Merkmalen Pro-Kopf-Einkommen, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und relative Einkommensarmut als eigene Kategorie berücksichtigt.

Bei ordinalen Merkmalen konnte zusätzlich die Rangkorrelation (Kendall's Tau) betrachtet werden: Eine negative Rangkorrelation mit dem BMI bestand bei den Merkmalen Bildung ($\tau = -0,16$; $p < 0,0001$), Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen ($\tau = -0,03$; $p = 0,004$) und berufliche Stellung ($\tau = -0,04$; $p = 0,001$). Der Tabakkonsum war negativ mit Bildung ($\tau = -0,03$; $p = 0,007$), Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen ($\tau = -0,05$; $p < 0,0001$) und beruflicher Stellung ($\tau = -0,06$; $p < 0,0001$) korreliert.

3.3 Quecksilber

Der Quecksilbergehalt im Blut wurde bei 4645 Personen gemessen (GM 0,59 µg/l; 95% KI 0,57-0,60). Die Quecksilberkonzentration im Urin wurde bei 4741 Personen (GM 0,43 µg/l; 95% KI 0,42-0,44) bzw. 4730 Personen (GM 0,34 µg/g Kreatinin, 95% KI 0,33-0,35) bestimmt. Angegeben sind jeweils ungewichtete Werte.

Bei 573 Personen lag die Quecksilberkonzentration im Blut unter der Bestimmungsgrenze von 0,2 µg/l; 1375 Urinproben wiesen Quecksilbergehalte unter der Bestimmungsgrenze von 0,2 µg/l auf.

3.3.1 Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Belastung mit Quecksilber

Tabellen 3.3.1.1 und 3.3.1.2 zeigen die Quecksilberkonzentrationen im Blut nach soziodemographischen und sozioökonomischen Faktoren.

Bei den Einzelindikatoren waren eine hohe Bildung, ein hohes Einkommen, eine Berufstätigkeit mit mindestens 15 Stunden pro Woche sowie eine zur Oberschicht zählende berufliche Stellung mit einer höheren Quecksilberkonzentration im Blut assoziiert.

Tabelle 3.3.1.1. Quecksilber im Blut [µg/l] nach soziodemographischen Merkmalen

	N	GM	95% KI
Gesamt	4645	0,59	0,57 – 0,60
Geschlecht			
Männer	2304	0,61	0,58 – 0,63
Frauen	2341	0,57	0,55 – 0,59
Altersgruppe			
18 - 39 Jahre	2013	0,56	0,54 – 0,58
40 - 59 Jahre	1957	0,62	0,59 – 0,64
60 - 69 Jahre	675	0,57	0,53 – 0,62
Wohnort			
Alte Bundesländer	3685	0,58	0,56 – 0,60
Neue Bundesländer	960	0,60	0,57 – 0,63

Ungewichtete Daten.

Tabelle 3.3.1.2. Quecksilber im Blut [$\mu\text{g/l}$] nach sozioökonomischen Faktoren

	N	GM	95% KI
Schicht-Index nach Winkler			
Niedrig	953	0,45	0,42 – 0,48
Mittel	2605	0,57	0,55 – 0,59
Hoch	1059	0,78	0,74 – 0,82
Bildungsindex			
Sehr hoch	674	0,78	0,73 – 0,83
Hoch	766	0,68	0,64 – 0,72
Mittel	1251	0,59	0,56 – 0,62
Niedrig	1943	0,50	0,48 – 0,52
Keine Angaben	11	0,80	0,48 – 1,34
Pro-Kopf-Einkommen			
Q1	967	0,49	0,46 – 0,52
Q2	916	0,56	0,53 – 0,60
Q3	968	0,61	0,57 – 0,64
Q4	1009	0,76	0,72 – 0,81
Keine Angaben	785	0,52	0,49 – 0,56
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen			
Q1	893	0,50	0,47 – 0,53
Q2	890	0,54	0,51 – 0,57
Q3	1004	0,60	0,57 – 0,64
Q4	1073	0,76	0,72 – 0,80
Keine Angaben	785	0,52	0,49 – 0,56
Relative Einkommensarmut			
Ja	1311	0,49	0,47 – 0,52
Nein	2549	0,66	0,64 – 0,69
Keine Angaben	785	0,52	0,49 – 0,56
Berufstätigkeit			
Arbeitslosigkeit	271	0,52	0,47 – 0,57
Ausbildung	346	0,46	0,42 – 0,51
Rente	608	0,55	0,50 – 0,59
Berufstätigkeit (≥ 15 h/Wo.)	2797	0,63	0,61 – 0,65
Berufstätigkeit (< 15 h/Wo.)	610	0,55	0,51 – 0,59
Keine Angaben	13	0,83	0,52 – 1,34
Berufliche Stellung			
Niedrige	272	0,48	0,43 – 0,54
Untere mittlere	1311	0,50	0,47 – 0,52
Mittlere	948	0,55	0,52 – 0,58
Obere mittlere	1339	0,65	0,61 – 0,68
Hohe	626	0,80	0,74 – 0,86
Keine Angaben	149	0,61	0,52 – 0,73
Staatsangehörigkeit			
Deutsch	4437	0,59	0,57 – 0,60
Nicht deutsch	208	0,56	0,50 – 0,64

Ungewichtete Daten. Schichtindex nach Winkler: bei 28 Personen fehlende Angaben

Der Zusammenhang zwischen der Quecksilberkonzentration im Urin und soziodemographischen bzw. sozioökonomischen Faktoren ist in den Tabellen 3.3.1.3 und 3.3.1.4 dargestellt.

Im Gegensatz zur Blutkonzentration von Quecksilber besteht kein eindeutiger Sozialgradient bei der Urinkonzentration.

Tabelle 3.3.1.3. Quecksilber im Urin nach soziodemographischen Merkmalen

	Volumenbezug [$\mu\text{g/l}$]			Kreatininbezug [$\mu\text{g/g}$]		
	N	GM	95% KI	N	GM	95% KI
Gesamt	4741	0,43	0,42 – 0,44	4730	0,34	0,33 – 0,35
Geschlecht						
Männer	2347	0,41	0,39 – 0,43	2340	0,28	0,26 – 0,29
Frauen	2394	0,45	0,43 – 0,48	2390	0,41	0,40 – 0,43
Altersgruppe						
18 - 39 Jahre	2054	0,70	0,67 – 0,74	2048	0,44	0,42 – 0,46
40 - 59 Jahre	1990	0,34	0,33 – 0,36	1986	0,30	0,29 – 0,31
60 - 69 Jahre	697	0,20	0,18 – 0,21	696	0,22	0,21 – 0,23
Wohnort						
Alte Bundesländer	3754	0,41	0,40 – 0,43	3743	0,33	0,32 – 0,34
Neue Bundesländer	987	0,49	0,46 – 0,53	987	0,38	0,35 – 0,41

Ungewichtete Daten.

Tabelle 3.3.1.4. Quecksilber im Urin nach sozioökonomischen Faktoren

	Volumenbezug [$\mu\text{g/l}$]			Kreatininbezug [$\mu\text{g/g}$]		
	N	GM	95% KI	N	GM	95% KI
Schicht-Index nach Winkler						
Niedrig	963	0,34	0,32 – 0,37	960	0,28	0,26 – 0,29
Mittel	2657	0,45	0,43 – 0,47	2652	0,35	0,34 – 0,37
Hoch	1090	0,46	0,43 – 0,49	1087	0,37	0,34 – 0,39
Bildungsindex						
Sehr hoch	698	0,48	0,44 – 0,52	697	0,37	0,35 – 0,41
Hoch	781	0,58	0,53 – 0,63	778	0,39	0,36 – 0,42
Mittel	1276	0,52	0,49 – 0,56	1272	0,40	0,38 – 0,43
Niedrig	1975	0,32	0,31 – 0,34	1972	0,28	0,26 – 0,29
Keine Angaben	11	0,61	0,32 – 1,17	11	0,57	0,29 – 1,11
Pro-Kopf-Einkommen						
Q1	979	0,49	0,46 – 0,53	975	0,35	0,33 – 0,38
Q2	930	0,44	0,41 – 0,48	929	0,35	0,33 – 0,38
Q3	990	0,41	0,38 – 0,45	988	0,33	0,31 – 0,35
Q4	1035	0,42	0,39 – 0,45	1033	0,35	0,32 – 0,37
Keine Angaben	807	0,38	0,35 – 0,42	805	0,31	0,29 – 0,33
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen						
Q1	900	0,43	0,39 – 0,46	897	0,32	0,30 – 0,35
Q2	903	0,48	0,45 – 0,52	901	0,38	0,35 – 0,40
Q3	1034	0,41	0,38 – 0,44	1034	0,33	0,31 – 0,35
Q4	1097	0,45	0,42 – 0,48	1093	0,35	0,33 – 0,38
Keine Angaben	807	0,38	0,35 – 0,42	805	0,31	0,29 – 0,33
Relative Einkommensarmut						
Ja	1324	0,45	0,42 – 0,48	1320	0,34	0,32 – 0,36
Nein	2610	0,44	0,42 – 0,46	2605	0,35	0,33 – 0,36
Keine Angaben	807	0,38	0,35 – 0,42	805	0,31	0,29 – 0,33
Berufstätigkeit						
Arbeitslosigkeit	279	0,35	0,31 – 0,40	278	0,27	0,24 – 0,31
Ausbildung	347	0,58	0,51 – 0,66	347	0,32	0,29 – 0,36
Rente	629	0,20	0,19 – 0,22	628	0,22	0,21 – 0,24
Berufstätigkeit (≥ 15 h/Wo.)	2843	0,51	0,48 – 0,53	2836	0,37	0,36 – 0,39
Berufstätigkeit (< 15 h/Wo.)	630	0,40	0,37 – 0,44	628	0,38	0,35 – 0,41
Keine Angaben	13	0,54	0,30 – 1,00	13	0,52	0,29 – 0,95
Berufliche Stellung						
Niedrige	277	0,33	0,29 – 0,38	277	0,29	0,25 – 0,33
Untere mittlere	1331	0,43	0,40 – 0,46	1329	0,33	0,31 – 0,35
Mittlere	959	0,38	0,36 – 0,41	956	0,29	0,27 – 0,31
Obere mittlere	1367	0,47	0,44 – 0,50	1362	0,39	0,37 – 0,41
Hohe	652	0,47	0,43 – 0,51	652	0,36	0,33 – 0,38
Keine Angaben	155	0,43	0,35 – 0,51	154	0,36	0,30 – 0,43
Staatsangehörigkeit						
Deutsch	4531	0,43	0,41 – 0,44	4521	0,34	0,33 – 0,35
Nicht deutsch	210	0,49	0,42 – 0,58	209	0,38	0,32 – 0,44

Ungewichtete Daten. Schichtindex nach Winkler: bei 31 (V.) bzw. 42 Personen (C.) fehlende Angaben

3.3.2 Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und den Prädiktoren für die körperliche Belastung mit Quecksilber

Folgende Einflussgrößen für die Konzentration von Quecksilber im Blut bzw. im Urin wurden in multivariaten Regressionsanalysen ermittelt (Benemann et al. 2004):

Quecksilber im Blut:

- Fischverzehr
- Amalgamfüllungen
- Weinkonsum
- Soziale Schicht
- Personenzahl im Haushalt
- Gemeindegröße

Quecksilber im Urin:

- Amalgamfüllungen
- Alter
- Geschlecht
- Zahnarztbesuch
- Soziale Schicht
- Fischverzehr

Die Stärke des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und den Prädiktoren für die körperliche Belastung mit Quecksilber im Blut ist in Tabelle 3.3.2.1 ausgehend von den 4645 Personen mit Daten zu Quecksilber im Blut dargestellt. Die Prädiktoren wurden in einem ersten Schritt vereinfacht in Anlehnung an Benemann et al. (2004) folgendermaßen kategorisiert:

- Fischverzehr: mindestens einmal pro Woche in den letzten 12 Monaten
- Fischverzehr 48h: Verzehr von Fisch oder Meerestieren innerhalb von 48 Stunden vor der Blutabnahme bzw. vor dem Sammeln der Urinprobe
- Amalgamfüllungen: mindestens ein Zahn, kein Zahn, weiß nicht oder keine Angabe
- Weinkonsum: mindestens einmal pro Woche in den letzten 12 Monaten
- Personenzahl im Haushalt: eine, zwei, mindestens drei
- Gemeindegröße: < 50.000, ≥ 50.000

Tabelle 3.3.2.1. Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und den Prädiktoren für die korporale Belastung mit Quecksilber im Blut

	Fischverzehr	Fischverzehr 48h	Amalgamfüllungen	Weinkonsum	Personenzahl im Haushalt	Gemeindegröße
Bildungsindex	0,07	0,08	0,10	0,20	0,06	0,09
Pro-Kopf-Einkommen (Quartile)	0,05	0,07	0,07	0,18	0,30	0,11
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen (Quartile)	0,06	0,07	0,07	0,17	0,20	0,08
Relative Einkommensarmut	0,06	0,07	0,05	0,13	0,17	0,07
Berufstätigkeit	0,13	0,02	0,16	0,09	0,22	0,04
Berufliche Stellung	0,10	0,08	0,06	0,22	0,05	0,07
Migrationshintergrund	0,04	0,02	0,02	0,06	0,04	0,08

Dargestellt ist das Zusammenhangsmaß Cramers V. Für diese Analysen wurden nur die fehlenden Angaben bei den Merkmalen Pro-Kopf-Einkommen, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und relative Einkommensarmut als eigene Kategorie berücksichtigt.

Bei dem ordinalen Merkmal Personenzahl im Haushalt wurde die Rangkorrelation (Kendall's Tau) berechnet: Es bestand eine Rangkorrelation mit dem Bildungsindex ($\tau = 0,07$; $p < 0,0001$) und keine mit der beruflichen Stellung ($\tau = -0,02$; $p = 0,051$).

In der Tabelle 3.3.2.2 ist das Zusammenhangsmaß Cramers V für sozioökonomische Faktoren und den Prädiktoren für die korporale Belastung mit Quecksilber im Urin dargestellt für 4741 Personen mit entsprechenden Daten. Zusätzlich zu den oben genannten Prädiktoren wurde betrachtet:

- Zahnarztbesuch: in den letzten 12 Monaten

Sowohl bei Quecksilber im Blut als auch im Urin war keiner der Prädiktoren stark mit sozioökonomischen Faktoren assoziiert.

Tabelle 3.3.2.2. Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und den Prädiktoren für die korporale Belastung mit Quecksilber im Urin

	Fischverzehr	Fischverzehr 48h	Amalgamfüllungen	Zahnarztbesuch
Bildungsindex	0,06	0,08	0,10	0,11
Pro-Kopf-Einkommen (Quartile)	0,05	0,06	0,07	0,03
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen (Quartile)	0,06	0,06	0,06	0,05
Relative Einkommensarmut	0,06	0,06	0,05	0,05
Berufstätigkeit	0,13	0,02	0,16	0,07
Berufliche Stellung	0,09	0,08	0,06	0,07
Migrationshintergrund	0,04	0,01	0,02	0,06

Dargestellt ist das Zusammenhangsmaß Cramers V. Für diese Analysen wurden nur die fehlenden Angaben bei den Merkmalen Pro-Kopf-Einkommen, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und relative Einkommensarmut als eigene Kategorie berücksichtigt.

4 Bewertung der Ergebnisse aus dem 1. Projektabschnitt und Vorgaben für den 2. Projektabschnitt

In einer gemeinsamen Besprechung von Auftraggeber und Projektnehmerin wurde auf Grundlage der Ergebnisse der bivariaten Analysen des 1. Projektabschnitts festgestellt, dass die Datensatzgröße für PAK-Metabolite für eine weiterführende multivariate Analyse nicht ausreicht, zumal sich bereits bivariat keine oder nur schwache Assoziationen gezeigt hatten.

Es wurde festgelegt, dass in den multivariaten Analysen des 2. Projektabschnitts die Zielgrößen Quecksilber im Blut und Quecksilber im Urin (Konzentration mit Volumenbezug, für Kreatinin adjustiert, vgl. Barr et al. 2005) betrachtet werden sollen. Eine Kategorisierung der Zielgrößen in "belastet" und "nicht belastet" für logistische Regressionsmodelle könnte zwar mittels der Human-Biomonitoring-(HBM)-Werte für Quecksilber (Kommission "Human-Biomonitoring" des Umweltbundesamtes 1999) erfolgen. Jedoch wurden die HBM-I-Werte für Quecksilber im Blut bzw. im Urin nur von wenigen untersuchten Personen überschritten (vgl. Benemann et al. 2004, S. 106). In einem ersten Schritt sollte daher auch aus Gründen der Vergleichbarkeit mit Benemann et al. (2004) eine lineare Regressionen durchgeführt werden. Die Prädiktoren bzw. möglichen Intermediärfaktoren sollten in der Kategorisierung eingesetzt werden, wie sie in den endgültigen Modellen von Benemann et al. (2004) verwendet wurden.

Auch wenn Benemann et al. (2004) keine wesentlichen Unterschiede bei den Prädiktoren in geschlechtsspezifischen Analysen nachgewiesen hatten, wurde aufgrund der Geschlechtsunterschiede bei sozioökonomischen Faktoren festgelegt, die Analysen nach Geschlecht stratifiziert durchzuführen (vgl. Tabelle 3.1.3 sowie Bolte 2008).

Des Weiteren wurde festgelegt, eine Kategorie 'fehlende Angabe' bei den Variablen zu berücksichtigen, bei denen bei mindestens 3 % der Personen im Gesamtdatensatz die Angaben fehlen. Dies ist bei den Merkmalen berufliche Stellung und Einkommen der Fall.

Wie in Kapitel 2.5 zu den bivariaten Analysen bereits beschrieben, wurden auch alle multivariaten Analysen des 2. Projektabschnitts mit ungewichteten Daten der Quecksilberkonzentrationen in Blut bzw. Urin durchgeführt.

2. Projektabschnitt

5 Einführung: Modellierungsansätze zur Abschätzung des Einflusses sozioökonomischer Faktoren auf gesundheitsbezogene Zielgrößen in der Epidemiologie

Die wesentlichen Grundannahmen für das hier gewählte Vorgehen waren, dass

- (1) sozioökonomische Merkmale distale Ursachen darstellen, deren Effekte durch proximale Faktoren wie z.B. Ernährung oder gesundheitsrelevantes Verhalten vermittelt werden (Bolte & Kohlhuber 2005);
- (2) sozioökonomische Indikatoren (vor allem Bildung, Einkommen und berufliche Stellung als wesentliche Dimensionen) separat betrachtet werden sollten, da sie verschiedene Phänomene messen (Liberatos et al. 1988, Jöckel et al. 1998, Geyer et al. 2006).

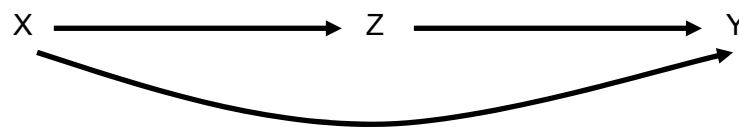
Zur Analyse des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren (distale Ursachen), Intermediärfaktoren (proximale Ursachen) und der korporalen Schadstoffbelastung als Zielgröße wurden drei Modellierungsstrategien gewählt:

- (1) Multiple lineare Regression mit einer schrittweisen, hierarchischen Modellierung zur Unterscheidung von direkten und indirekten Effekten (Kapitel 6);
- (2) Ordinale logistische Regression mit einer schrittweisen, hierarchischen Modellierung zur Unterscheidung von direkten und indirekten Effekten (Kapitel 7);
- (3) Strukturgleichungsmodelle zur Analyse multivariater kausaler Abhängigkeitsbeziehungen und mehrstufiger Kausalstrukturen (Kausalketten) sowie des Einflusses latenter, d.h. nicht beobachtbarer Variablen (Kapitel 8).

Im Gegensatz zur Prädiktion, bei der die Variablenauswahl (überwiegend) auf statistischen Kriterien beruht, besteht die Vorgehensweise zur Abschätzung des Effektes von bestimmten Einflussgrößen (insbesondere sozioökonomischen Faktoren) darin, auch die die Effekte vermittelnden Faktoren einzubeziehen. Hierfür ist ein konzeptioneller Rahmen notwendig, der die hierarchischen Beziehungen zwischen den einzelnen Faktoren beschreibt (Victoria et al. 1997). Eine adäquate Modellierung setzt die

Unterscheidung zwischen distalen und proximalen Faktoren voraus (Weitkunat & Wildner 2002).

Die "causal steps strategy" zur Identifikation von Intermediärfaktoren in einer Kausalkette stammt ursprünglich von Baron & Kenny (1986) (Preacher & Hayes 2007). Die der Modellierung vorausgehende Hypothese der kausalen Beziehungen und die Zerlegung des Gesamteffektes einer Einflussgröße in direkte und indirekte Effekte lässt sich schematisch in einem "directed acyclic graph" (DAG) darstellen (Glymour 2006, Kaufman et al. 2005, Petersen et al. 2006):



mit für die hier untersuchte Fragestellung

X = sozioökonomische Faktoren

Z = Prädiktoren für die korporale Quecksilberbelastung nach Benemann et al. (2004) als potenzielle Intermediärfaktoren

Y = korporale Quecksilberbelastung (im Blut oder im Urin)

Bei der schrittweisen Modellierung wird zuerst der Gesamteffekt eines sozioökonomischen Faktors auf die Zielgröße untersucht, dann der Gesamteffekt der verschiedenen sozioökonomischen Faktoren, jeweils adjustiert für die anderen, und schließlich durch Adjustierung für potenzielle Intermediärfaktoren die Zerlegung des Gesamteffektes in indirekte und noch verbleibende direkte Effekte. Wenn wie in obigem Schema dargestellt Z ein Intermediärfaktor ist, wird durch Adjustierung für Z der Effektschätzer von X bezogen auf Y vermindert. Der verbleibende Effekt von X auf Y wird als direkter Effekt interpretiert bzw. als Effekt, der durch andere Kausalketten vermittelt wird, die nicht durch Z gekennzeichnet sind (Cole & Hernán 2002, Preacher & Hayes 2007, Victoria et al. 1997).

Die "causal steps strategy" wird als Standardmethode angesehen und häufig in der Epidemiologie eingesetzt. Sie setzt voraus, dass kein ungemessenes Confounding sowohl bei den Effekten von X als auch Z auf Y besteht (Cole & Hernán 2002). Ferner

ist zu beachten, dass Ergebnisse verzerrt werden können, wenn eine Wechselwirkung zwischen Einflussgröße und Intermediärfaktor besteht (Kaufman et al. 2004).

Ein aktuelles Beispiel für eine derartige Analyse von Intermediärfaktoren und sozioökonomischen Faktoren als distalen Einflussgrößen ist die Studie von Belsky et al. (2007), in der der vermittelnde Einfluss der Kindererziehung bei dem Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Status und Kindergesundheit abgeschätzt wurde.

Strukturgleichungsmodelle wurden hingegen in der Epidemiologie bisher seltener eingesetzt (Greenland & Brumback 2002). Während die klassische Regressionsanalyse die Abhängigkeiten zwischen direkt messbaren Variablen untersucht, gehen in Strukturgleichungsmodellen beobachtete und latente Variablen ein. Damit wird die Prüfung von Hypothesen zwischen theoretischen Konstrukten als auch zwischen theoretischen Konstrukten und beobachteten Variablen möglich (Pfeifer & Schmidt 1987). Gerade "soziale Lage" bzw. "Sozialstatus" ist als hypothetische, latente Variable anzusehen, die durch mehrere gemessene Variablen dargestellt werden kann (Bollen 1989). Fuentes et al. (2007) setzten beispielsweise Strukturgleichungsmodelle zur Analyse der Bedeutung des sozioökonomischen Status auf Ebene des Wohnviertels und der Ethnie für das Auftreten von chronischen Schmerzen ein. Sie betonen, dass der sozioökonomische Status zu komplex ist, um mit nur einem Indikator wie z.B. Bildung oder Einkommen erfasst zu werden.

6 Multiple linear Regression

Wie in Kapitel 5 bereits beschrieben, war das Ziel der Analyse die Zerlegung des Gesamteffektes sozioökonomischer Faktoren auf die korporale Quecksilberbelastung in direkte und indirekte Effekte.

Mit indirekten Effekten sind hier die Assoziationen zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Quecksilberbelastung gemeint, die durch die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren erklärt werden. Direkte Effekte bedeutet in diesem Analysekontext, dass Assoziationen zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Quecksilberbelastung vorliegen, die nicht durch die bekannten Prädiktoren, sondern durch andere Kausalketten vermittelt werden.

Zuerst wurde inhaltlich geklärt, welche der in Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren als Confounder und welche als Intermediärvariablen betrachtet werden können. Es wurden folgende, aufeinander aufbauende Modelle berechnet:

- (1) alle interessierenden sozioökonomischen Faktoren einzeln im Modell;
- (2) alle sozioökonomischen Faktoren gemeinsam im Modell;
- (3) zusätzliche Adjustierung für mögliche Confounder;
- (4) zusätzlich Adjustierung für mögliche Intermediärfaktoren.

Der Vergleich der Modelle (3) und (4) liefert Aufschluss, ob neben indirekten Effekten über die Intermediärvariablen auch direkte Effekte/durch andere Kausalketten vermittelte Effekte der sozioökonomischen Faktoren auf die Zielgröße vorliegen.

Analog zu Benemann et al. (2004) wurden die lineare Regressionen mit der SAS-Prozedur REG berechnet. Die abhängige Variable war entweder Quecksilber im Blut (logarithmiert) oder Quecksilber im Urin (logarithmiert).

Aus den Parameterschätzern β wurden Means Ratios (MR) berechnet. Das Means Ratio $\exp^{\beta_j}$ beschreibt den multiplikativen Faktor, um den sich die mittlere Konzentration der Zielgröße (im Sinne eines geometrischen Mittels) ändert, wenn sich der j-te Einflussfaktor um einen festgelegten Betrag (ein Einheit) erhöht. Die Means Ratios werden mit 95 % Konfidenzintervallen angegeben.

Die Güte des Modells wird durch das korrigierte R-Quadrat (R^2_{adj}) jeweils mit den entsprechenden Modellen in den Tabellen angegeben. R^2_{adj} ist für die Anzahl der unabhängigen Variablen korrigiert und eignet sich für den Vergleich von Modellen mit unterschiedlicher Variablenzahl.

6.1 Lineare Regression mit Zielgröße Quecksilber im Blut

Datensatz

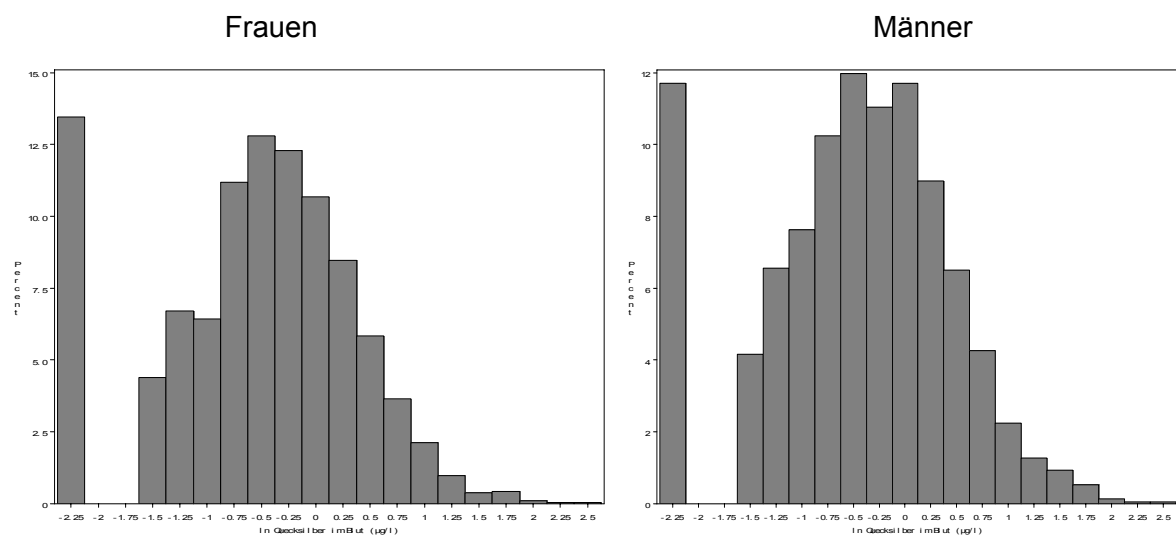
Vom ursprünglichen Datensatz mit Daten zu Quecksilber im Blut (N=4645) wurden die Personen gelöscht, bei welchen die Angaben zu Bildungsindex (N=11) und Berufstätigkeit (N=13) fehlten. Des Weiteren wurden jene Personen nicht berücksichtigt, bei welchen die Angaben zu Fischverzehr, Fischverzehr bis 48 Std. vor Blutentnahme, Anzahl der Zähne mit Amalgam, Kaugummigebrauch falls Amalgam und Weinkonsum fehlten.

Insgesamt reduzierte sich somit der Datensatz der Frauen von 2341 auf 2162 Personen, der Datensatz der Männer von 2304 auf 2136 Personen.

Zielgröße

Sowohl bei Frauen als auch bei Männern war die Verteilung der Zielgröße auch nach Logarithmierung nicht normalverteilt. Dies beruht insbesondere auf der Tatsache, dass bei 573 Personen die Quecksilberkonzentration im Blut unter der Bestimmungsgrenze von $0,2 \mu\text{g/l}$ lag (Abb. 6.1.1). Der p-Wert des Kolmogorov-Smirnov-Test war bei beiden Geschlechtern kleiner 0,01.

Abb. 6.1.1. Histogramm der Quecksilberkonzentration im Blut von Frauen und Männern



Prädiktoren

In den multiplen Regressionsmodellen wurde die Unterscheidung getroffen, ob die in Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren als mögliche Confounder oder als Intermediärfaktoren in Betracht kommen. Zuerst wurde das Modell mit den möglichen Confoundern berechnet, anschließend wurden die möglichen intermediären Variablen in das Modell aufgenommen.

Die Auswahl der Confounder bzw. Intermediärvariablen erfolgte an Hand der Prädiktoren, die im Gesamtmodell berücksichtigt wurden (Benemann et al. 2004, S. 83 folgende). Die Prädiktoren "Personenzahl im Haushalt" und "soziale Schicht" wurden in den multiplen Regressionsmodellen nicht als eigene Variablen berücksichtigt, da diese Merkmale bereits in die Definition der sozioökonomischen Faktoren eingingen.

Die Merkmale Alter und Region (alte und neue Bundesländer) waren nicht in dem Gesamtmodell von Benemann et al. (2004) enthalten. In der vorliegenden Analyse wurden ergänzend Modelle mit der Variablen Alter und stratifizierte Modelle für Ost und West gerechnet. Da es keine fehlenden Angaben bei diesen beiden Merkmalen gab, änderte sich der Stichprobenumfang bei diesen zusätzlichen Berechnungen nicht.

Sowohl Confounder als auch Intermediärvariablen wurden entsprechend Benemann et al. (2004) im Modell codiert (Liste potenzieller Prädiktoren, S. 187 folgende; Tab. 6.1.1).

Es wurde, soweit vorhanden, die Definition gewählt, die mit einem * in der potenziellen Prädiktorenliste von Benemann et al. (2004) gekennzeichnet wurde. Bei der Angabe "Tage / Woche" wurde davon ausgegangen, dass die Angaben analog zu den 7 Ausprägungen im Fragebogen gesehen wurden. Die deskriptive Statistik der Prädiktoren ist in Tabelle 6.1.2 dargestellt.

Tab. 6.1.1. Prädiktoren für die Zielgröße Quecksilber im Blut

Variablen- name	Bedeutung	Codierung	Nr. in Benemann et al. (2004) (S. 187ff)
GGROESSE	Gemeindegröße in Klassen (Dummykodierung)	1=0-1999 Einwohner 2=2000-4999 Einwohner 3=5000-19999 Einwohner 4=20000-99999 Einwohner 5≥100000 (=Referenz)	4
FISCHLN	Fischverzehr (Tage/Woche), Logarithmus	-3; -2,3; -0,69; 0; 1,1; 1,79; 1,95	56
FISCHBLUT	Fischverzehr bis zu 48 Std. vor Blutprobe (Fisch oder Meeres- tiere)	0=nein 1=ja	63
AMALGAM	Anzahl Zähne mit Amalgamfüllung	stetig	125
KAUGAM	Kaugummikonsum (Tage/Woche), falls Amalgam	0,05 Tage; 0,1 Tage; 0,5 Tage; 1 Tag; 3 Tage; 6 Tage; 7 Tage	150
WEIN	Wein (Tage/Woche)	0,05 Tage; 0,1 Tage; 0,5 Tage; 1 Tag; 3 Tage; 6 Tage; 7 Tage	202
ALTERKAT	Alter in Gruppen (Dummykodierung)	1=18-25 Jahre (=Referenz) 2=26-35 Jahre 3=36-45 Jahre 4=46-55 Jahre 5=56-65 Jahre 6=66-69 Jahre	1
SEX	Geschlecht	1=männlich 2=weiblich	5
OW	Bundesländer	1=Ost 2=West	6

Alter, Geschlecht und Region (Ost-West) sind keine Prädiktoren nach Benemann et al. (2004) und wurden für die Stratifizierung (Geschlecht) bzw. nur für zusätzliche Analysen eingesetzt.

Tab. 6.1.2. Deskriptive Statistik der Prädiktoren nach Geschlecht

		Frauen		Männer	
		N bzw. Median	% bzw. Q1-Q3	N bzw. Median	% bzw. Q1-Q3
Gemeindegröße (Einwohnerzahl)	0-1999	227	10,5	194	9,1
	2000-4999	223	10,8	274	12,8
	5000-19999	453	21,0	472	22,1
	20000-99999	604	27,9	559	26,2
	≥100000	645	29,8	637	29,8
Fischverzehr vor Blutabnahme	Nein	1803	83,4	1756	82,2
	Ja	359	16,6	380	17,8
Fischverzehr- häufigkeit, logarithmiert	(ordinal)	-0,69	-2,3 - 0,00	0,00	-0,69 – 0,00
Anzahl Zähne mit Amalgam	(ordinal)	3	0,0 – 6,0	3	0,0 – 6,0
Kaugummihäufigkeit falls Amalgam	(ordinal)	0,05	0,05 – 0,50	0,05	0,05 – 0,10
Weinkonsum- häufigkeit	(ordinal)	0,10	0,05 – 1,00	0,10	0,05 – 1,00

Zur Überprüfung der Assoziationen der Prädiktoren mit den sozioökonomischen Faktoren wurde bei den Prädiktoren Gemeindegröße und Fischverzehr vor Blutabnahme der Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Bei den Prädiktoren Fischverzehrhäufigkeit, Anzahl der Amalgamzähne, Häufigkeit des Kaugummiverzehrs bei Amalgam und Häufigkeit von Weinkonsum wurde die Assoziation mit den sozioökonomischen Faktoren mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests bzw. Kruskal-Wallis-Tests überprüft. Der sozioökonomischen Faktor "Migrationshintergrund" ist nicht aufgeführt, da keine Assoziation mit dem Quecksilbergehalt im Blut gefunden wurde und somit diese Variable nicht bei den multiplen Regressionen berücksichtigt wurde.

Der Fischverzehr vor Blutabnahme war eher schwach mit den sozioökonomischen Faktoren assoziiert, dagegen waren insbesondere die Anzahl der Zähne mit Amalgam und die Weinkonsumhäufigkeit bei beiden Geschlechtern stark mit den sozioökonomischen Faktoren assoziiert (Tab. 6.1.3).

Tab. 6.1.3. Assoziation der Prädiktoren mit den sozioökonomischen Faktoren nach Geschlecht

	Gemeindegröße	Fischverzehr vor Blutabnahme	Fischverzehr-häufigkeit	Anzahl Zähne mit Amalgam	Kaugummi-häufigkeit falls Amalgam	Wein-konsum-häufigkeit
Bildungsindex						
Frauen	***	ns	*	***	***	***
Männer	***	***	***	***	***	***
Äquivalenzhaushaltsnettoeinkommen						
Frauen	***	*	ns	***	**	***
Männer	*	*	*	***	*	***
Relative Einkommensarmut						
Frauen	***	*	*	***	**	***
Männer	*	*	*	***	*	***
Berufstätigkeit						
Frauen	*	ns	***	***	***	***
Männer	ns	ns	***	***	***	**
Berufliche Stellung						
Frauen	***	ns	*	**	ns	***
Männer	***	**	***	*	**	***

***: <0,0001; **: <0,001; *: <0,05; ns: nicht signifikant

Alle Prädiktoren waren in bivariaten Analysen sowohl bei Frauen als auch bei Männern stark mit dem Quecksilbergehalt im Blut assoziiert ($p \leq 0,0021$). Aufgrund dieser bivariaten Assoziationen mit den distalen Einflussgrößen einerseits und der Zielgrößen andererseits kann generell die Gemeindegröße (inhaltlich begründet) als Confounder und können die restlichen Prädiktoren als Intermediärfaktoren angesehen werden.

6.1.1 Ergebnisse der linearen Regressionsmodelle

Die Ergebnisse der linearen Regressionsmodelle sind in den Tabellen 6.1.1.1 und 6.1.1.2 für Frauen und Männer dargestellt.

Wurden die sozioökonomischen Faktoren einzeln ins Modell genommen, so zeigte sich beim Faktor Bildungsindex bei Frauen und bei Männern ein Trend zu niedrigeren Quecksilberkonzentrationen im Blut bei abnehmendem Index. Ebenso verhielt sich der Trend beim Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen (geringere Quecksilberwerte im Blut bei geringerem Einkommen) und bei der beruflichen Stellung (niedrigere Werte bei den niedrigeren Stellungen). Im Vergleich zur Referenz waren diese Unterschiede jeweils bei Frauen und Männern signifikant (vgl. 1. Spalte in den Tab. 6.1.1.1 und 6.1.1.2). Auch bei der relativen Einkommensarmut zeigten sich bei beiden Geschlechtern ent-

sprechende signifikante Unterschiede. Bei beiden Geschlechtern war die Quecksilberkonzentration in der Kategorie "Berufstätigkeit ($\geq 15\text{h/Wo}$)" am höchsten. Bei Männern war insbesondere die Ausprägung "Ausbildung" im Vergleich zu "berufstätig ($\geq 15\text{h/Wo}$)" auffallend. Beim Faktor Migrationshintergrund konnte weder bei Frauen noch bei Männern ein signifikanter Unterschied der Ausprägungen "Deutsche und nicht in Deutschland geboren" und "nicht Deutsche" zu "Deutsche und in Deutschland geboren" nachgewiesen werden. Daher wurde dieser Faktor in den folgenden Regressionen nicht weiter berücksichtigt.

Im Folgenden wurden die Faktoren Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit und berufliche Stellung gemeinsam im Modell untersucht (vgl. 2. Spalte in den Tab. 6.1.1.1 und 6.1.1.2). Wurden die sozioökonomischen Faktoren gemeinsam in das Modell aufgenommen, blieb der Trend bei den Faktoren Bildungsindex und berufliche Stellung bei Frauen und Männern abgeschwächt bestehen. Während bei Frauen das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen weiterhin signifikant mit der Quecksilberkonzentration im Blut assoziiert war, wurde die Assoziation bei Männern durch die Adjustierung mit den anderen sozioökonomischen Faktoren weitgehend aufgehoben. Bei dem Merkmal Berufstätigkeit gab es keine Unterschiede bei Frauen, wohingegen bei Männern die Kategorie Ausbildung mit niedrigeren Quecksilberkonzentrationen verbunden war.

Die weitere Adjustierung für Gemeindegröße als Confounder änderte die Parameterschätzer nicht (vgl. 3. Spalte in den Tab. 6.1.1.1 und 6.1.1.2).

Wurden zudem die potenziellen Intermediärfaktoren aufgenommen (vgl. 4. Spalte in den Tab. 6.1.1.1 und 6.1.1.2), blieb der Trend beim Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen bei den Frauen deutlich erkennbar, Frauen mit einem niedrigen Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen hatten signifikant geringere Quecksilberkonzentrationen im Blut. Alle anderen sozioökonomischen Faktoren waren nicht mehr signifikant mit der Zielgröße assoziiert. Bei Männern hingegen wurde die Assoziation zwischen dem Bildungsindex, der Berufstätigkeit (Ausprägung Ausbildung) und der beruflichen Stellung nicht durch die Adjustierung mit potenziellen Intermediärfaktoren aufgehoben, sondern nur abgeschwächt.

Die Prädiktoren (Confounder und Intermediärvariablen) waren ebenso wie bei den Analysen von Benemann et al. (2004) sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern hoch signifikant im Regressionsmodell (Daten nicht gezeigt).

Wenn statt der Variable Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen die Variable relative Einkommensarmut betrachtet wurde, bestand ein signifikanter Unterschied zwischen Personen mit relativer Einkommensarmut versus Personen ohne relative Einkommensarmut in allen Modellen nur bei den Frauen (Modell mit allen sozioökonomischen Faktoren gemeinsam: $MR=0,78$, 95 % $KI=0,71-0,85$; Modell mit allen sozioökonomischen Faktoren und der Gemeindegröße: $MR=0,78$, 95 % $KI=0,71-0,86$; Modell mit allen sozioökonomischen Faktoren, der Gemeindegröße und den Intermediärvariablen: $MR=0,82$, 95 % $KI=0,75-0,89$).

In einem weiteren Schritt wurde das Merkmal Alter im Modell hinzugenommen. Bei den Frauen änderten sich die Effektschätzer kaum. Bei den Männern war der einzige deutliche Unterschied zu den Regressionsmodellen ohne Alter, dass die Ausprägung "Ausbildung" nicht mehr von der Ausprägung "Berufstätigkeit ($\geq 15h/Wo$)" signifikant verschieden war.

Des Weiteren wurden die Analysen getrennt für Ost- und Westdeutschland durchgeführt. Problematisch war bei diesen stratifizierten Analysen die sehr geringe Stichprobengröße im Osten (Frauen: $N=430$, Männer: $N=436$).

Bei Frauen aus Ostdeutschland bestand im vollständigen Modell keine Assoziation mit dem Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen (Q1: $MR=0,83$, 95 % $KI\ 0,64-1,08$) im Gegensatz zu den Frauen aus Westdeutschland (Q1: $MR=0,69$, 95 % $KI\ 0,60-0,80$). Bei Männern war eine hohe berufliche Stellung mit einem höheren Quecksilbergehalt im Blut nur in Westdeutschland assoziiert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden,

- dass die hier untersuchten sozioökonomischen Merkmale teilweise unabhängig voneinander mit der Quecksilberkonzentration im Blut assoziiert waren,
- dass Geschlechtsunterschiede in der Bedeutung/Assoziationsstärke einzelner sozioökonomischer Faktoren bestanden,

- dass bei Frauen noch direkte Effekte des Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen bzw. der relativen Armut und bei Männern des Bildungsindex, der Berufstätigkeit und der beruflichen Stellung bestanden, die nicht über die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren als potenzielle Intermediärfaktoren erklärt werden konnten.

Tab. 6.1.1.1. Lineare Regressionsmodelle zu sozioökonomischen Faktoren (SES-Faktoren) und Quecksilber im Blut bei Frauen

	SES-Faktoren einzeln		SES-Faktoren gemeinsam* ¹		SES-Faktoren gemeinsam* ¹ & Gemeindegröße		SES-Faktoren gemein- sam* ¹ & Gemeindegröße & Intermediärfaktoren	
	MR	95% KI	MR	95% KI	MR	95% KI	MR	95% KI
Bildungsindex								
Sehr hoch	1,00		1,00		1,00		1,00	
Hoch	0,96	0,83 - 1,12	1,11	0,94 - 1,29	1,12	0,96 - 1,31	1,13	0,98 - 1,31
Mittel	0,77	0,67 - 0,88	0,88	0,76 - 1,01	0,90	0,78 - 1,04	0,94	0,82 - 1,08
Niedrig	0,67	0,59 - 0,76	0,83	0,71 - 0,96	0,85	0,73 - 0,98	0,95	0,82 - 1,09
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen								
Q4	1,00		1,00		1,00		1,00	
Q3	0,73	0,65 - 0,83	0,78	0,70 - 0,88	0,79	0,70 - 0,89	0,79	0,71 - 0,89
Q2	0,67	0,59 - 0,75	0,73	0,65 - 0,83	0,73	0,65 - 0,83	0,74	0,66 - 0,83
Q1	0,60	0,53 - 0,68	0,68	0,60 - 0,77	0,69	0,60 - 0,78	0,71	0,63 - 0,80
k.A.	0,67	0,59 - 0,76	0,77	0,68 - 0,88	0,78	0,69 - 0,89	0,80	0,71 - 0,91
Relative Einkommensarmut								
Nein	1,00							
Ja	0,72	0,66 - 0,79						
k.A.	0,80	0,72 - 0,89						
Berufstätigkeit								
Arbeitslos	0,86	0,73 - 1,02	1,02	0,86 - 1,21	1,01	0,85 - 1,20	1,02	0,87 - 1,20
Ausbildung	0,80	0,69 - 0,93	0,87	0,74 - 1,02	0,87	0,74 - 1,03	0,96	0,82 - 1,12
Rente	0,80	0,70 - 0,90	0,93	0,82 - 1,06	0,93	0,82 - 1,06	0,99	0,88 - 1,12
Berufstätig (≥15h/Wo)	1,00		1,00		1,00		1,00	
Berufstätig (<15h/Wo)	0,90	0,82 - 0,99	1,03	0,93 - 1,13	1,03	0,94 - 1,14	1,04	0,95 - 1,14
Berufliche Stellung								
Hohe	1,00		1,00		1,00		1,00	
Obere mittlere	0,89	0,77 - 1,04	0,98	0,84 - 1,15	0,99	0,84 - 1,15	1,03	0,89 - 1,19
Mittlere	0,75	0,63 - 0,91	0,93	0,76 - 1,13	0,93	0,76 - 1,13	0,99	0,82 - 1,19
Unterer mittlere	0,69	0,59 - 0,80	0,88	0,75 - 1,04	0,88	0,75 - 1,04	0,97	0,83 - 1,14
Niedrige	0,61	0,51 - 0,74	0,80	0,65 - 0,99	0,81	0,66 - 1,00	0,87	0,72 - 1,06
k.A.	0,71	0,56 - 0,90	0,86	0,67 - 1,11	0,87	0,68 - 1,12	0,96	0,76 - 1,21
Migration								
Deutsche & nicht in Dtl. geboren	0,91	0,78 - 1,07						
Nicht deutsche	0,94	0,78 - 1,15						
Deutsche & in Dtl. geboren	1,00							
			$R^2_{\text{adj}} = 0,05$		$R^2_{\text{adj}} = 0,06$		$R^2_{\text{adj}} = 0,19$	

k.A. = keine Angabe; Q1 = 1. Quartil; SES-Faktoren *¹: Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung

Tab. 6.1.1.2. Lineare Regressionsmodelle zu sozioökonomischen Faktoren (SES-Faktoren) und Quecksilber im Blut bei Männern

	SES-Faktoren einzeln		SES-Faktoren gemeinsam * ¹		SES-Faktoren gemeinsam * ¹ & Gemeindegröße		SES-Faktoren gemein- sam* ¹ & Gemeindegröße & Intermediärfaktoren	
	MR	95% KI	MR	95% KI	MR	95% KI	MR	95% KI
Bildungsindex								
Sehr hoch	1,00		1,00		1,00		1,00	
Hoch	0,81	0,71 – 0,92	0,96	0,83 – 1,10	0,96	0,84 – 1,10	0,98	0,86 – 1,12
Mittel	0,77	0,68 – 0,86	0,89	0,77 – 1,01	0,89	0,77 – 1,02	0,93	0,82 – 1,05
Niedrig	0,60	0,54 – 0,67	0,75	0,65 – 0,86	0,75	0,66 – 0,86	0,85	0,75 – 0,96
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen								
Q4	1,00		1,00		1,00		1,00	
Q3	0,82	0,74 – 0,92	0,90	0,80 – 1,00	0,90	0,80 – 1,01	0,87	0,78 – 0,97
Q2	0,75	0,66 – 0,84	0,87	0,77 – 0,99	0,88	0,78 – 1,00	0,87	0,78 – 0,98
Q1	0,71	0,63 – 0,80	0,91	0,80 – 1,04	0,92	0,81 – 1,05	0,91	0,80 – 1,02
k.A.	0,69	0,60 – 0,78	0,83	0,73 – 0,95	0,84	0,73 – 0,96	0,86	0,76 – 0,98
Relative Einkommensarmut								
Nein	1,00							
Ja	0,78	0,71 – 0,85						
k.A.	0,77	0,68 – 0,86						
Berufstätigkeit								
Arbeitslos	0,81	0,68 – 0,95	0,87	0,74 – 1,03	0,86	0,72 – 1,02	0,92	0,78 – 1,08
Ausbildung	0,69	0,59 – 0,79	0,80	0,68 – 0,95	0,79	0,67 – 0,94	0,83	0,71 – 0,97
Rente	0,94	0,84 – 1,06	1,04	0,93 – 1,17	1,04	0,93 – 1,16	1,02	0,91 – 1,13
Berufstätig (≥15h/Wo)	1,00		1,00		1,00		1,00	
Berufstätig (<15h/Wo)	0,76	0,56 – 1,02	0,80	0,59 – 1,07	0,79	0,59 – 1,06	0,81	0,61 – 1,06
Berufliche Stellung								
Hohe	1,00		1,00		1,00		1,00	
Obere mittlere	0,77	0,68 – 0,87	0,84	0,74 – 0,95	0,84	0,74 – 0,95	0,88	0,78 – 0,99
Mittlere	0,65	0,58 – 0,73	0,78	0,68 – 0,90	0,79	0,69 – 0,90	0,83	0,73 – 0,94
Unterer mittlere	0,58	0,51 – 0,65	0,75	0,64 – 0,88	0,75	0,64 – 0,87	0,82	0,71 – 0,94
Niedrige	0,59	0,48 – 0,74	0,76	0,60 – 0,96	0,75	0,59 – 0,95	0,91	0,73 – 1,14
k.A.	0,87	0,66 – 1,15	1,08	0,80 – 1,44	1,09	0,81 – 1,45	1,11	0,84 – 1,45
Migration								
Deutsche & nicht in Dtl. geboren	0,92	0,78 – 1,08						
Nicht deutsche	0,95	0,79 – 1,14						
Deutsche & in Dtl. geboren	1,00							
				$R^2_{adj} = 0,06$			$R^2_{adj} = 0,07$	$R^2_{adj} = 0,19$

k.A. = keine Angabe; Q1 = 1. Quartil; SES-Faktoren *¹: Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung

6.2 Lineare Regression mit Zielgröße Quecksilber im Urin

Datensatz

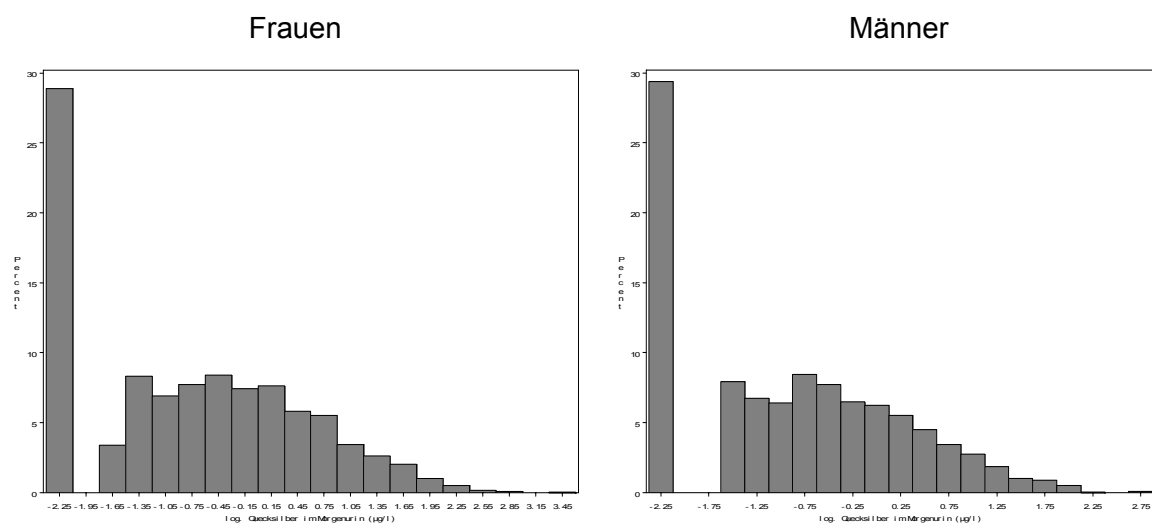
Vom ursprünglichen Datensatz mit Daten zum Quecksilber im Urin (N=4741) wurden die Personen gelöscht, bei welchen die Angaben zu Bildungsindex (N=11) und Berufstätigkeit (N=13) fehlten. Des Weiteren wurden jene Personen nicht berücksichtigt, bei welchen die Angaben zu Fischverzehr vor Urinprobe, Anzahl der Zähne mit Amalgam, Alter der Amalgamfüllung, Kaugummigebrauch falls Amalgam, Zahnarztbesuch und Kreatinin im Urin fehlten.

Insgesamt reduzierte sich somit der Datensatz der Frauen von 2394 auf 2206 Personen, der Datensatz der Männer von 2347 auf 2153 Personen.

Zielgröße

Sowohl bei Frauen als auch bei Männern war die Verteilung der Zielgröße auch nach Logarithmierung nicht normalverteilt. Dies beruht insbesondere auf der Tatsache, dass bei 1375 Personen die Quecksilberkonzentration im Urin unter der Bestimmungsgrenze von 0,2 µg/l lag (Abb. 6.2.1). Der p-Wert des Kolmogorov-Smirnov-Test war bei beiden Geschlechtern kleiner 0,01.

Abb. 6.2.1. Histogramm der Quecksilberkonzentration im Urin von Frauen und Männern



Prädiktoren

In den multiplen Regressionsmodellen wurde die Unterscheidung getroffen, ob die in Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren als mögliche Confounder oder als Intermediärfaktoren in Betracht kommen. Zuerst wurde das Modell mit den möglichen Confoundern berechnet, anschließend wurden die möglichen intermediären Variablen in das Modell aufgenommen.

Die Auswahl der Confounder bzw. Intermediärvariablen erfolgte an Hand der Prädiktoren, die im Gesamtmodell berücksichtigt wurden (Benemann et al. 2004, S. 91 folgende). Der Prädiktor "soziale Schicht" entfiel aufgrund der Fragestellung.

Sowohl Confounder als auch Intermediärvariablen wurden entsprechend Benemann et al. (2004) im Modell codiert (Liste potenzieller Prädiktoren, S. 187 folgende; Tab. 6.2.1).

Es wurde, soweit vorhanden, die Definition gewählt, die mit einem * in der potenziellen Prädiktorenliste von Benemann et al. (2004) gekennzeichnet wurde. Bei der Angabe "Tage / Woche" wurde davon ausgegangen, dass die Angaben analog zu den 7 Ausprägungen im Fragebogen gesehen wurden. Die deskriptive Statistik der Prädiktoren ist in Tabelle 6.2.2 dargestellt.

Kreatinin im Morgenurin (g/l) wurde stets logarithmiert in allen Modellen berücksichtigt.

Tab. 6.2.1. Prädiktoren für die Zielgröße Quecksilber im Urin

Variablen- name	Bedeutung	Codierung	Nr. in Benemann et al. (2004) (S. 187ff)
ALTERKAT	Alter in Gruppen (Dummykodierung)	1=18-25 Jahre (=Referenz) 2=26-35 Jahre 3=36-45 Jahre 4=46-55 Jahre 5=56-65 Jahre 6=66-69 Jahre	1
SEX	Geschlecht	1=männlich (=Referenz) 2=weiblich	5
LNKREA	Kreatinin im Morgenurin (g/l), Logarithmus	stetig	43
FISCHURIN	Fischverzehr in den 48 Std. vor Urinprobe (Fisch oder Meerestiere)	0=nein 1=ja	64
AMALGAM	Anzahl Zähne mit Amalgamfüllung	stetig	125
AMALALTER	Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung	stetig	131
ZAHNARZT	Zahnarztbesuch in letzten 12 Monaten	0=nein 1=ja	154
KAUGAM	Kaugummikonsum (Tage/Woche), falls Amalgam	0,05 Tage; 0,1 Tage; 0,5 Tage; 1 Tag; 3 Tage; 6 Tage; 7 Tage	150

Tab. 6.2.2. Deskriptive Statistik der Prädiktoren nach Geschlecht

		Frauen		Männer	
		N bzw. Median	% bzw. Q1-Q3	N bzw. Median	% bzw. Q1-Q3
Alter	18-25 Jahre	254	11,5	279	13,0
	26-35 Jahre	510	23,1	457	21,2
	36-45 Jahre	493	22,4	488	22,7
	46-55 Jahre	422	19,1	401	18,6
	56-65 Jahre	433	19,6	425	19,7
	66-69 Jahre	94	4,3	103	4,8
Fischverzehr vor Urinprobe	Nein	1834	83,1	1777	82,5
	Ja	372	16,9	376	17,5
Anzahl Zähne mit Amalgam	(ordinal)	3,0	0,0 – 6,0	3,0	0,0 – 6,0
Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung	(ordinal)	0,008	0,0 – 0,03	0,013	0,0 – 0,04
Kaugummihäufig- keit falls Amalgam	(ordinal)	0,05	0,05 – 0,50	0,05	0,05-0,10
Zahnarztbesuch	Nein	398	18,0	532	24,7
	Ja	1808	82,0	1621	75,3

Zur Überprüfung der Assoziationen der Prädiktoren mit den sozioökonomischen Faktoren wurde bei den Prädiktoren Alter, Fischverzehr vor Urinprobe und Zahnarztbesuch der Chi-Quadrat-Test durchgeführt. Bei den Prädiktoren Anzahl der Amalgamzähne, Häufigkeit des Kaugummiverzehrs bei Amalgam und Alter der letzten Amalgamfüllung wurde die Assoziation mit den sozioökonomischen Faktoren mit Hilfe des Mann-Whitney-U-Tests bzw. Kruskal-Wallis-Tests überprüft.

Der Fischverzehr vor Urinprobe war eher schwach mit den sozioökonomischen Faktoren assoziiert, dagegen waren insbesondere das Alter und die Anzahl der Zähne mit Amalgam bei beiden Geschlechtern stark mit den sozioökonomischen Faktoren assoziiert. Migrationshintergrund und berufliche Stellung zeigten von allen sozioökonomischen Faktoren die geringste Assoziation zu den Prädiktoren (Tab. 6.2.3).

Tab. 6.2.3. Assoziation der Prädiktoren mit den sozioökonomischen Faktoren nach Geschlecht

	Alter	Fischver- zehr vor Urinprobe	Anzahl Zähne mit Amalgam	Alter der letzten Amalgam- füllung	Kaugummi häufigkeit falls Amalgam	Zahnarzt- besuch
Bildungsindex						
Frauen	***	ns	***	***	***	***
Männer	***	***	***	***	***	*
Äquivalenzhaushaltsnettoeinkommen						
Frauen	***	ns	***	*	**	***
Männer	***	*	***	***	*	ns
Relative Einkommensarmut						
Frauen	***	*	***	**	**	***
Männer	***	*	***	**	*	ns
Berufstätigkeit						
Frauen	***	ns	***	***	***	***
Männer	***	ns	***	***	***	ns
Berufliche Stellung						
Frauen	***	ns	***	ns	ns	***
Männer	***	**	ns	ns	**	ns
Migrationshintergrund						
Frauen	***	ns	ns	ns	*	*
Männer	*	ns	*	ns	ns	*

***: <0,0001; **: <0,001; *: <0,05; ns: nicht signifikant

Alle Prädiktoren waren in bivariaten Analysen stark mit dem Quecksilbergehalt im Urin assoziiert ($p < 0,0001$). Aufgrund dieser bivariaten Assoziationen mit den distalen Einflussgrößen einerseits und der Zielgrößen andererseits kann generell das Alter (inhaltlich begründet) als Confounder und können die restlichen Prädiktoren (mit Einschränkung beim Fischverzehr vor Urinprobe) als Intermediärfaktoren angesehen werden.

6.2.1 Ergebnisse der linearen Regressionsmodelle

Die Ergebnisse der linearen Regressionsmodelle sind in den Tabellen 6.2.1.1 und 6.2.1.2 für Frauen und Männer dargestellt.

Wurden die sozioökonomischen Faktoren einzeln ins Modell genommen, so zeigte sich beim Faktor berufliche Stellung bei Frauen und bei Männern ein Trend zu niedrigeren Quecksilberkonzentrationen im Urin bei niedriger Stellung (vgl. 1. Spalte in den Tab. 6.2.1.1 und 6.2.1.2).

Beim Bildungsindex war nur die Ausprägung "niedriger Index" gegenüber der Referenz "hoher Index" bei beiden Geschlechtern signifikant. Beim Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und der relativen Einkommensarmut bestand ein signifikanter Unterschied nur bei Frauen bei der Ausprägung "keine Angabe". Mehrere Ausprägungen des Merkmals Berufstätigkeit waren bei beiden Geschlechtern mit einer niedrigeren Quecksilberkonzentration im Urin im Vergleich zur Referenzkategorie "Berufstätigkeit ($\geq 15\text{h/Wo}$)" assoziiert.

Beim Faktor Migrationshintergrund wurde bei Frauen ein signifikanter Unterschied der Ausprägung "Deutsche und nicht in Deutschland geboren" versus "Deutsche und in Deutschland geboren" nachgewiesen. Daher wurde dieser Faktor in den weiteren Analysen berücksichtigt.

Im Folgenden wurden die Faktoren Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung sowie Migrationshintergrund gemeinsam im Modell untersucht (vgl. 2. Spalte in den Tab. 6.2.1.1 und 6.2.1.2). Wurden die sozioökonomischen Faktoren gemeinsam in das Modell aufgenommen, ist bei Frauen und Männern kein Trend mehr bei beruflicher Stellung zu beobachten. Beim Bildungsindex blieb die Ausprägung "niedriger Index" gegenüber der Referenz "hoher Index" bei beiden Geschlechtern signifikant. Auch bei der Berufstätigkeit waren die Quecksilberwerte bei beiden Geschlechtern bei den meisten Ausprägungen versus der Referenz "Berufstätigkeit ($\geq 15\text{h/Wo}$)" signifikant verschieden. Weder beim Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen noch beim Migrationshintergrund bestand eine Assoziation.

Die weitere Adjustierung für Alter als Confounder schwächte das Means Ratio für niedrigen Bildungsindex bei Frauen ab, so dass signifikante Assoziationen nur noch bei Berufstätigkeit bestanden (vgl. 3. Spalte in den Tab. 6.2.1.1 und 6.2.1.2). Die Assoziationen von Bildungsindex und Berufstätigkeit mit der Quecksilberkonzentration im Urin blieben bei Männern bestehen. Hinzu kam eine Assoziation einer mittleren beruflichen Stellung mit niedrigen Quecksilberwerten.

Wurden zudem die potenziellen Intermediärfaktoren aufgenommen (vgl. 4. Spalte in den Tab. 6.2.1.1 und 6.2.1.2), blieb eine signifikante Assoziation eines niedrigen Bildungsindex mit niedrigen Quecksilberkonzentrationen im Urin bei Männern und der

Ausbildung bei Frauen bestehen. Hinzu kam bei Männern eine positive Assoziation einer nichtdeutschen Staatsangehörigkeit.

Bei Männern waren die Prädiktoren (Confounder und Intermediärvariablen) ebenso wie bei den Analysen von Benemann et al. (2004) signifikant im Modell. Bei Frauen waren die möglichen Intermediärfaktoren "Alter der Amalgamfüllung" und "Zahnarztbesuch" nicht mehr signifikant (Daten nicht gezeigt).

Wenn statt der Variable Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen die Variable relative Einkommensarmut betrachtet wurde, konnten keine signifikanten Assoziationen festgestellt werden.

Zusammenfassend kann festgestellt werden,

- dass die hier untersuchten sozioökonomischen Merkmale teilweise unabhängig voneinander mit der Quecksilberkonzentration im Urin assoziiert waren,
- im Vergleich zu der Zielgröße Quecksilber im Blut geringere Geschlechtsunterschiede in der Bedeutung/Assoziationsstärke einzelner sozioökonomischer Faktoren bestanden,
- dass bei Frauen noch direkte Effekte der Berufstätigkeit (Ausbildung) und bei Männern des Bildungsindex und des Migrationshintergrunds bestanden, die nicht über die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren als potenzielle Intermediärfaktoren erklärt werden konnten.

Insgesamt waren die Assoziationen der sozioökonomischen Faktoren mit Quecksilber im Urin schwächer ausgeprägt als die mit Quecksilber im Blut. Aufgrund dessen wurde auf eine weitere Analyse stratifiziert nach Ost- und Westdeutschland verzichtet.

Tab. 6.2.1.1. Lineare Regressionsmodelle zu sozioökonomischen Faktoren (SES-Faktoren) und Quecksilber im Urin bei Frauen

	SES-Faktoren einzeln		SES-Faktoren gemeinsam * ¹		SES-Faktoren gemeinsam * ¹ & Alter		SES-Faktoren gemeinsam* ¹ & Alter & Intermediärfaktoren	
	MR	95% KI	MR	95% KI	MR	95% KI	MR	95% KI
Bildungsindex								
Sehr hoch	1,00		1,00		1,00		1,00	
Hoch	1,17	0,99 – 1,39	1,21	1,01 – 1,44	1,15	0,97 – 1,38	1,10	0,95 – 1,27
Mittel	1,10	0,95 – 1,29	1,15	0,97 – 1,36	1,14	0,97 – 1,34	1,06	0,93 – 1,21
Niedrig	0,68	0,59 – 0,79	0,79	0,67 – 0,93	0,88	0,74 – 1,04	0,91	0,79 – 1,04
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen								
Q4	1,00		1,00		1,00		1,00	
Q3	0,87	0,76 – 1,00	0,98	0,86 – 1,13	0,94	0,82 – 1,08	0,88	0,79 – 0,99
Q2	0,98	0,85 – 1,13	1,15	0,99 – 1,33	1,04	0,90 – 1,20	0,93	0,82 – 1,04
Q1	0,86	0,75 – 1,00	1,06	0,91 – 1,23	0,96	0,83 – 1,11	0,89	0,79 – 1,01
k.A.	0,77	0,67 – 0,88	0,97	0,84 – 1,13	0,94	0,82 – 1,09	0,96	0,85 – 1,08
Relative Einkommensarmut								
Nein	1,00							
Ja	0,94	0,85 – 1,05						
k.A.	0,81	0,72 – 0,91						
Berufstätigkeit								
Arbeitslos	0,69	0,57 – 0,83	0,71	0,58 – 0,86	0,77	0,64 – 0,93	0,90	0,77 – 1,06
Ausbildung	0,82	0,69 – 0,98	0,86	0,71 – 1,04	0,70	0,56 – 0,87	0,81	0,68 – 0,97
Rente	0,52	0,45 – 0,61	0,63	0,54 – 0,73	0,90	0,75 – 1,07	1,03	0,89 – 1,20
Berufstätig (≥15h/Wo)	1,00		1,00		1,00		1,00	
Berufstätig (<15h/Wo)	0,82	0,73 – 0,91	0,89	0,80 – 1,00	0,97	0,87 – 1,09	1,02	0,93 – 1,13
Berufliche Stellung								
Hohe	1,00		1,00		1,00		1,00	
Obere mittlere	1,05	0,88 – 1,25	1,06	0,88 – 1,26	1,03	0,86 – 1,23	1,05	0,91 – 1,21
Mittlere	0,83	0,66 – 1,03	0,93	0,74 – 1,16	0,90	0,72 – 1,13	0,90	0,75 – 1,08
Unterer mittlere	0,81	0,68 – 0,96	0,95	0,78 – 1,15	0,93	0,77 – 1,12	0,99	0,85 – 1,16
Niedrige	0,67	0,54 – 0,84	0,87	0,68 – 1,10	0,89	0,71 – 1,13	0,90	0,74 – 1,09
k.A.	0,77	0,59 – 1,02	0,92	0,69 – 1,22	0,93	0,70 – 1,24	0,93	0,73 – 1,17
Migration								
deutsche & nicht in Dt geboren	0,81	0,68 – 0,97	0,85	0,71 – 1,01	0,91	0,76 – 1,08	0,92	0,80 – 1,06
nicht deutsche	1,23	0,97 – 1,54	1,24	0,99 – 1,56	1,13	0,91 – 1,42	1,17	0,97 – 1,41
deutsche & in Dt geboren	1,00		1,00		1,00		1,00	
			$R^2_{\text{adj}} = 0,30$		$R^2_{\text{adj}} = 0,33$		$R^2_{\text{adj}} = 0,54$	

k.A. = keine Angabe; Q1 = 1. Quartil; SES-Faktoren *¹: Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung

Tab. 6.2.1.2. Lineare Regressionsmodelle zu sozioökonomischen Faktoren (SES-Faktoren) und Quecksilber im Urin bei Männern

	SES-Faktoren einzeln		SES-Faktoren gemeinsam * ¹		SES-Faktoren gemeinsam * ¹ & Alter		SES-Faktoren gemein- sam* ¹ & Alter & Intermediärfaktoren	
	MR	95% KI	MR	95% KI	MR	95% KI	MR	95% KI
Bildungsindex								
Sehr hoch	1,00		1,00		1,00		1,00	
Hoch	0,92	0,80 – 1,06	0,91	0,78 – 1,07	0,91	0,78 – 1,06	0,94	0,83 – 1,07
Mittel	0,94	0,82 – 1,07	0,95	0,81 – 1,10	0,94	0,81 – 1,09	0,90	0,79 – 1,02
Niedrig	0,73	0,64 – 0,82	0,75	0,64 – 0,87	0,80	0,69 – 0,93	0,85	0,75 – 0,97
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen								
Q4	1,00		1,00		1,00		1,00	
Q3	0,98	0,87 – 1,12	1,08	0,95 – 1,22	1,05	0,93 – 1,19	0,98	0,88 – 1,08
Q2	1,07	0,93 – 1,22	1,18	1,03 – 1,36	1,14	0,99 – 1,30	1,05	0,93 – 1,18
Q1	0,95	0,83 – 1,08	1,13	0,98 – 1,30	1,09	0,95 – 1,26	1,03	0,91 – 1,16
k.A.	0,89	0,77 – 1,02	1,04	0,89 – 1,20	1,02	0,88 – 1,18	1,04	0,92 – 1,18
Relative Einkommensarmut								
Nein	1,00							
Ja	0,97	0,88 – 1,07						
k.A.	0,88	0,77 – 1,00						
Berufstätigkeit								
Arbeitslos	0,73	0,60 – 0,87	0,71	0,59 – 0,86	0,80	0,66 – 0,96	0,87	0,74 – 1,03
Ausbildung	0,96	0,81 – 1,12	1,00	0,83 – 1,21	0,88	0,71 – 1,07	0,99	0,83 – 1,17
Rente	0,64	0,56 – 0,72	0,67	0,59 – 0,77	1,00	0,84 – 1,19	1,09	0,94 – 1,26
Berufstätig (>=15h/Wo)	1,00		1,00		1,00		1,00	
Berufstätig (<15h/Wo)	0,69	0,50 – 0,95	0,67	0,48 – 0,93	0,73	0,53 – 1,01	0,84	0,64 – 1,11
Berufliche Stellung								
Obere Schicht	1,00		1,00		1,00		1,00	
Obere Mittelschicht	0,85	0,75 – 0,98	0,87	0,75 – 1,00	0,86	0,74 – 0,98	0,90	0,80 – 1,01
Mittlere Mittelschicht	0,84	0,74 – 0,95	0,93	0,80 – 1,08	0,84	0,73 – 0,98	0,87	0,77 – 0,99
Unterer Mittelschicht	0,84	0,74 – 0,97	0,93	0,78 – 1,10	0,83	0,70 – 0,99	0,87	0,75 – 1,01
Untere Schicht	0,79	0,61 – 1,01	0,90	0,69 – 1,18	0,80	0,62 – 1,04	0,94	0,75 – 1,17
k.A.	1,06	0,78 – 1,45	1,17	0,85 – 1,61	1,03	0,75 – 1,41	1,13	0,86 – 1,48
Migration								
deutsche & nicht in Dt geboren	1,03	0,86 – 1,24	1,07	0,89 – 1,28	1,10	0,91 – 1,31	1,05	0,90 – 1,23
nicht deutsche	1,12	0,92 – 1,37	1,15	0,94 – 1,40	1,13	0,93 – 1,37	1,23	1,04 – 1,46
deutsche & in Dt geboren	1,00		1,00		1,00		1,00	
			$R^2_{adj} = 0,23$		$R^2_{adj} = 0,26$		$R^2_{adj} = 0,46$	

k.A. = keine Angabe; Q1 = 1. Quartil; SES-Faktoren *¹: Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung

6.3 Anmerkung zu der linearen Regression

Aufgrund der hohen Anzahl von Personen mit Werten unter der Nachweisgrenze ist die Anwendung der linearen Regression in der dargestellten Weise zu hinterfragen. Die Modellierung mittels multipler linearer Regression wurde durchgeführt, um im unmittelbaren Vergleich zu der Identifizierung von Prädiktoren durch Benemann et al. (2004) hier die Assoziation sozioökonomischer Faktoren mit der korporalen Quecksilberbelastung darzustellen.

Als Möglichkeiten für Regressionsmodelle, die die Anzahl der Personen unter der Nachweisgrenze angemessen berücksichtigen, stehen z.B. die ordinale logistische Regression bzw. die multinomiale logistische Regression bei Verletzung der Proportionalitätsannahme zur Verfügung.

Ergebnisse zur ordinalen logistischen Regression sind im Kapitel 7 dargestellt.

Preacher & Hayes (2004) schlugen neben der Beschreibung der Änderung von Effektschätzern bei der "causal steps strategy" zur Identifikation von Intermediärfaktoren in einer Kausalkette einen statistischen Test auf Signifikanz der indirekten Effekte vor. Dieser Ansatz wäre in einem anschließenden Projekt weiter zu verfolgen.

7 Ordinale logistische Regression

7.1 Einführung zu ordinalen logistischen Modellen

Oftmals werden kontinuierliche Zielgrößen nach Dichotomisierung und damit Reduzierung auf zwei Kategorien mittels logistischer Regressionsmodelle analysiert. Dabei stehen Modelle zur Verfügung (ordinale logistische Modelle), die weit mehr Präzision und Power liefern als einfache binäre logistische Analysen (Greenland 1998). Im Gegensatz zur linearen Regression, welche zur korrekten Anwendung Anforderungen an die Verteilung der Daten stellt (zum Beispiel die Annahme, dass die Varianz der Zielgröße homogen ist), liefert die ordinale logistische Regression eine sensitive Analyse bei ordinalverteilten Daten, die keine Annahmen bezüglich der Struktur der Daten voraussetzt (Scott et al. 1997). Das ordinale logistische Modell stellt demnach eine angemessene Methode dar, um den Einfluss mehrerer Prädiktoren (Einflussgrößen) auf eine ordinale Zielgröße zu untersuchen, wobei die interessierende Assoziation zwischen Einflussgröße und Zielgröße über alle Ausprägungen der Zielgröße summiert wird (Scott et al. 1997).

Verschiedene ordinale logistische Modelle sind mittlerweile verfügbar, wobei für die Entscheidung, welches Modell bei der bestehenden Fragestellung und Datenstruktur angemessen ist, bisher nur grobe Richtlinien zur Verfügung stehen (Greenland 1998). Die beiden bekanntesten und am weitesten verbreiteten Modelle sind das "proportional-odds model", oft auch "cumulative-odds model" genannt, und das "continuation-ratio model" (Armstrong & Sloan 1998, Scott et al. 1997).

Das proportional-odds Modell ist ein reversibles Modell: Es ändern sich nur die Vorzeichen der Koeffizienten, wenn die Anordnung der Kategorien (Ausprägungen) der Zielgröße umgedreht wird, d.h. wenn die Anordnung der Ausprägung zum Beispiel von aufsteigender Konzentration (1=geringste Konzentration, ..., 5=höchste Konzentration) umgedreht wird in eine Anordnung der Ausprägung in absteigende Konzentration (1=höchste Konzentration, ..., 5=geringste Konzentration). Dagegen ist das continuation-ratio Modell nicht reversibel: Bei Umdrehen der Anordnung ändert sich auch der Wert des Koeffizienten. Daher ist das continuation-ratio Modell insbesondere angemessen, wenn irreversible Erkrankungsstadien (z.B. Schweregrad einer Arthritis) modelliert werden sollen, d.h. wenn Ausprägungen vorliegen, die nur in eine bestimmte

Richtung weiter entwickelt werden können (wenn zum Beispiel keine Verbesserung der Symptome möglich ist, sondern nur eine Verschlechterung).

Das proportional-odds Modell sollte bei reversiblen Zielgrößen (zum Beispiel Blutmesswerte, die zu anderen Zeitpunkten sowohl steigen als auch abnehmen können) Verwendung finden (Greenland 1998). Neben dieser Empfehlung wird zudem zum proportional-odds Modell und nicht zum continuation-ratio Modell geraten, wenn die Zielgröße durch Kategorisierung einer kontinuierlichen Variablen (zum Beispiel Blutdruck) erhalten wird (Ananth & Kleinbaum 1997, Armstrong & Sloan 1989, McCullagh & Nelder 1989).

Die beiden bekanntesten ordinalen Modelle unterscheiden sich methodisch durch die Art der durchgeführten Vergleiche der verschiedenen Ausprägungen.

Das proportional-odds Modell basiert auf kumulativen Wahrscheinlichkeiten der Zielgröße (daher oft auch "cumulative odds model" genannt), wobei der Interzept für verschiedene kumulative Logitfunktionen verschieden sein kann, aber der Effekt der Einflussgröße zwischen verschiedenen Logitfunktionen gleich ist (Greenland 1998, McCullagh & Nelder 1989). D.h. das Odds Ratio (OR) wird über eine Reihe von sukzessiven inkrementellen Schnittpunkten gebildet, wobei das Odds den Vergleich darstellt, *über* einen bestimmten Schnittpunkt zu fallen versus *in oder unter* diesen Schnittpunkt zu fallen. Das proportionale Odds Ratio ist somit die Summe von mehreren binären logistischen Odds Ratios, die jeweils durch die Wahl der verschiedenen Schnittpunkte repräsentiert sind. Da die schnittpunktspezifischen Schätzer nicht statistisch unabhängig voneinander sind, basiert das proportionale Odds Ratio auf der Maximierung einer spezifischen Wahrscheinlichkeitsfunktion (likelihood function) und nicht einfach nur auf der Mantel-Haenszel-Summenstatistik (Armstrong & Sloan 1989, Scott et al. 1997).

Als Voraussetzung für die Gültigkeit des Modells wird jedoch angenommen, dass die schnittpunktspezifischen Odds Ratios homogen sind ("proportional odds assumption"). D.h. der Effekt der Exposition (proportional OR) auf die Zielgröße ist unabhängig von der jeweils betrachteten Ausprägung (somit unabhängig davon, ob zum Beispiel der Effekt auf Schweregrad eins versus allen Schweregraden über eins oder der Effekt auf Schweregrad bis einschließlich 3 versus allen Schweregraden über 3 verglichen wird). Die Homogenitätshypothese kann mit dem Scoretest überprüft werden. Scoretests gehören zu den approximativen Statistiken (wie auch die Wald Methoden) und zeigen

die Limitation, dass fälschlich hohe χ^2 -Werte sowohl bei sehr geringen als auch bei sehr großen Stichproben auftreten können. Somit wird teilweise trotz akzeptabler Homogenität zwischen den verschiedenen Odds Ratios von einer Heterogenität der Odds Ratios ausgegangen und das Modell als nicht zulässig abgelehnt (Scott et al. 1997). Es wird dazu geraten, den Scoretest eher mit dem nicht adjustierten als mit dem adjustierten Modell durchzuführen, um die Homogenität der Odds Ratios mit der interessierenden Einflussgröße zu gewährleisten. Sollte jedoch die Homogenitätsannahme schwerwiegend beim adjustierten Modell verletzt sein, so ist bisher unklar, welche Auswirkungen dies auf die Ergebnisse haben kann (Scott et al. 1997). Wegen des extremen Antikonservatismus des Scoretests wurden alternativ graphische Methoden zur Überprüfung der Homogenitätsannahme vorgeschlagen (Ananth & Kleinbaum 1997).

Das continuation-ratio Modell funktioniert analog zum Proportional-Hazard-Cox-Modell für diskrete Zeiten, d.h. es werden bedingte ("conditional") inkrementelle Schnittpunkte verglichen. Während also das proportional-odds Modell kumulative Wahrscheinlichkeiten vorhersagt, sagt das continuation-ratio Modell bedingte Wahrscheinlichkeiten ("hazards") voraus (Armstrong & Sloan 1989, Scott et al. 1997). Das Odds stellt somit den Vergleich dar, *über* einen bestimmten Schnittpunkt zu fallen versus *in* die Kategorie (Ausprägung) unterhalb dieses Schnittpunkts zu fallen. Damit erklärt sich auch die Tatsache, dass das Modell *nicht* reversibel ist, sondern von der gewählten Richtung der Vergleiche abhängt. Die genaue Angabe darüber, ob es sich um ein "continuation-ratio model" oder ein "reverse continuation-ratio model" handelt, ist somit entscheidend für die Interpretation der Ergebnisse (Greenland 1998). Auch bei diesen Modellen wird von einer Homogenität der Effekte über die Schnittpunkte ausgegangen und mit einem Test für Homogenität muss diese Annahme geprüft werden (Scott et al. 1997).

Weitere, jedoch selten verwendete ordinale logistische Modelle sind zum Beispiel das "adjacent-category logistic model", das "stereotype logistic model", das "partial-proportional odds model" und das "polytomous logistic model" (Ananth & Kleinbaum 1997, Armstrong & Sloan 1989, Greenland 1998). Das polytomous-logistic Modell ist das flexibelste Modell, wobei die Effektschätzer einen Vergleich einer bestimmten Ausprägung versus der gewählten Referenz darstellen. Jedoch nutzt dieses Modell in

keiner Form die ordinale Anordnung der Zielgröße und findet daher überwiegend nur Anwendung, wenn die Zielgröße nominal ist (Ananth & Kleinbaum 1997, Greenland 1998).

Die Güte der ordinalen logistischen Modelle kann, wie bei allen generalisierten linearen Modellen, mit der "log likelihood function" und der Devianz der Residuen ("deviance test", auch bekannt als "log-likelihood ratio test") untersucht werden. Die Wahl des angemessenen Modells sollte jedoch überwiegend auf "a priori" Überlegungen zur Charakteristik der Zielgröße und der Einfachheit der Interpretation der Ergebnisse basieren (Scott et al. 1997).

7.2 Angewendete Methodik beim vorliegenden Datensatz

Quecksilber im Blut oder Urin weist insbesondere durch einen hohen Anteil von Daten unter der Nachweisgrenze eine stark rechtsschiefe Verteilung auf. Die Beschreibung der logarithmierten Zielgrößen im Kapitel zur linearen Regression hat gezeigt, dass auch eine Logarithmierung nicht ausreicht, um eine Normalverteilung bei Quecksilber im Blut und Quecksilber im Urin zu erreichen. Um sicherzustellen, dass die damit verbundene Abweichung von der Normalverteilungsannahme die lineare Modellierung der Prädiktoren nicht übermäßig verzerrt, wurde von Benemann et al. (2004) bereits zusätzlich ein logistisches Modell gerechnet, wobei die Quecksilberkonzentration in 4 Stufen eingeteilt wurde. Eine Kategorisierung der Zielgröße und somit Überführung in eine Ordinalskala ist bei der gegebenen extremen Schiefverteilung eine bekannte Vorgehensweise (siehe auch Norris et al. 2006). Um die Präzision zu maximieren ist es vorteilhaft, wenn keine Ausprägung (Kategorie) zu gering besetzt ist. Wenn keine inhaltlichen Überlegungen die Wahl der Schnittpunkte bestimmen, erfolgt häufig die Gruppenbildung an Hand der Perzentilen. Bei den durchgeführten Analysen wurde daher die Zielgröße entsprechend der Quartile in vier etwa gleich große Gruppen geteilt.

Zwei Gründe sprechen bei der Zielgröße Quecksilber im Blut oder Urin für die Anwendung des proportionalen Odds Modells. Erstens, dieses Modell sollte verwendet werden, wenn die Zielgröße durch Kategorisierung einer kontinuierlichen Variablen

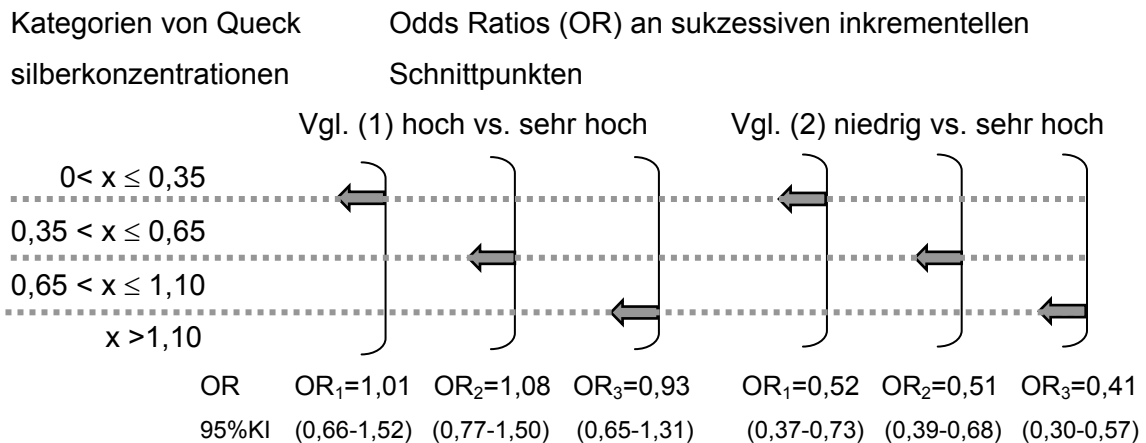
erhalten wird (McCullagh & Nelder 1989). Und zweitens gilt das proportionale Odds Modell als angemessenes Verfahren bei reversiblen Zielgrößen, wie dies bei Quecksilber im Blut oder Urin der Fall ist (Greenland 1998).

Bei Anwendung des proportionalen Odds Modells muss die Proportionalitätsannahme (Scoretest bei Annahme proportionaler Odds) überprüft werden. Generell gilt die Aussage, dass das proportionale Odds Modell adäquat ist, wenn der Test nicht signifikant ausfällt. Auf Grund der großen Stichprobe (je über 2000 Personen bei geschlechtsstratifizierter Analyse) besteht eine große Power bei der Analyse auf Heterogenität, so dass u.U. auch minimale und daher unwichtige Abweichungen von der Homogenität detektiert werden (Scott et al. 1997). Bei der Wahl der Schnittpunkte wurde, wie erwähnt, zuerst der Gesichtspunkt der Präzision berücksichtigt (Schnittpunkte bei den Quartilen, um möglichst gleich große Gruppen zu erhalten), danach der Gesichtspunkt der Erfüllung der Modellannahme bei möglichst vielen Modellen (Homogenität der Effektschätzer zwischen den Schnittpunkten sowohl bei den nichtadjustierten als auch bei den adjustierten Modellen). Die Größe der interessierenden Effektschätzer beeinflusste dagegen in keiner Form die Wahl der Schnittpunkte.

Das proportionale Odds Modell verwendet die Prozedur Logistic in SAS mit der Option "link=clogit" (wobei clogit für kumulative Logit steht). Es wurde die Wahrscheinlichkeit (Odds) modelliert, höhere Quecksilberwerte zu haben, egal welcher Kategorie (Ausprägung) betrachtet wird. D.h. ein Odds Ratio (OR) unter Eins bedeutet, dass die Wahrscheinlichkeit (Odds) für höhere Quecksilberwerte geringer ist für die untersuchte Ausprägung im Vergleich zur Referenzausprägung (analog zu den bei der linearen Regression präsentierten Means Ratios).

An Hand eines Beispiels (Quecksilberkonzentration im Blut von Frauen) soll die Interpretation der Effektschätzer eines proportionalen Odds Modells kurz erläutert werden. Betrachtet wird der Effekt vom Bildungsindex auf die Quecksilberkonzentration, wobei ein sehr hoher Bildungsindex die Referenz darstellt. Exemplarisch sind die Vergleiche (1) hoher Index versus sehr hoher Index und (2) niedriger Index versus sehr hoher Index dargestellt (Abbildung 7.2.1).

Abb. 7.2.1. Interpretation der Effektschätzer eines proportionalen Odds Modells.



Im Vergleich (1), hoher versus sehr hoher Bildungsindex, ist das OR annähernd gleich ($OR \approx 1$) unabhängig davon, ob die Kategorien der Zielgröße Quecksilber im Blut $\leq 0,35 \mu\text{g/l}$ versus $> 0,35 \mu\text{g/l}$, $\leq 0,65 \mu\text{g/l}$ versus $> 0,65 \mu\text{g/l}$ oder $\leq 1,10 \mu\text{g/l}$ versus $> 1,10 \mu\text{g/l}$ analysiert werden. Im Vergleich (2), niedriger versus sehr hoher Bildungsindex, bleibt das OR ebenfalls homogen zwischen den Schnittpunkten ($OR \approx 0,4$ bis $0,5$).

Das proportionale Odds Ratio (mit 95% Konfidenzintervall) für den Vergleich (1) hoher Index versus sehr hoher Index ist nach dem proportionalen Odds Modell $OR=1,00$ ($0,74-1,34$) und für den Vergleich (2) niedriger Index versus sehr hoher Index $OR=0,47$ ($0,36-0,60$). Der Score Test erreicht bei dem Modell mit der Einflussgröße Bildungsindex einen p-Wert von $0,42$, d.h. es spricht nichts für eine Verletzung der Annahme von homogenen Effekten zwischen den Schnittpunkten.

Nachfolgend werden die Ergebnisse der ordinalen logistischen Regression für die Zielgrößen Quecksilber im Blut und im Urin beschrieben. Analog zur Vorgehensweise bei der multiplen linearen Regression wurde der Gesamteffekt sozioökonomischer Faktoren in direkte und indirekte Effekte durch hierarchische Modellierung zerlegt.

Es wurden folgende, aufeinander aufbauende Modelle berechnet:

- (1) alle interessierenden sozioökonomischen Faktoren einzeln im Modell;
- (2) alle sozioökonomischen Faktoren gemeinsam im Modell;
- (3) zusätzliche Adjustierung für mögliche Confounder;
- (4) zusätzlich Adjustierung für mögliche Intermediärfaktoren.

7.3 Ergebnisse der ordinalen logistischen Regression mit der Zielgröße Quecksilber im Blut

Die Quecksilberkonzentration im Blut zeigte eine starke rechtsschiefe Verteilung. Die Schnittpunkte zur Kategorisierung der Zielgröße konnten in dem beobachteten Konzentrationsbereich nicht nach inhaltlichen Kriterien gewählt werden. Es war auch keine mehrgipflige Verteilungsform sichtbar. Wegen der ausgeprägten Schiefe der Verteilung erfolgte die Kategoriebildung nach Gesichtspunkten der Power. D.h. es wurden die Quartile als Richtwerte zur Festlegung der Schnittpunkte herangezogen, um vier etwa gleich groß besetzte Gruppen zu erhalten. Dies führte zu Kategorien, die nicht die gleiche Spannweite umfassten und somit auch zu ungleichen Abständen zwischen den Kategoriemittelwerten bzw. Kategoriemedianen. Allerdings wich nur der Abstand zum Mittelwert bzw. Median der Kategorie mit der höchsten Konzentration stark von den anderen ab, was seine Ursache in den einzelnen Extremwerten im hohen Quecksilberkonzentrationsbereich hatte. Die Abstände zwischen den drei Gruppen mit geringerer Konzentration betrugen ca. jeweils 0,3 µg/l.

Bei den Frauen lag der Median bei 0,62 µg/l, mit den Quartilen $Q_1=0,33$ µg/l und $Q_3=1,05$ µg/l. Bei den Männern betrug der Median 0,65 µg/l, mit den Quartilen $Q_1=0,36$ µg/l und $Q_3=1,13$ µg/l. Wurden diese Werte als Schnittpunkte für die Kategorien je nach Geschlecht gewählt, so war sowohl bei den Frauen als auch bei den Männern bei einigen Modellen die Proportionalitätsannahme verletzt (p -Wert $< 0,05$). Daher wurden folgende, geringfügig von den Quartilen abweichende Schnittpunkte in den Analysen verwendet (Tabelle 7.3.1).

Tab. 7.3.1. Charakterisierung der Schnittpunkte der Quecksilberkonzentrationen im Blut

	Kategorien (µg/l)	Häufigkeit (N)	Prozent (%)	Mittelwert (µg/l)	Median (µg/l)
Frauen	$x > 1,10$	492	22,8	1,92	1,58
	$0,65 < x \leq 1,10$	524	24,2	0,85	0,84
	$0,35 < x \leq 0,65$	576	26,6	0,51	0,51
	$x \leq 0,35$	570	26,4	0,19	0,10
Männer	$x \geq 1,05$	618	28,9	1,90	1,56
	$0,62 \leq x < 1,05$	518	24,3	0,80	0,79
	$0,33 \leq x < 0,62$	521	24,4	0,47	0,47
	$x < 0,33$	479	22,4	0,18	0,10

Wurden die sozioökonomischen Faktoren einzeln in das Modell genommen, so zeigte sich beim Faktor Bildungsindex bei Frauen und bei Männern ein Trend zu niedrigeren Quecksilberwerten bei abnehmendem Index, d.h. bei Personen mit sehr hohem Bildungsindex waren die Quecksilberwerte im Blut höher als bei Personen mit niedrigerem Bildungsindex. Ebenso verhielt sich der Trend beim Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und bei der beruflichen Stellung (d.h. geringere Quecksilberkonzentrationen im Blut waren mit geringerem Einkommen bzw. mit niedrigerer Stellung assoziiert) (vgl. 1. Spalte in den Tab. 7.3.2 und 7.3.3). Sowohl bei Männern als auch bei Frauen waren höhere Quecksilberkonzentrationen bei Berufstätigkeit ($\geq 15\text{h/Wo}$) zu beobachten. Die Variable Migrationshintergrund war nicht auffällig. Der Likelihood-Ratio-Test der globalen Nullhypothese für Beta gleich Null hatte bei Frauen einen p-Wert von 0,56 und bei Männern von 0,17. Daher wurde dieser Faktor - wie bei der linearen Regression - in den folgenden Regressionen nicht weiter berücksichtigt.

Wurden die sozioökonomischen Faktoren gleichzeitig im Modell betrachtet (vgl. 2. Spalte in den Tab. 7.3.2 und 7.3.3), so blieben die Unterschiede bei Frauen vor allem beim Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und bei Männern bei beruflicher Stellung bestehen.

Wurde der mögliche Confounder Gemeindegröße in das Modell aufgenommen, änderten sich die Parameterschätzer der sozioökonomischen Faktoren kaum (vgl. 3. Spalte in den Tab. 7.3.2 und 7.3.3).

Bei Adjustierung für die potenziellen Intermediärfaktoren Fischverzehr vor Blutabnahme, Fischverzehrshäufigkeit, Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllung, Kaugummihäufigkeit bei Amalgam und Weinkonsum war bei Frauen noch das Einkommen mit der Quecksilberbelastung im Blut assoziiert, bei Männern vor allem die berufliche Stellung (vgl. 4. Spalte in den Tab. 7.3.2 und 7.3.3).

Die Prädiktoren (Confounder und Intermediärvariablen) waren bei der ordinalen logistischen Regression - ebenso wie bei den Analysen von Benemann et al. (2004) als auch bei der linearen Regression (s. Kapitel 6) - bei den Frauen hoch signifikant. Bei den Männern verfehlte nur der Prädiktor Kaugummihäufigkeit bei Amalgamfüllung der Zähne knapp das Signifikanzniveau von 5% ($p\text{-Wert}=0,060$).

Um die Konsistenz der Ergebnisse zu prüfen, wurden die Analysen der Quecksilberkonzentration im Blut für die Frauen mit den Schnittpunkten der Zielgrößenkategorisierung der Männer und für die Männer mit den Schnittpunkten der Frauen durch-

geführt. Die Ergebnisse blieben weitestgehend identisch, was - trotz teilweiser Verletzung der Homogenitätsannahme - für ein sehr stabiles Ergebnis spricht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden,

- dass die hier untersuchten sozioökonomischen Merkmale teilweise unabhängig voneinander mit der Quecksilberkonzentration im Blut assoziiert waren,
- dass Geschlechtsunterschiede in der Bedeutung/Assoziationsstärke einzelner sozioökonomischer Faktoren bestanden,
- dass bei Frauen noch direkte Effekte des Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und bei Männern vor allem der beruflichen Stellung bestanden, die nicht über die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren als potenzielle Intermediärfaktoren erklärt werden konnten.

Tab. 7.3.2. Ordinale Regressionsmodelle zu sozioökonomischen Faktoren (SES-Faktoren) und Quecksilber im Blut bei Frauen

	SES-Faktoren einzeln		SES-Faktoren gemeinsam* ¹		SES-Faktoren gemeinsam* ¹ & Gemeindegröße		SES-Faktoren gemein- sam* ¹ & Gemeindegröße & Intermediärfaktoren	
	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI
Bildungsindex								
Sehr hoch	1,00		1,00		1,00		1,00	
Hoch	1,00	0,74 - 1,34	1,28	0,94 - 1,76	1,31	0,96 - 1,80	1,40	1,02 - 1,94
Mittel	0,61	0,47 - 0,80	0,77	0,58 - 1,03	0,81	0,61 - 1,09	0,87	0,64 - 1,17
Niedrig	0,47	0,36 - 0,60	0,68	0,51 - 0,92	0,72	0,53 - 0,96	0,88	0,65 - 1,20
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen								
Q4	1,00		1,00		1,00		1,00	
Q3	0,59	0,47 - 0,74	0,67	0,52 - 0,85	0,68	0,53 - 0,86	0,65	0,51 - 0,84
Q2	0,47	0,37 - 0,60	0,56	0,44 - 0,73	0,56	0,44 - 0,73	0,53	0,41 - 0,69
Q1	0,39	0,31 - 0,50	0,48	0,37 - 0,62	0,48	0,37 - 0,63	0,48	0,37 - 0,63
k.A.	0,48	0,38 - 0,62	0,61	0,47 - 0,80	0,63	0,49 - 0,82	0,65	0,50 - 0,85
Berufstätigkeit								
Arbeitslos	0,78	0,56 - 1,08	1,06	0,76 - 1,49	1,05	0,75 - 1,48	1,03	0,73 - 1,46
Ausbildung	0,70	0,52 - 0,95	0,80	0,58 - 1,12	0,80	0,58 - 1,12	0,91	0,65 - 1,29
Rente	0,70	0,55 - 0,90	0,93	0,72 - 1,21	0,93	0,72 - 1,20	1,04	0,80 - 1,36
Berufstätig (≥15h/Wo)	1,00		1,00		1,00		1,00	
Berufstätig (<15h/Wo)	0,82	0,68 - 0,98	1,05	0,86 - 1,28	1,06	0,87 - 1,29	1,07	0,88 - 1,31
Berufliche Stellung								
Hohe	1,00		1,00		1,00		1,00	
Obere mittlere	0,78	0,58 - 1,05	0,93	0,68 - 1,28	0,93	0,68 - 1,27	0,98	0,71 - 1,35
Mittlere	0,56	0,39 - 0,81	0,82	0,55 - 1,21	0,81	0,55 - 1,21	0,89	0,59 - 1,33
Unterer mittlere	0,49	0,36 - 0,65	0,76	0,54 - 1,06	0,75	0,54 - 1,06	0,91	0,64 - 1,28
Niedrige	0,40	0,27 - 0,58	0,66	0,43 - 1,00	0,66	0,44 - 1,01	0,74	0,48 - 1,13
k.A.	0,51	0,32 - 0,82	0,74	0,45 - 1,23	0,75	0,45 - 1,24	0,91	0,54 - 1,51
Migration								
Deutsche & nicht in Dt geboren	0,89	0,66 - 1,20						
nicht Deutsche	0,85	0,58 - 1,24						
Deutsche & in Dt geboren	1,00							

Scoretest: p=0,35

Scoretest: p=0,31

Scoretest: p=0,23

k.A. = keine Angabe; Q1 = 1. Quartil; SES-Faktoren *¹: Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung
SES-Faktoren einzeln: Proportional Odds (Scoretest): p>0,05

Tab. 7.3.3. Ordinale Regressionsmodelle zu sozioökonomischen Faktoren (SES-Faktoren) und Quecksilber im Blut bei Männern

	SES-Faktoren einzeln		SES-Faktoren gemeinsam* ¹		SES-Faktoren gemeinsam* ¹ & Gemeindegröße		SES-Faktoren gemein- sam* ¹ & Gemeindegröße & Intermediärfaktoren	
	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI
Bildungsindex								
Sehr hoch	1,00		1,00		1,00		1,00	
Hoch	0,69	0,53 – 0,89	0,94	0,71 – 1,25	0,94	0,71 – 1,25	1,01	0,76 – 1,34
Mittel	0,61	0,48 – 0,78	0,82	0,63 – 1,08	0,82	0,62 – 1,08	0,92	0,70 – 1,22
Niedrig	0,38	0,31 – 0,48	0,58	0,44 – 0,76	0,59	0,45 – 0,78	0,74	0,56 – 0,98
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen								
Q4	1,00		1,00		1,00		1,00	
Q3	0,72	0,57 – 0,89	0,83	0,66 – 1,04	0,84	0,67 – 1,05	0,76	0,61 – 0,96
Q2	0,64	0,51 – 0,81	0,85	0,67 – 1,09	0,88	0,68 – 1,12	0,85	0,66 – 1,09
Q1	0,52	0,41 – 0,65	0,83	0,64 – 1,07	0,85	0,66 – 1,10	0,80	0,62 – 1,04
k.A.	0,48	0,37 – 0,61	0,67	0,52 – 0,88	0,68	0,52 – 0,89	0,72	0,55 – 0,94
Berufstätigkeit								
Arbeitslos	0,60	0,43 – 0,83	0,69	0,49 – 0,97	0,67	0,47 – 0,94	0,74	0,53 – 1,05
Ausbildung	0,54	0,41 – 0,72	0,72	0,52 – 1,01	0,71	0,51 – 0,99	0,77	0,55 – 1,08
Rente	0,85	0,68 – 1,06	1,04	0,83 – 1,30	1,02	0,82 – 1,29	0,96	0,76 – 1,22
Berufstätig (≥15h/Wo)	1,00		1,00		1,00		1,00	
Berufstätig (<15h/Wo)	0,54	0,30 – 0,95	0,56	0,31 – 1,01	0,55	0,30 – 0,99	0,54	0,30 – 0,98
Berufliche Stellung								
Hohe	1,00		1,00		1,00		1,00	
Obere mittlere	0,60	0,47 – 0,76	0,68	0,53 – 0,88	0,68	0,52 – 0,87	0,73	0,56 – 0,95
Mittlere	0,43	0,34 – 0,54	0,60	0,46 – 0,79	0,60	0,46 – 0,79	0,66	0,50 – 0,87
Unterer mittlere	0,36	0,28 – 0,45	0,56	0,41 – 0,76	0,55	0,40 – 0,75	0,64	0,47 – 0,88
Niedrige	0,36	0,23 – 0,55	0,56	0,35 – 0,90	0,54	0,34 – 0,87	0,77	0,47 – 1,25
k.A.	0,78	0,45 – 1,36	1,20	0,67 – 2,16	1,22	0,68 – 2,19	1,29	0,71 – 2,35
Migration								
Deutsche & nicht in Dt geboren	0,75	0,55 – 1,04						
nicht Deutsche	0,86	0,61 – 1,22						
Deutsche & in Dt geboren	1,00							

Scoretest: p=0,23

Scoretest: p=0,20

Scoretest: p=0,05

k.A. = keine Angabe; Q1 = 1. Quartil; SES-Faktoren *¹: Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung
SES-Faktoren einzeln: Proportional Odds (Scoretest): p>0,17

7.4 Ergebnisse der ordinalen logistischen Regression mit der Zielgröße Quecksilber im Urin

Analog zur Zielgröße Quecksilber im Blut zeigte die Quecksilberkonzentration im Urin eine deutliche rechtsschiefe Verteilung, keine mehrgipflige Verteilungsform, und es konnten keine Schnittpunkte zur Kategorisierung der Zielgröße in dem beobachteten Konzentrationsbereich nach inhaltlichen Kriterien gewählt werden.

Wiederum erfolgte die Kategorisierung anhand der Quartile. Dies führte zu unterschiedlich großen Spannweiten der Kategorien und ungleichen Abständen zwischen den Gruppenmittelwerten bzw. Medianen. Im Gegensatz zur Quecksilberverteilung im Blut nahmen die Abstände auch zwischen geringeren Konzentrationen mit steigender Konzentration bereits zu (erster Abstand entspricht etwa 0,2 µg/l, zweiter Abstand etwa 0,4 µg/l). Wegen einzelner Extremwerte war der Abstand zum Mittelwert von der vorletzten zur letzten Kategorie mit der höchsten Konzentration besonders groß.

Bei den Frauen lag der Median bei 0,45 µg/l, mit den Quartilen $Q_1=0,10$ µg/l und $Q_3=1,17$ µg/l. Bei den Männern betrug der Median 0,41 µg/l, mit den Quartilen $Q_1=0,10$ µg/l und $Q_3=0,96$ µg/l. Folgende Werte wurden als Grenzwerte für die Kategorien sowohl bei Frauen als auch bei Männern verwendet (Tab. 7.4.1).

Tab. 7.4.1. Charakterisierung der Schnittpunkte der Quecksilberkonzentrationen im Urin

	Kategorien (µg/l)	Häufigkeit (N)	Prozent (%)	Mittelwert (µg/l)	Median (µg/l)
Frauen	$x > 1,20$	523	23,7	3,01	2,23
	$0,45 < x \leq 1,20$	566	25,6	0,77	0,73
	$0,10 < x \leq 0,45$	480	21,8	0,31	0,30
	$x \leq 0,10$	637	28,9	0,10	0,10
Männer	$x > 1,20$	414	19,2	2,56	1,99
	$0,45 < x \leq 1,20$	584	27,1	0,74	0,70
	$0,10 < x \leq 0,45$	522	24,3	0,31	0,29
	$x \leq 0,10$	633	29,4	0,10	0,10

Wurden die sozioökonomischen Faktoren einzeln in das Modell genommen, so war bei Männern und bei Frauen ein Trend zu niedrigeren Quecksilberwerten bei niedriger beruflicher Stellung zu beobachten. Beim Bildungsindex war nur die Ausprägung "niedriger Index" gegenüber der Referenz "hoher Index" bei beiden Geschlechtern auffallend, d.h. Personen mit niedrigem Index hatten geringere Quecksilberkonzentrationen im Urin als Personen mit einem hohen Bildungsindex. Bei der Berufstätigkeit waren bei den Frauen in allen Ausprägungen versus der Referenz "Berufstätigkeit ($\geq 15\text{h/Wo}$)" die Quecksilberwerte signifikant geringer, bei den Männern gilt dies nur für die Ausprägung "Ausbildung" nicht (vgl. 1. Spalte in den Tab. 7.4.2 und 7.4.3). Bei der Variable Migrationshintergrund bestanden keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kategorien. Jedoch lag der p-Wert der Kategorien unterhalb des bei der Variablen-selektion häufig gewählten Signifikanzlevels von 0,10, was eine weitere Berücksichtigung dieser Variable als sinnvoll erscheinen ließ. Zudem war dadurch die unmittelbare Vergleichbarkeit mit den Ergebnissen der linearen Regression gewährleistet.

Wurden die sozioökonomischen Faktoren gleichzeitig im Modell betrachtet (vgl. 2. Spalte in den Tab. 7.4.2 und 7.4.3), so blieben die Unterschiede bei beiden Geschlechtern bei niedrigem Bildungsindex und bei Kategorien der Berufstätigkeit bestehen.

Bei Aufnahme des möglichen Confounder Alter in das Modell gab es bei Frauen nur noch Unterschiede bei dem Faktor Berufstätigkeit: Arbeitslose Frauen und Frauen in Ausbildung hatten geringere Quecksilberwerte im Urin als berufstätige Frauen ($\geq 15\text{h/Wo}$). Bei Männern blieben Unterschiede bei niedrigem Bildungsindex, Arbeitslosigkeit und oberer mittlerer beruflicher Stellung bestehen (vgl. 3. Spalte in den Tab. 7.4.2 und 7.4.3).

Bei Adjustierung für die potenziellen Intermediärfaktoren Fischverzehr vor Urinprobe, Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllung, Alter der letzten Amalgamfüllung, Kaugummi-häufigkeit bei Amalgam und Zahnarztbesuch waren bei Frauen keine konsistenten Assoziationen der sozioökonomischen Faktoren mit der Quecksilberkonzentration im Urin mehr zu beobachten. Bei Männern blieb die Assoziation mit niedrigem Bildungsindex und mit mittlerer beruflicher Stellung erhalten (vgl. 4. Spalte in den Tab. 7.4.2 und 7.4.3).

Bei den Frauen waren im Gesamtmodell die möglichen Intermediärfaktoren "Alter der Amalgamfüllung" und "Zahnarztbesuch" - wie schon im linearen Regressionsmodell –

nicht signifikant. Zudem war der Prädiktor Fischverzehr vor Urinprobe im ordinalen Regressionsmodell nicht mehr signifikant. Bei den Männern hingegen blieben - wie bei der linearen Regression - alle Prädiktoren signifikant im Modell.

Zusammenfassend kann festgestellt werden,

- dass die hier untersuchten sozioökonomischen Merkmale teilweise unabhängig voneinander mit der Quecksilberkonzentration im Urin assoziiert waren,
- im Vergleich zu der Zielgröße Quecksilber im Blut geringere Geschlechtsunterschiede in der Bedeutung/Assoziationsstärke einzelner sozioökonomischer Faktoren bestanden,
- dass nur bei Männern direkte Effekte der Bildung und der beruflichen Stellung bestanden, die nicht über die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren als potenzielle Intermediärfaktoren erklärt werden konnten.

Tab. 7.4.2. Ordinale Regressionsmodelle zu sozioökonomischen Faktoren (SES-Faktoren) und Quecksilber im Urin bei Frauen

	SES-Faktoren einzeln		SES-Faktoren gemeinsam* ¹		SES-Faktoren gemeinsam* ¹ & Alter		SES-Faktoren gemein- sam* ¹ & Alter & Intermediärfaktoren	
	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI
Bildungsindex								
Sehr hoch	1,00		1,00		1,00		1,00	
Hoch	1,35	1,00 – 1,82	1,40	1,02 – 1,93	1,34	0,97 – 1,84	1,24	0,88 – 1,74
Mittel	1,21	0,93 – 1,59	1,27	0,95 – 1,71	1,29	0,95 – 1,73	1,11	0,81 – 1,52
Niedrig	0,54	0,42 – 0,69	0,66	0,49 – 0,89	0,80	0,59 – 1,08	0,78	0,56 – 1,07
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen								
Q4	1,00		1,00		1,00		1,00	
Q3	0,78	0,62 – 0,99	0,95	0,75 – 1,22	0,89	0,69 – 1,14	0,76	0,58 – 0,99
Q2	1,02	0,80 – 1,30	1,33	1,02 – 1,72	1,14	0,88 – 1,48	0,90	0,68 – 1,20
Q1	0,80	0,63 – 1,03	1,11	0,85 – 1,46	0,94	0,72 – 1,25	0,77	0,57 – 1,04
k.A.	0,66	0,51 – 0,84	0,96	0,73 – 1,25	0,91	0,70 – 1,19	0,90	0,68 – 1,20
Berufstätigkeit								
Arbeitslos	0,55	0,39 – 0,76	0,57	0,40 – 0,80	0,65	0,46 – 0,93	0,80	0,56 – 1,15
Ausbildung	0,70	0,51 – 0,96	0,74	0,53 – 1,04	0,56	0,38 – 0,83	0,69	0,45 – 1,05
Rente	0,31	0,24 – 0,41	0,41	0,31 – 0,55	0,80	0,57 – 1,13	1,02	0,71 – 1,47
Berufstätig (≥15h/Wo)	1,00		1,00		1,00		1,00	
Berufstätig (<15h/Wo)	0,74	0,61 – 0,90	0,85	0,70 – 1,05	1,00	0,81 – 1,22	1,05	0,84 – 1,31
Berufliche Stellung								
Hohe	1,00		1,00		1,00		1,00	
Obere mittlere	1,12	0,83 – 1,51	1,13	0,82 – 1,56	1,08	0,79 – 1,49	1,13	0,81 – 1,59
Mittlere	0,76	0,52 – 1,10	0,91	0,61 – 1,37	0,86	0,57 – 1,30	0,86	0,56 – 1,32
Unterer mittlere	0,72	0,54 – 0,98	0,94	0,67 – 1,33	0,89	0,63 – 1,26	1,00	0,70 – 1,45
Niedrige	0,53	0,36 – 0,78	0,81	0,53 – 1,25	0,84	0,55 – 1,30	0,78	0,49 – 1,23
k.A.	0,72	0,44 – 1,16	0,94	0,57 – 1,58	0,98	0,58 – 1,65	0,92	0,53 – 1,60
Migration								
Deutsche & nicht in Dt geboren	0,75	0,55 – 1,03	0,78	0,57 – 1,07	0,88	0,64 – 1,21	0,92	0,66 – 1,29
nicht Deutsche	1,46	0,99 – 2,16	1,42	0,95 – 2,11	1,25	0,84 – 1,87	1,38	0,90 – 2,10
Deutsche & in Dt geboren	1,00							

Scoretest: p=0,33

Scoretest: p=0,20

Scoretest: p=0,13

k.A. = keine Angabe; Q1 = 1. Quartil; SES-Faktoren *¹: Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung
SES-Faktoren einzeln: Proportional Odds (Scoretest): p>0,08

Tab. 7.4.3. Ordinale Regressionsmodelle zu sozioökonomischen Faktoren (SES-Faktoren) und Quecksilber im Urin bei Männern

	SES-Faktoren einzeln		SES-Faktoren gemeinsam* ¹		SES-Faktoren gemeinsam* ¹ & Alter		SES-Faktoren gemein- sam* ¹ & Alter & Intermediärfaktoren	
	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI	OR	95% KI
Bildungsindex								
Sehr hoch	1,00		1,00		1,00		1,00	
Hoch	0,83	0,64 – 1,08	0,85	0,64 – 1,13	0,85	0,64 – 1,13	0,89	0,66 – 1,20
Mittel	0,86	0,67 – 1,09	0,88	0,67 – 1,16	0,88	0,66 – 1,16	0,82	0,62 – 1,10
Niedrig	0,54	0,43 – 0,67	0,58	0,44 – 0,77	0,65	0,49 – 0,86	0,72	0,53 – 0,96
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen								
Q4	1,00		1,00		1,00		1,00	
Q3	0,92	0,73 – 1,15	1,08	0,86 – 1,36	1,03	0,82 – 1,30	0,92	0,72 – 1,17
Q2	1,08	0,85 – 1,37	1,32	1,03 – 1,69	1,22	0,94 – 1,57	1,11	0,85 – 1,45
Q1	0,87	0,69 – 1,10	1,23	0,94 – 1,59	1,15	0,88 – 1,50	1,06	0,80 – 1,39
k.A.	0,77	0,59 – 0,99	1,02	0,78 – 1,34	0,99	0,75 – 1,31	1,07	0,81 – 1,43
Berufstätigkeit								
Arbeitslos	0,54	0,38 – 0,76	0,52	0,37 – 0,74	0,63	0,44 – 0,90	0,73	0,51 – 1,07
Ausbildung	0,82	0,62 – 1,10	0,87	0,62 – 1,22	0,72	0,49 – 1,05	0,93	0,63 – 1,37
Rente	0,42	0,33 – 0,53	0,46	0,36 – 0,59	0,88	0,62 – 1,23	1,06	0,74 – 1,51
Berufstätig (≥15h/Wo)	1,00		1,00		1,00		1,00	
Berufstätig (<15h/Wo)	0,49	0,27 – 0,89	0,48	0,26 – 0,88	0,55	0,29 – 1,03	0,63	0,33 – 1,21
Berufliche Stellung								
Hohe	1,00		1,00		1,00		1,00	
Obere mittlere	0,72	0,56 – 0,91	0,74	0,57 – 0,96	0,72	0,55 – 0,93	0,75	0,57 – 0,98
Mittlere	0,70	0,56 – 0,88	0,86	0,65 – 1,13	0,71	0,54 – 0,94	0,70	0,53 – 0,94
Unterer mittlere	0,70	0,55 – 0,89	0,88	0,64 – 1,20	0,73	0,53 – 1,01	0,74	0,53 – 1,03
Niedrige	0,63	0,40 – 0,98	0,84	0,51 – 1,37	0,67	0,41 – 1,10	0,80	0,48 – 1,33
k.A.	1,08	0,62 – 1,88	1,22	0,68 – 2,19	1,01	0,56 – 1,83	1,17	0,63 – 2,16
Migration								
deutsche & nicht in Dt geboren	0,97	0,70 – 1,36	1,04	0,74 – 1,46	1,11	0,79 – 1,56	1,01	0,71 – 1,45
nicht deutsche	1,18	0,83 – 1,69	1,22	0,85 – 1,76	1,21	0,84 – 1,75	1,46	1,00 – 2,14
deutsche & in Dt geboren	1,00		1,00					

Scoretest: p=0,41

Scoretest: p=0,67

Scoretest: p=0,43

k.A. = keine Angabe; Q1 = 1. Quartil; SES-Faktoren *¹: Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung

SES-Faktoren einzeln: Proportional Odds (Scoretest): p>0,09; außer bei SES-Faktor Berufliche Stellung (Scoretest): p=0,04

8 Strukturgleichungsmodelle (SEM)

8.1 Einführung

Bereits in den 1980'er und 1990'er Jahren wurden in den Sozial- und Wirtschaftswissenschaften in zunehmendem Maße Strukturgleichungsmodelle (structural equation models, SEM) zur Analyse komplexer Wirkungszusammenhänge in nicht-experimentellen Daten eingesetzt (Bentler 1992; Tomarken 2005). In den Biowissenschaften dagegen ist diese statistische Methode, obwohl dort mitentwickelt, noch ziemlich unterrepräsentiert.

Diese im Vergleich zu Regressionsmodellen umfassendere bzw. ganzheitliche Vorgehensweise erlaubt die Untersuchung multivariater kausaler Abhängigkeitsbeziehungen und mehrstufiger Kausalstrukturen (Kausalketten) sowie des Einflusses von latenten, d.h. nicht beobachtbarer Variablen. Strukturgleichungsmodelle unterscheiden sich somit von der multiplen Regressionsanalyse, die lediglich die Abhängigkeit einer Variablen von mehreren unabhängigen Variablen analysieren kann.

Strukturgleichungsmodelle (SEM) gehören in den Bereich der Kausalanalyse. Zur Überprüfung eines a priori spezifizierten Hypothesensystems werden die empirisch gewonnenen Daten mit den theoretisch aufgestellten Beziehungen abgeglichen. Damit besitzt die Kausalanalyse einen konfirmatorischen Charakter. Es ist jedoch immer zu beachten, dass durch SEM ein Hypothesensystem zwar falsifiziert, jedoch nicht endgültig bewiesen werden kann, d.h. im Falle einer Übereinstimmung mit den erhobenen Daten lediglich nicht zurückgewiesen werden kann.

Eine besondere Stärke von SEM ist die Möglichkeit der Modellierung latenter Variablen. Latente Variablen sind Konstrukte, die nicht direkt beobachtet und gemessen werden können, sondern die indirekt durch zwei oder mehr manifeste (messbare) Indikatorvariablen beschrieben werden. Solche Konstrukte liegen z.B. oft in gesellschaftswissenschaftlichen Fragestellungen vor, die den Einfluss des Sozialstatus untersuchen. Enthält ein Strukturgleichungsmodell keine latenten Variablen, dann entspricht das Verfahren einer reinen Pfadanalyse.

8.2 Methodik

Eine Kausalanalyse mit SEM gliedert sich in sechs Ablaufschritte (nach Backhaus 2003):

1. Hypothesenbildung

Auf Grund sachlogischer, theoretischer Vorüberlegungen bzw. vorausgegangener explorativer Analysen wird das zu überprüfende Hypothesensystem erstellt. Dazu gehört die Festlegung der zu untersuchenden Parameter und der Richtung und Stärke der Beziehungen zwischen diesen Parametern. Hier ist zu unterscheiden zwischen der Definition von Kausalhypothesen, die eine kausale Abhängigkeit zwischen Variablen abbilden, und der Definition von Messhypothesen, die die Operationalisierung der latenten Variablen durch ihre Messindikatoren beschreiben. Diese Messmodelle sollten vorab in einer Faktorenanalyse getestet werden, ob sie die latenten Variablen zuverlässig abbilden. Latente Variable müssen allerdings nicht zwingend in einem SEM vorhanden sein. Bei der Hypothesenformulierung sind auch potenzielle Messfehler- und Residualgrößen zu berücksichtigen.

2. Pfaddiagramm und Modellspezifikation

Zur Veranschaulichung des häufig komplexen Hypothesensystems ist eine graphische Darstellung der Beziehungszusammenhänge in einem Pfaddiagramm hilfreich. Anschließend werden die aufgestellten Hypothesen nach speziell vorgegebenen Konventionen in ein lineares Gleichungssystem überführt.

3. Identifikation der Modellstruktur

Für das vorliegende Strukturgleichungssystem muss zunächst noch geprüft werden, ob die Modellstruktur identifiziert werden kann, d.h. ob es eindeutig lösbar ist. Dazu ist es notwendig (aber nicht hinreichend), dass die Anzahl der unbekannten Modellparameter höchstens der Anzahl der Gleichungen entspricht.

4. Parameterschätzungen

Auf Basis der empirisch gemessenen Varianzen und Kovarianzen der manifesten Variablen werden nun die Parameterschätzungen vorgenommen, wobei die Abweichungen der empirischen Kovarianzen von den modelltheoretischen Kovarianzen

minimiert werden. Welcher Schätzalgorithmus im konkreten Anwendungsfall eingesetzt werden kann, hängt davon ab, welche Voraussetzungen an das Datenmaterial, wie z.B. Verteilungsfunktion und Stichprobengröße, erfüllt sind.

5. Gütebeurteilung der Schätzergebnisse

Neben allgemeinen Plausibilitätsbetrachtungen können die Schätzergebnisse mit Hilfe einiger statistischer Kenngrößen beurteilt werden. Dabei sollten immer möglichst viele Gütekriterien erfüllt sein.

Die Anpassungsgüte der Gesamtstruktur (Model Fit) wird üblicherweise durch folgende Parameter beurteilt (in Klammern Werte für eine "gute" Anpassung):

- χ^2 bezogen auf die Freiheitsgrade ($\chi^2/df \leq 5$)
- Goodness-of-Fit-Index (GFI $\geq 0,9$)
- Adjusted- Goodness-of-Fit-Index (AGFI $\geq 0,9$)
- Comparative Fit Index (CFI $\geq 0,9$)
- Root-Mean-Square-Error of Approximation (RMSEA $\leq 0,05$)

Auch wenn ein guter Model Fit vorliegt, kann die Anpassungsgüte einzelner Teilstrukturen unzureichend sein und Hinweise darauf geben, dass Teile im Modell falsch spezifiziert wurden. Für die Zuverlässigkeit der Parameterschätzungen und Güte der Teilstrukturen werden betrachtet:

- Standardfehler (S.E. $< 0,2$)
- Critical Ratio (C.R. $> 1,96$)
- Reliabilität, Bestimmtheitsmaß ($R^2 \geq 0,4$)
- Korrelationen zwischen manifesten Variablen $\leq 0,9$
- Residuen (Residual Covariances $\leq 0,1$)

6. Modifikation der Modellstruktur

Haben die Gütebeurteilungen eine schlechte Modellanpassung erbracht, kann versucht werden, das aufgestellte Hypothesensystem durch eine Modellmodifikation weiterzuentwickeln. Dies kann durch die Aufnahme zusätzlicher Parameter oder den Ausschluss nicht-signifikanter Parameter erfolgen. Damit geht die Analyse des SEM allerdings in den explorativen Bereich über. Das verbesserte Hypothesenmodell sollte auf jeden Fall an Hand einer neuen Stichprobe validiert werden.

Zur Schätzung von Strukturgleichungsmodellen existieren spezielle Software-Programme wie LISREL und EQS bzw. Software-Pakete und Prozeduren wie AMOS in SPSS und die Prozedur CALIS in SAS. Für die vorliegende Auswertung des Umweltsurveys 1998 wurde SAS (Version 9.1) eingesetzt, da die Beschaffung spezifischer und mächtigerer Software weder in dem zeitlichen Rahmen des Projekts noch in dem Finanzierungsplan vorgesehen worden war.

Vor der Anwendung von Strukturgleichungsmodellen müssen für das Datenmaterial bestimmte Annahmen und Voraussetzungen sicher gestellt sein, zusätzliche Einschränkungen können von dem eingesetzten Statistik-Programm resultieren:

Die Beobachtungen müssen unabhängig sein und die Beziehungen zwischen den Variablen linear und additiv. Es bestehen keine Korrelationen zwischen den Messfehlervariablen und zwischen Messfehlern und den Residuen der Strukturgleichungen. Für den Einsatz der Maximum-Likelihood-Schätzmethode, die die präzisesten Schätzer liefert, ist eine Multi-Normalverteilung der Variablen erforderlich. Liegt keine Multi-Normalverteilung vor, kann bei ausreichend großem Stichprobenumfang ($N > 1,5 \cdot p \cdot (p+1)$, p =Anzahl der manifesten Variablen) die Methode der asymptotisch verteilungsfreien Schätzer (ADF) benutzt werden. Einige Programme verlangen metrische Datenskalen, meistens können jedoch trotzdem auch ordinale Daten analysiert werden (Browne 1984).

Für die Daten aus dem Umwelt-Survey 1998 sind mit Ausnahme der Multi-Normalverteilung und der ordinalen Datenskalen diese Voraussetzungen erfüllt. Die SAS Prozedur "PROC CALIS" stellt für nicht normal verteilte Daten das WLS-Schätzverfahren (weighted least squares for arbitrary distributions) zur Verfügung, das der ADF-Methode entspricht. Die nominal skalierten Variablen relative Einkommensarmut, Berufstätigkeit, Migrationshintergrund, Fischverzehr 48 Stunden vor Blut- bzw. Urinprobe und Zahnarztbesuch müssen allerdings von der Analyse und damit von der Hypothesenaufstellung ausgenommen werden.

Somit werden im Weiteren nur noch Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und berufliche Stellung als Indikatoren der sozialen Lage, sowie Alter, Fischverzehr, Weinkonsum, Gemeindegröße, Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen, Alter der letzten Amalgamfüllung, Kaugummikonsum bei Amalgamfüllung und Kreatinin

im Morgenurin als zusätzliche potenzielle Einfluss- bzw. Kontrollgrößen betrachtet. Die SAS Prozedur "PROC CALIS" legt bei ordinalen Variablen metrische Skalen zugrunde.

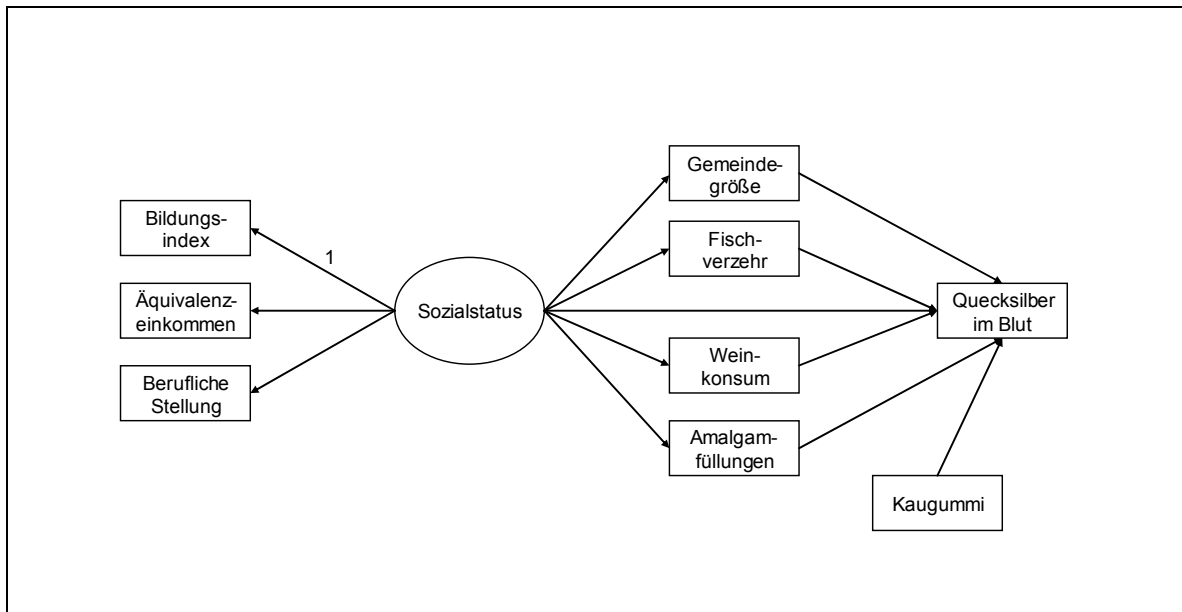
Beobachtungen mit fehlenden Werten (missing values) werden durch PROC CALIS von der Auswertung ausgeschlossen. Dies ist bei der Überprüfung der erforderlichen Populationsgröße zu berücksichtigen, da zusätzlich die Modelle auch noch getrennt nach Frauen und Männern zu berechnen sind. So bleiben von 2429 Frauen schließlich 1709 (Quecksilber im Blut) bzw. 1749 (Quecksilber im Urin) im Datensatz, von den ursprünglich 2377 Männern weisen 1812 (Quecksilber im Blut) bzw. 1848 (Quecksilber im Urin) komplette Daten auf. Damit liegt jeweils ein ausreichender Stichprobenumfang für die WLS-Schätzung vor.

Bei der Erstellung der Hypothesensysteme werden neben sachlogischen Überlegungen auch Ergebnisse aus den bereits auf Basis des Schichtindex durchgeführten Regressionsanalysen herangezogen. Daraus werden folgende Hypothesen im Strukturgleichungsmodell für Quecksilber im Blut abgeleitet:

1. Die latente Variable Sozialstatus bestimmt die Messindikatoren Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und berufliche Stellung.
2. Je höher der Sozialstatus ist, desto höher ist der Fischverzehr.
3. Je höher der Sozialstatus ist, desto höher ist der Weinkonsum.
4. Je höher der Sozialstatus ist, desto größer ist die Gemeinde.
5. Die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen ist abhängig vom Sozialstatus.
6. Der Quecksilbergehalt im Blut ist abhängig von Sozialstatus, Gemeindegröße, Fischverzehr, Weinkonsum, Zähnen mit Amalgamfüllungen und Kaugummikonsum.

Die Darstellung dieses Modells als Pfaddiagramm findet sich in Abbildung 8.2.1.

Abb. 8.2.1. Pfaddiagramm für Hypothesenmodell Quecksilber im Blut (Männer und Frauen)

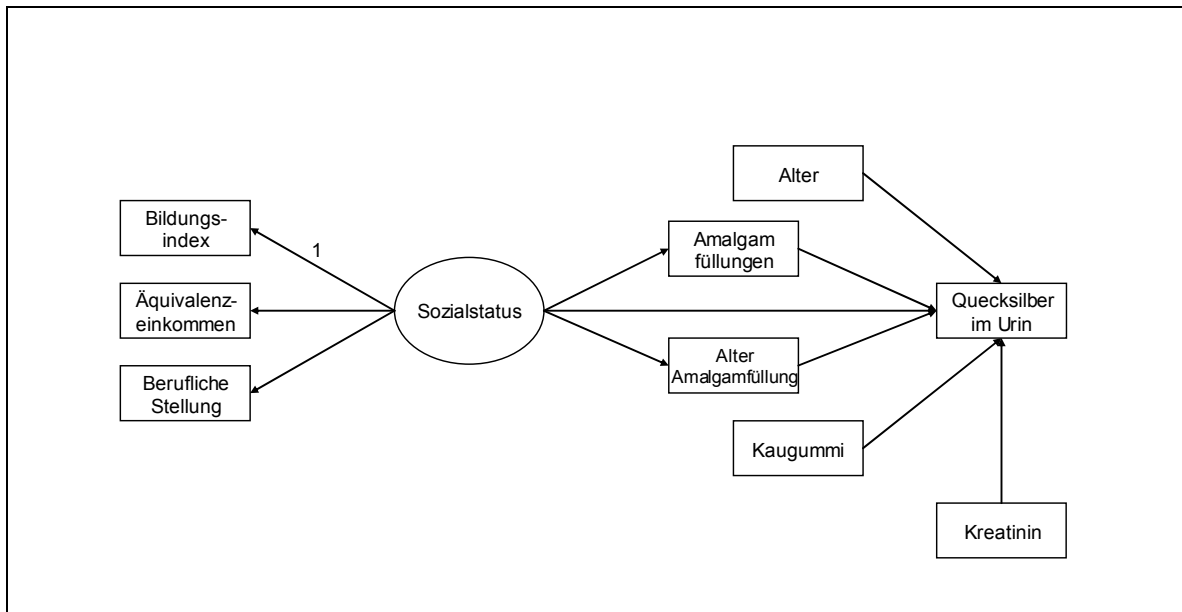


Rechtecke repräsentieren manifeste Variablen, Kreise repräsentieren latente Variablen. Fehler- und Residualvariablen sind nicht dargestellt. Variablen, auf die Pfeile hinzeigen, werden als abhängige Variable betrachtet. Ein Pfad im Messmodell wird als Referenzskala auf 1 gesetzt.

Für das Strukturgleichungsmodell für Quecksilber im Morgenurin ergibt sich analog folgendes Hypothesenmodell (Pfaddiagramm siehe Abbildung 8.2.2):

1. Die latente Variable Sozialstatus bestimmt die Messindikatoren Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und berufliche Stellung.
2. Die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen ist abhängig vom Sozialstatus.
3. Das Alter der letzten Amalgamfüllung ist abhängig vom Sozialstatus.
4. Der Quecksilbergehalt im Morgenurin ist abhängig von Sozialstatus, Alter, Zähnen mit Amalgamfüllungen, Alter der Amalgamfüllungen und Kaugummikonsum, kontrolliert für Kreatinin im Morgenurin.

Abb. 8.2.2. Pfaddiagramm für Hypothesenmodell Quecksilber im Urin (Männer und Frauen)



Rechtecke repräsentieren manifeste Variablen, Kreise repräsentieren latente Variablen. Fehler- und Residualvariablen sind nicht dargestellt. Variablen, auf die Pfeile hinzeigen, werden als abhängige Variable betrachtet. Ein Pfad im Messmodell wird als Referenzskala auf 1 gesetzt.

8.3 Ergebnisse

Der Test des Messmodells für die latente Variable Sozialstatus ergibt sowohl bei den Männern als auch bei den Frauen eine perfekte Anpassung ($GFI=1$, $RMSEA=0$). Hier liegt ein voll saturiertes Modell vor ($df=0$), möglicherweise könnte auf einen der drei Sozialindikatoren verzichtet werden, da er vermutlich durch einen oder die beiden anderen beschrieben wird. Damit wäre das Messmodell aber nicht mehr identifizierbar bzw. obsolet geworden und es werden deshalb alle drei Messvariablen im Messmodell für Sozialstatus belassen. Alternativ werden jedoch auch reine Pfadmodelle mit jeweils einem einzigen Indikator der sozialen Lage berechnet.

8.3.1 SEM mit Quecksilber im Blut

Das Ausgangsmodell für Quecksilber im Blut aus Abbildung 8.2.1 liefert bei beiden Geschlechtern keine akzeptable Anpassungsgüte. Da die Zuverlässigkeit der Parameterschätzung für die Variable Zähne mit Amalgamfüllungen die schlechtesten Werte aufweist, wird die Hypothese 5 (Die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen ist abhängig vom Sozialstatus.) aus den Modellen entfernt. Danach ergibt sich bei Männern und Frauen eine sehr gute Anpassungsgüte für Quecksilber im Blut ($GFI=0,99$, $AGFI=0,99$, $RMSEA=0.038$ (90%-KI=0,029-0,047), $\chi^2(df\ 23)=82.90$ bzw. $GFI=0,99$, $AGFI=0,98$, $RMSEA=0.047$ (90%-KI=0,039-0,056), $\chi^2(df\ 23)=110.91$), wobei die Gütemaße des SEM für Frauen geringfügig unter denen für Männer liegen.

Die Standardfehler der Regressionskoeffizienten liegen alle unter 0,2, die Schätzer sind also relativ valide. Lediglich der Schätzwert für Gemeindegröße ist nicht signifikant ($C.R. \leq 1,96$). Betrachtet man die standardisierten Regressionskoeffizienten, liefert bei Männern und Frauen gleichermaßen Fischverzehr den größten Beitrag zu Quecksilber im Blut, gefolgt von Sozialstatus und Zähne mit Amalgamfüllungen (Tab. 8.3.1.1 und 8.3.1.2), am wenigsten Einfluss hat die Gemeindegröße. Dies entspricht auch den Ergebnissen der linearen Regression mit Sozialschichtindex (Benemann et al. 2004). Der hier durch den geschätzten Regressionskoeffizienten wiedergegebene Effekt von Sozialstatus auf die Zielgröße stellt allerdings nur den direkten Effekt der latenten Variablen dar. Rechnet man auch noch die indirekten Einflüsse, also die "Umwege"

von Sozialstatus über die Intermediärvariablen mit ein, ergibt sich für Sozialstatus ein Gesamteffekt von 0,32 bei den Männern (im Vergleich: 0,24 direkter Effekt) und 0,39 (0,32) bei den Frauen auf Quecksilber im Blut (jeweils unstandardisierter Wert).

Das Bestimmtheitsmaß R^2 , das den durch das Modell erklärten Varianzanteil einer Variablen beschreibt, beträgt bezüglich Quecksilber im Blut für Männer 0,167 und für Frauen 0,171, d.h. mit den Prädiktoren Sozialstatus, Fischverzehr, Weinkonsum, Zähne mit Amalgamfüllungen, Kaugummikonsum und Gemeindegröße lässt sich im (modifizierten) Hypothesenmodell jeweils rund 17% der Varianz von Quecksilber im Blut erklären (Tabellen 8.3.1.3 und 8.3.1.4).

Tabelle 8.3.1.1. Standardisierte und unstandardisierte Regressionskoeffizienten für Strukturgleichungsmodell Quecksilber im Blut (Männer, N=1812)

	Schätzwert standardisiert	Schätzwert unstandardisiert	95% KI	C.R.
Bildungsindex ← Sozialstatus	0,66	1,00	--	--
Äquivalenz-Einkommen ← Sozialstatus	0,53	0,81	0,73 – 0,90	18,00
Berufliche Stellung ← Sozialstatus	0,76	1,16	1,04 – 1,28	19,48
Gemeindegröße ← Sozialstatus	0,10	0,18	0,09 – 0,27	3,83
Fischverzehr * ¹ ← Sozialstatus	0,16	0,25	0,16 – 0,34	5,61
Weinkonsum ← Sozialstatus	0,31	0,54	0,43 – 0,65	9,70
Hg im Blut * ² ← Gemeindegröße	0,02	0,02**	-0,01 – 0,05	1,17
Hg im Blut * ² ← Fischverzehr * ¹	0,28	0,21	0,18 – 0,25	12,42
Hg im Blut * ² ← Weinkonsum	0,06	0,04	0,01 – 0,08	2,74
Hg im Blut * ² ← Amalgamfüllungen	0,11	0,02	0,02 – 0,03	5,22
Hg im Blut * ² ← Kaugummi bei Amalgam	0,07	0,04	0,02 – 0,06	3,52
Hg im Blut * ² ← Sozialstatus	0,19	0,24	0,17 – 0,31	6,88

C.R. = -Critical Ratio

*¹ Fischverzehr logarithmiert

*² Quecksilber im Blut: logarithmiert

** nicht signifikant

Tabelle 8.3.1.2. Standardisierte und unstandardisierte Regressionskoeffizienten für Strukturgleichungsmodell Quecksilber im Blut (Frauen, N=1709)

	Schätzwert standardisiert	Schätzwert unstandardisiert	95% KI	C.R.
Bildungsindex ← Sozialstatus	0,60	1,00	--	--
Äquivalenz-Einkommen ← Sozialstatus	0,52	0,93	0,80 – 1,05	14,58
Berufliche Stellung ← Sozialstatus	0,69	1,28	1,10 – 1,46	14,18
Gemeindegröße ← Sozialstatus	0,13	0,27	0,15 – 0,39	4,37
Fischverzehr * ¹ ← Sozialstatus	0,10	0,19	0,08 – 0,30	3,36
Weinkonsum ← Sozialstatus	0,31	0,57	0,45 – 0,69	9,07
Hg im Blut * ² ← Gemeindegröße	0,03	0,02**	-0,01 – 0,05	1,32
Hg im Blut * ² ← Fischverzehr * ¹	0,25	0,19	0,15 – 0,22	10,85
Hg im Blut * ² ← Weinkonsum	0,06	0,05	0,01 – 0,09	2,72
Hg im Blut * ² ← Amalgamfüllungen	0,16	0,04	0,03 – 0,05	7,11
Hg im Blut * ² ← Kaugummi bei Amalgam	0,05	0,02	0,00 – 0,04	2,32
Hg im Blut * ² ← Sozialstatus	0,22	0,32	0,23 – 0,41	6,93

C.R. = -Critical Ratio

*¹ Fischverzehr: logarithmiert

*² Quecksilber im Blut: logarithmiert

** nicht signifikant

Tabelle 8.3.1.3. Erklärter Varianzanteil der abhängigen Variablen im Strukturmodell für Quecksilber im Blut (Männer, N=1812)

	Schätzwert R ²
Bildungsindex	0,44
Äquivalenz-Einkommen	0,28
Berufliche Stellung	0,58
Gemeindegröße	0,01
Fischverzehr * ¹	0,02
Weinkonsum	0,09
Hg im Blut * ²	0,17

*¹ Fischverzehr: logarithmiert

*² Quecksilber im Blut: logarithmiert

Tabelle 8.3.1.4. Erklärter Varianzanteil der abhängigen Variablen im Strukturmodell für Quecksilber im Blut (Frauen, N=1709)

	Schätzwert R ²
Bildungsindex	0,36
Äquivalenz-Einkommen	0,27
Berufliche Stellung	0,47
Gemeindegröße	0,02
Fischverzehr * ¹	0,01
Weinkonsum	0,10
Hg im Blut * ²	0,17

*¹ Fischverzehr: logarithmiert

*² Quecksilber im Blut: logarithmiert

Die resultierenden Endmodelle für Männer und Frauen sind mit den standardisierten Regressionskoeffizienten und den Bestimmtheitsmaßen als Pfaddiagramme in den Abbildungen 8.3.1.1 und 8.3.1.2 wiedergegeben.

Abb. 8.3.1.1. Pfaddiagramm mit standardisierten Regressionskoeffizienten (Werte an den Pfaden) und Bestimmtheitsmaßen (Werte an den Variablen), Endmodell für Quecksilber im Blut (Männer)

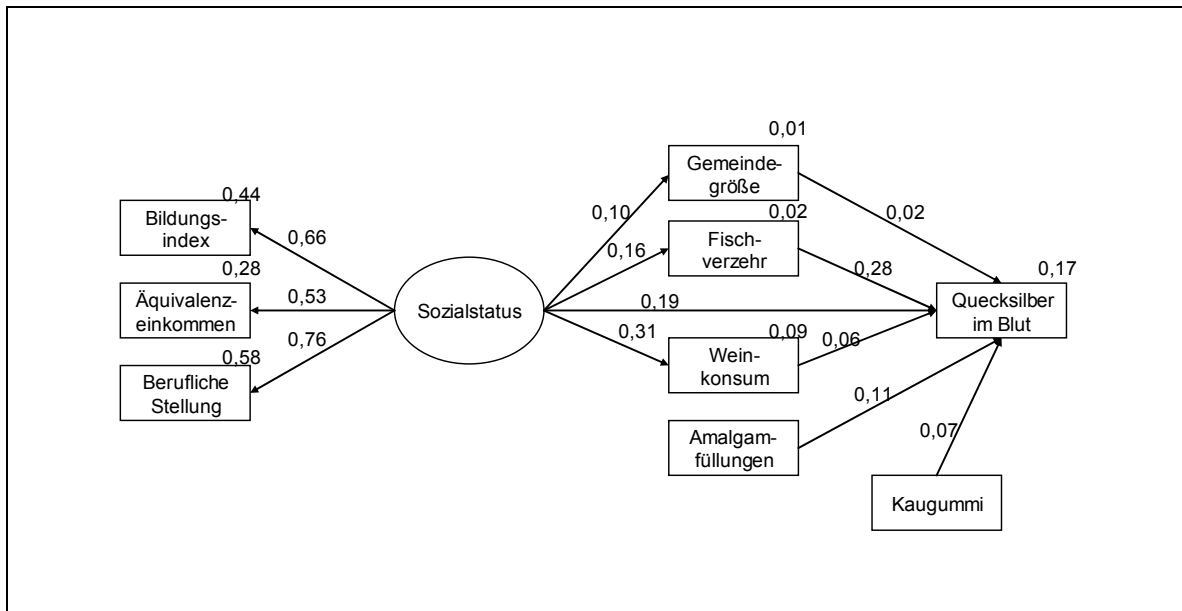
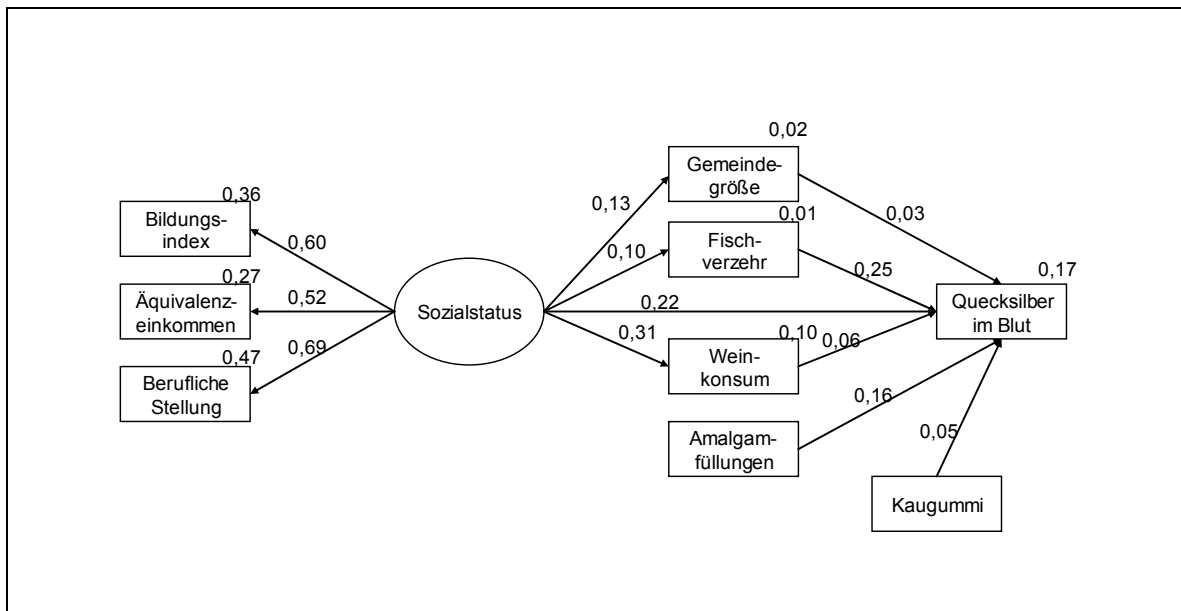


Abb. 8.3.1.2. Pfaddiagramm mit standardisierten Regressionskoeffizienten (Werte an den Pfaden) und Bestimmtheitsmaßen (Werte an den Variablen), Endmodell für Quecksilber im Blut (Frauen)



Verzichtet man auf das hypothetische Konstrukt Sozialstatus und steckt alternativ zum Endmodell jeweils nur einen Sozialindikator als Surrogat für Sozialstatus in das Modell (bei sonst gleich bleibender Modellierung), so wird die Anpassungsgüte bei allen Modellen sogar besser, allerdings nimmt teilweise der Erklärungswert für die Zielgröße etwas ab. Bei den Männern erweist sich berufliche Stellung als aussagekräftigster Sozialindikator, mit 16,1% liegt die durch das Modell erklärte Varianz von Quecksilber im Blut nur gering unter dem des "kompletten" Endmodells. Bei den Frauen bleibt im Modell mit dem ausgewählten Indikator Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen das Bestimmtheitsmaß R^2 für Quecksilber im Blut mit 0,171 genau gleich.

8.3.2 SEM mit Quecksilber im Urin

Bei der Analyse des Hypothesensystems für Quecksilber im Urin konnte, auch nach Entfernung der Kausalbeziehungen zwischen Sozialstatus und Zähne mit Amalgamfüllungen bzw. Sozialstatus und Alter der letzten Amalgamfüllung aus dem SEM, kein Modell mit akzeptablem Model Fit gefunden werden. Untersucht man auch hier statt der latenten Variablen Sozialstatus den Einfluss der Sozialindikatoren einzeln, ergeben sich voll saturierte Modelle ($df=0$) mit einem erklärten Varianzanteil von 46% (Männer) bzw. 54% (Frauen) für die Zielgröße Quecksilber im Urin. Den meisten Beitrag zum Effekt liefern in diesen Modellen bei beiden Geschlechtern – auch hier in Übereinstimmung mit Benemann et al. (2004) – die Prädiktoren Zähne mit Amalgamfüllungen und Kreatinin im Urin. Kaugummikonsum hat hier anders als bei der Zielgröße Quecksilber im Blut einen größeren Anteil am Effekt, das Alter wirkt protektiv. Eine exemplarische Darstellung für Männer und Sozialindikator Bildung wird in Tabelle 8.3.2.1 gegeben.

Da diese alternativen Hypothesensysteme nunmehr aber weder Kausalbeziehungen noch latente Variablen enthalten, erscheint die Anwendung der komplexen SEM Methodik hier nicht mehr angebracht. Das verbleibende Modell entspricht einer klassischen multiplen linearen Regressionsanalyse.

Tabelle 8.3.2.1. Standardisierte Regressionskoeffizienten für modifiziertes Strukturgleichungsmodell Quecksilber im Urin (Männer, N=2200)

	Schätzwert standardisiert	Schätzwert unstandardisiert	95% KI	C.R.
Hg im Urin * ¹ ← Bildung	0,08	0,08	0,05 – 0,11	5,13
Hg im Urin * ¹ ← Amalgamfüllungen	0,38	0,11	0,10 – 0,12	22,06
Hg im Urin * ¹ ← Kaugummi bei Amalgam	0,15	0,10	0,07 – 0,12	7,84
Hg im Urin * ¹ ← Alter	-0,10	-0,08	-0,11 – -0,05	-5,36
Hg im Urin * ¹ ← Kreatinin * ²	0,34	0,73	0,67 – 0,80	22,31
Hg im Urin * ¹ ← Alter Amalgamfüllung* ³	0,09	1,08	0,71 – 1,45	6,93

C.R. = -Critical Ratio

*¹ Quecksilber im Urin: logarithmiert

*² Kreatinin im Morgenurin: logarithmiert

*³ transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung

8.4 Explorative Analyse weiterer Strukturgleichungsmodelle

Strukturgleichungsmodelle bieten weit reichende Möglichkeiten für die Untersuchung von Wirkungszusammenhängen und Kausalbeziehungen. Neben einer detaillierten Aufgliederung der Kausalketten, insbesondere bezüglich der Sozialindikatoren, ist dabei vor allem die gleichzeitige Betrachtung der beiden Zielgrößen Quecksilber im Blut und Quecksilber im Urin in einem einzigen Modell von Interesse. Dies erfordert das Vorliegen einer plausiblen Korrelation zwischen den beiden Kriteriumsvariablen.

Sowohl metallisches Quecksilber als auch organische Quecksilberverbindungen werden nach Aufnahme im Körper über das Blut verteilt. Die Hauptausscheidung von metallischem Quecksilber erfolgt über die Nieren, während organische Quecksilberverbindungen vor allem über Galle und Faeces ausgeschieden werden (Benemann et al. 2004). Somit besteht ein physiologisch plausibler Zusammenhang zwischen den beiden Zielgrößen Quecksilber im Blut und Quecksilber im Urin, der mit SEM in einem einzigen Hypothesensystem dargestellt werden kann.

Daher wurden folgende weitere SEM-Modelle betrachtet:

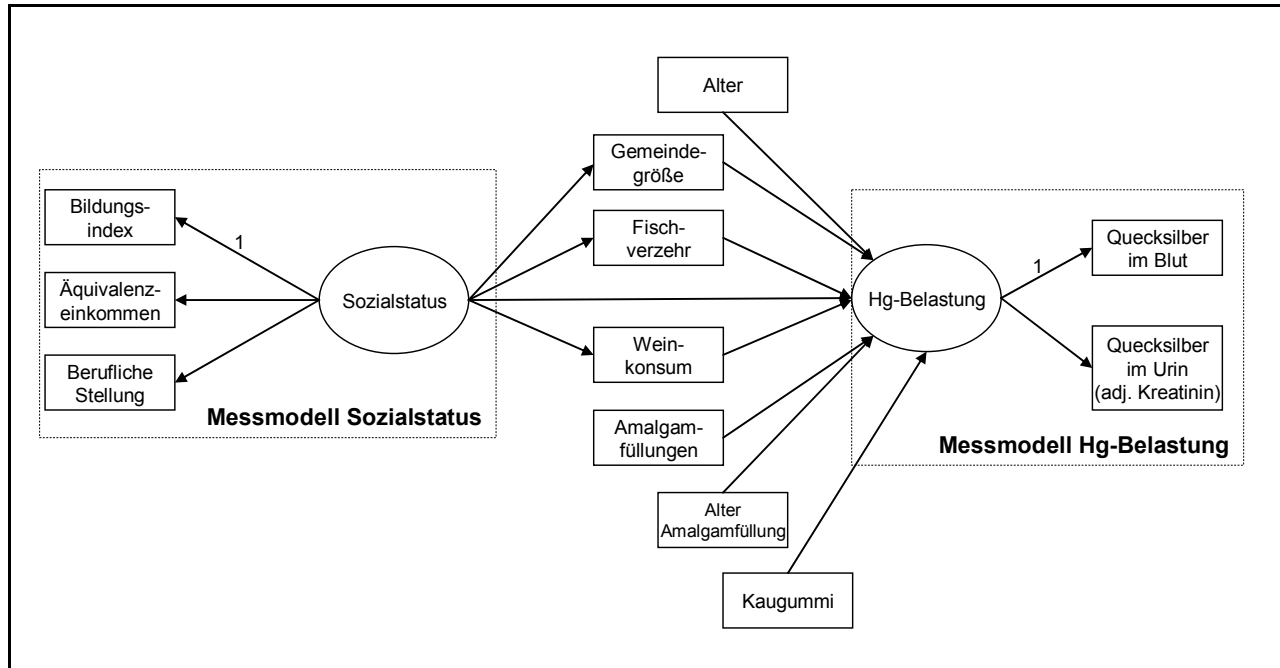
- (1) SEM-Modell mit einer latenten Variable "korporale Quecksilberbelastung", die durch die beiden (Mess-)Variablen Quecksilber im Blut und Quecksilber im Urin operationalisiert wird (Kapitel 8.4.1);
- (2) SEM-Modell mit einer kausalen Abhängigkeit Quecksilber im Blut → Quecksilber im Urin (Kapitel 8.4.2).

8.4.1 SEM-Modell mit einer latenten Variable "korporale Quecksilberbelastung"

Basierend auf den SEM-Modellen des Kapitels 8.3 wurde ein Gesamtmodell erstellt, das beide Zielgrößen, Quecksilber im Blut und Quecksilber im Urin, mit ihren jeweiligen Prädiktoren und Abhängigkeitsbeziehungen enthält. Das Modell mit der latenten Variablen "korporale Quecksilberbelastung" ist graphisch in Abbildung 8.4.1.1 dargestellt. Hier ist zu beachten, dass die Messvariable "Quecksilber im Urin" bereits für Kreatinin adjustiert ist, da Kreatinin nicht als Kontrollvariable in das Messmodell integriert werden kann.

Mit diesem Modell wurde keine befriedigende Anpassungsgüte sowohl bei der Gesamtstruktur als auch bei einzelnen Teilstrukturen erreicht. Dies deutet auf größere Probleme in der Modellspezifikation hin. Das Modell wurde daher in Anbetracht der relativ kleinen Parameteranzahl und damit geringen Modifikationsbandbreite nicht weiter betrachtet.

Abb. 8.4.1.1. Pfaddiagramm für Hypothesenmodell korporale Quecksilberbelastung (Männer und Frauen) mit den latenten Variablen Sozialstatus und korporale Hg-Belastung



Rechtecke repräsentieren manifeste Variablen, Kreise repräsentieren latente Variablen. Fehler- und Residualvariablen sind nicht dargestellt. Variablen, auf die Pfeile hinzeigen, werden als abhängige Variablen betrachtet. Jeweils ein Pfad in einem Messmodell muss als Referenzskala auf 1 gesetzt werden.

8.4.2 SEM-Modell mit einer kausalen Abhängigkeit Quecksilber im Blut → Quecksilber im Urin

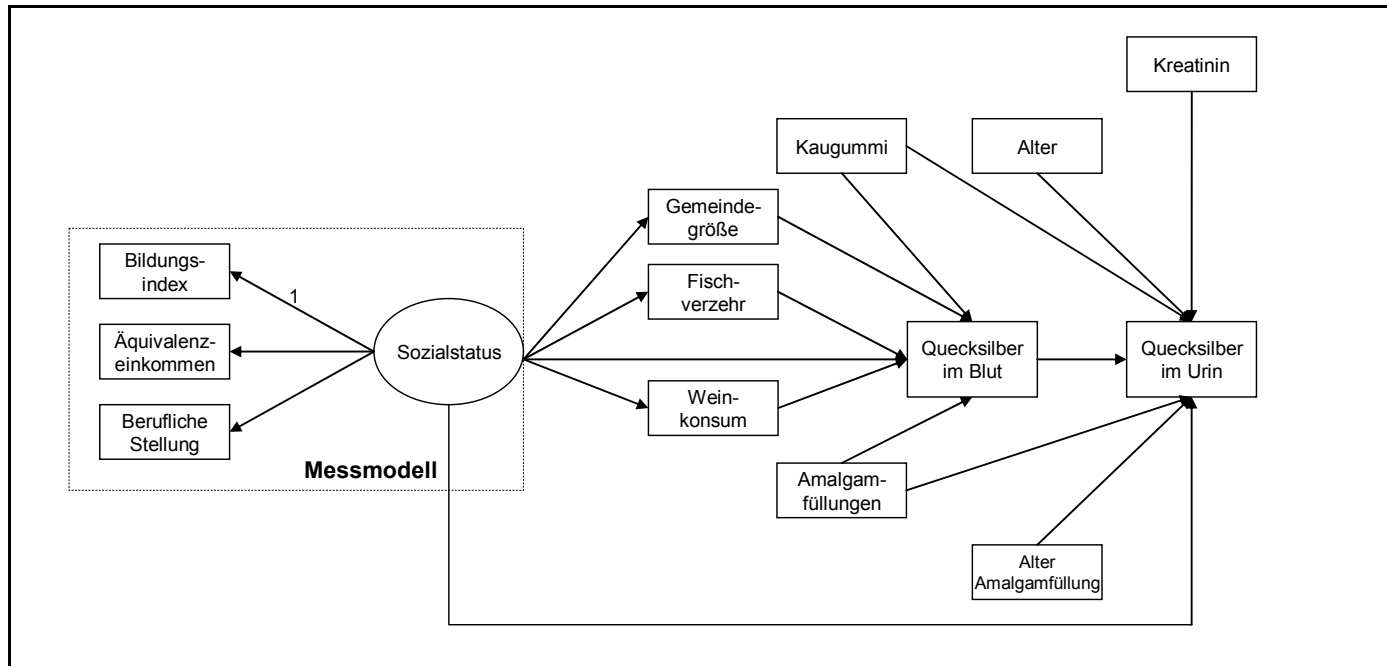
In einem zweiten Schritt wurde ein Gesamtmodell erstellt (Abb. 8.4.2.1), das beide Zielgrößen, Quecksilber im Blut und Quecksilber im Urin in kausaler Abhängigkeit mit ihren jeweiligen Prädiktoren und Abhängigkeitsbeziehungen analog zu den Endmodellen des Kapitels 8.3 enthält.

Auch dieses Modell zeigte keine ausreichende Anpassungsgüte.

Die Modifikationsindices, die Auskunft darüber geben, welche bisher nicht berücksichtigten Abhängigkeitsbeziehungen den stärksten Beitrag zur Verbesserung der Gütekriterien liefern würden, lassen als Hauptursache des schlechten Model-Fits einen deutlichen, aber unterschiedlich starken Einfluss von Alter auf die einzelnen Sozialindikatoren vermuten. Eine Modellerweiterung um den Pfad Alter → Sozialstatus verbesserte zwar die Gütewerte, jedoch nicht ausreichend, um das Ergebnis als akzeptabel bezeichnen zu können.

Daher wurde in einem weiteren Schritt das hypothetische Konstrukt Sozialstatus ersetzt durch ein Beziehungsgeflecht zwischen den einzelnen Sozialindikatoren, das möglicherweise die Realität besser abbildet.

Abb. 8.4.2.1. Pfaddiagramm für Hypothesenmodell Quecksilber in Blut und Urin (Männer und Frauen) mit der latenten Variablen Sozialstatus und einer Abhängigkeitsbeziehung zwischen den Zielgrößen Quecksilber im Blut und Quecksilber im Urin



Rechtecke repräsentieren manifeste Variablen, Kreise repräsentieren latente Variablen. Fehler- und Residualvariablen sind nicht dargestellt. Variablen, auf die Pfeile hinzeigen, werden als abhängige Variablen betrachtet. Jeweils ein Pfad in einem Messmodell muss als Referenzskala auf 1 gesetzt werden.

8.4.3 Pfadmodell mit Quecksilber im Blut → Quecksilber im Urin

Das neue Hypothesenmodell wurde aufgrund der bisherigen Analyseergebnisse und weiterer theoretischer Überlegungen bezüglich der Effekte der Sozialindikatoren aufgestellt:

- H1. Je höher der Bildungsindex ist, desto höher ist das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen.
- H2. Je höher der Bildungsindex ist, desto höher ist die berufliche Stellung.
- H3. Je höher die berufliche Stellung ist, desto höher ist das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen.
- H4. Je höher der Bildungsindex ist, desto größer ist die Gemeinde.
- H5. Je höher das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen ist, desto größer ist die Gemeinde.
- H6. Je höher die berufliche Stellung ist, desto größer ist die Gemeinde.
- H7. Je höher der Bildungsindex ist, desto höher ist die Fischverzehr.
- H8. Je höher der Bildungsindex ist, desto höher ist die Weinkonsum.
- H9. Je größer die Gemeinde ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Blut.
- H10. Je höher der Fischverzehr ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Blut.
- H11. Je höher der Weinkonsum ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Blut.
- H12. Je höher die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Blut.
- H13. Je höher der Kaugummikonsum bei Amalgamfüllungen ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Blut.
- H14. Je höher die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Morgenurin.
- H15. Je höher das Alter der Amalgamfüllungen ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Morgenurin.
- H16. Je höher der Kaugummikonsum bei Amalgamfüllungen ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Morgenurin.
- H17. Je niedriger das Alter ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Morgenurin
- H18. Je höher der Kreatiningehalt im Morgenurin ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Morgenurin.
- H19. Je höher der Quecksilbergehalt im Blut ist, desto höher ist der Quecksilbergehalt im Morgenurin.

Es ist zu beachten, dass es sich hier um ein reines Pfadmodell mit Kausalketten handelt, da nun keine latenten Variablen mehr enthalten sind (Abbildung 8.4.3.1).

Auch für dieses Hypothesenmodell blieben sowohl die Anpassungsgüte für das Gesamtmodell wie auch einzelne Teilstrukturen zunächst unter den erforderlichen Gütewerten. Da das Alter als Einflussfaktor auf die Sozialindikatoren bei der Hypothesenaufstellung noch nicht berücksichtigt war, um im Start-Modell möglichst nahe an den ursprünglichen Einzelmodellen aus Kapitel 8.3 zu bleiben, war dies zu erwarten.

Um die Anpassungsgüte für das Hypothesenmodell zu verbessern, wurde nun versucht, anhand der optional ausgegebenen Modifikationsinformation Anregungen zur Optimierung der aufgestellten Hypothesen zu erhalten. Bei der Modifikation der Modellstruktur wurde wie folgt vorgegangen:

1. Vereinfachung der Modellstruktur durch schrittweise Entfernung aller nicht-signifikanten Pfade.
2. Vergrößerung der Modellstruktur durch schrittweise Hinzunahme weiterer Abhängigkeitsbeziehungen, die anhand des jeweiligen Modifikationsindex mit dem größten Verbesserungspotenzial und aufgrund von Plausibilitätsüberlegungen ausgewählt werden.

Diese Modifikationsschritte wurden solange durchgeführt, bis eine sehr gute Anpassungsgüte erreicht wurde bzw. solange wesentliche Beiträge im Modell nachzuweisen waren.

Auf diese Weise ließen sich für beide Geschlechter sowohl bezüglich der Gesamtstruktur als auch der Teilstrukturen sehr gut angepasste Modelle entwickeln (Frauen: GFI=0,99, AGFI=0,99, $\chi^2(df\ 31)=84,95$, RMSEA=0,032 (90%-KI=0,0224–0,040), Männer: GFI=0,99, AGFI=0,98, $\chi^2(df\ 24)=81,63$, RMSEA=0,037 (90%-KI=0,028–0,046)), es ergaben sich allerdings für Frauen und Männer Modelle in partiell sehr unterschiedlicher Ausprägung (Abbildungen 8.4.3.2 und 8.4.3.3)

Abb. 8.4.3.1. Pfaddiagramm für Hypothesenmodell Quecksilber in Blut und Urin (Männer und Frauen), reines Pfadmodell

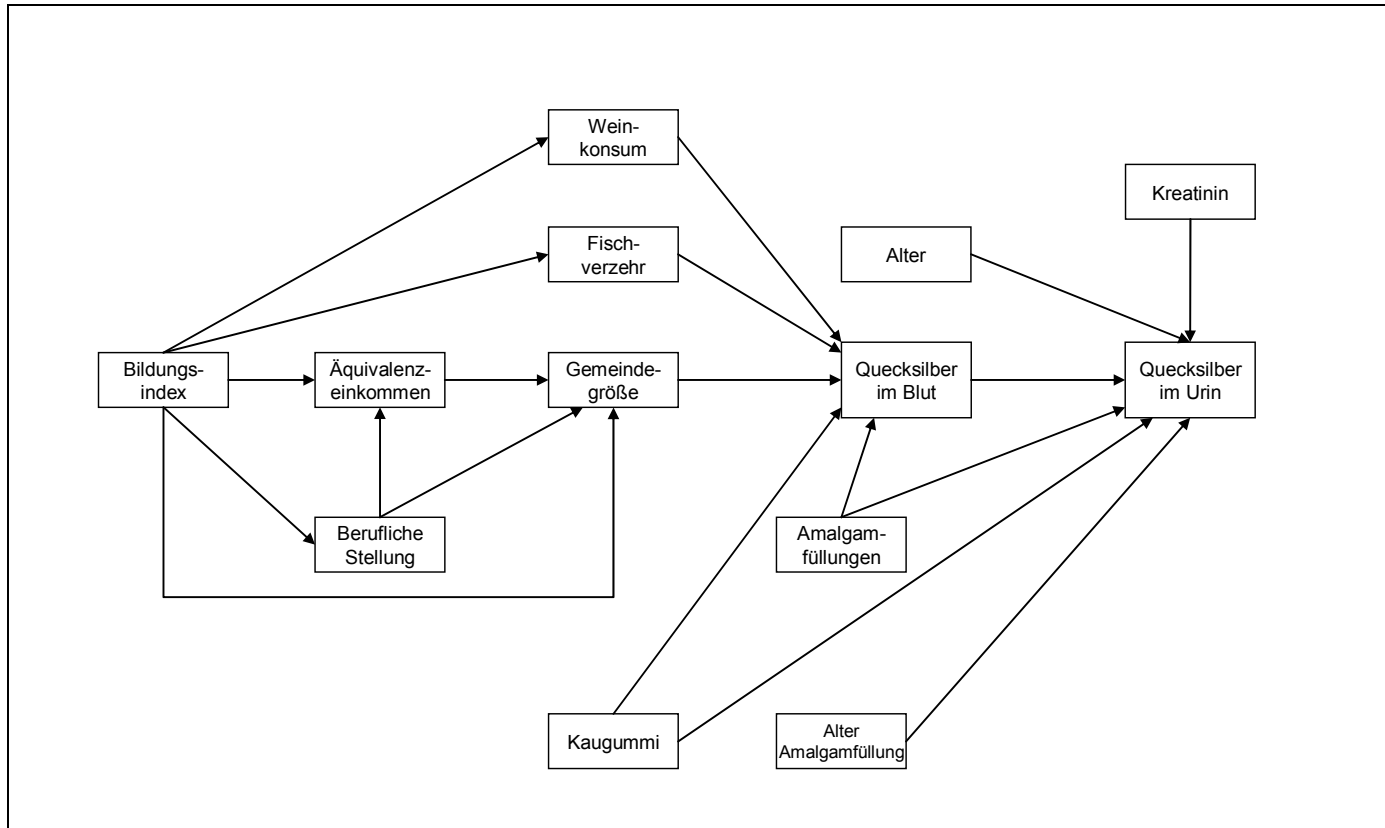


Abb. 8.4.3.2. Pfaddiagramm mit standardisierten Regressionskoeffizienten (Werte an den Pfaden) und Bestimmtheitsmaßen (Werte an den Variablen), Endmodell für Quecksilber in Blut und Urin (Frauen)

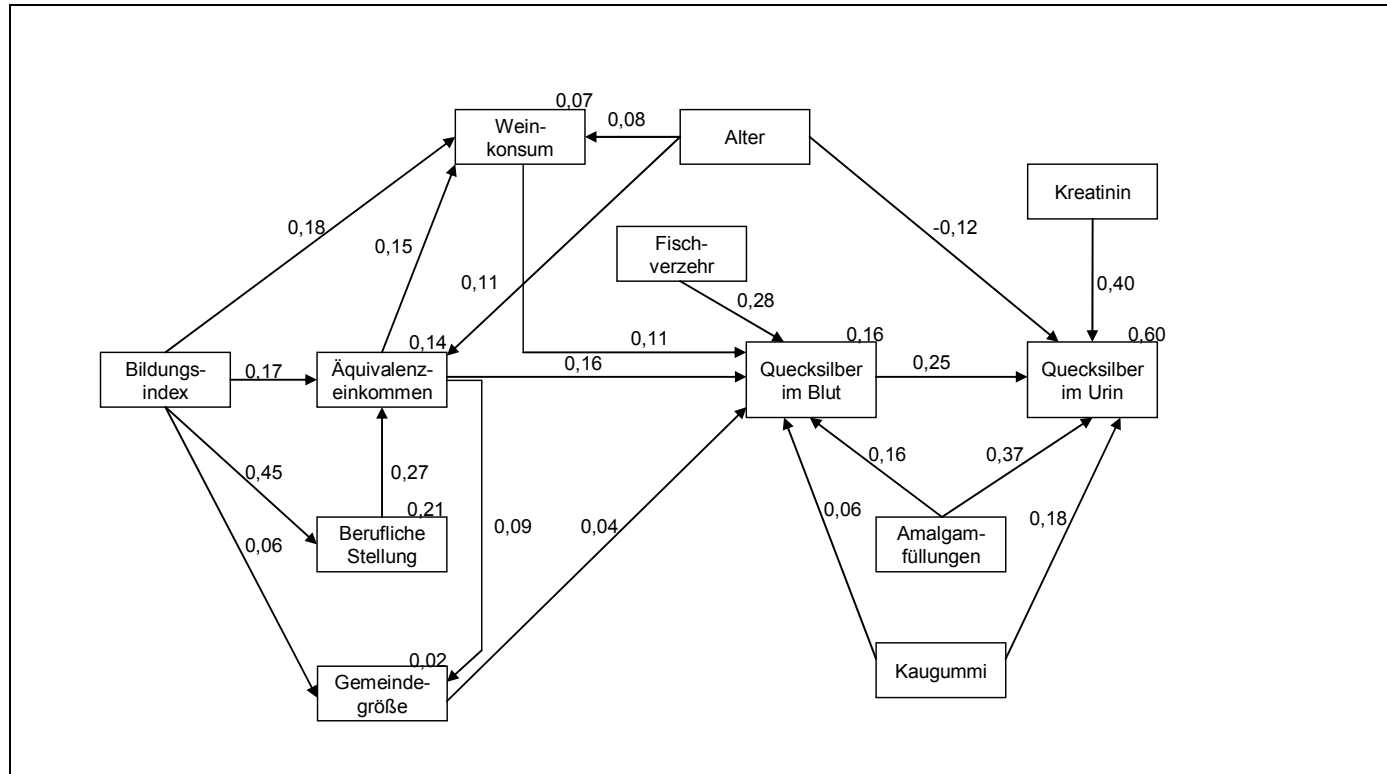
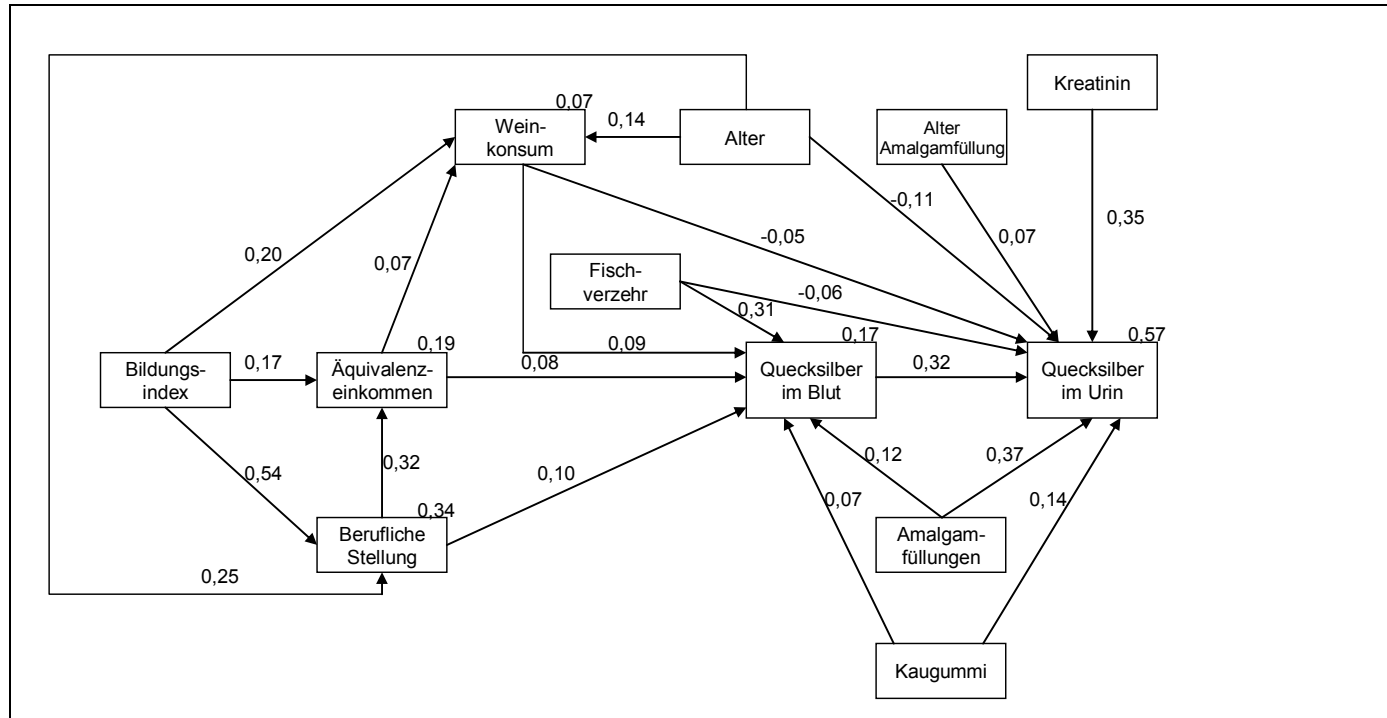


Abb. 8.4.3.3. Pfaddiagramm mit standardisierten Regressionskoeffizienten (Werte an den Pfaden) und Bestimmtheitsmaßen (Werte an den Variablen), Endmodell für Quecksilber in Blut und Urin (Männer)



Die bereits aus den in Kapitel 8.3 dargestellten Analysen bekannten direkten Effekte lassen sich für Männer und Frauen im Wesentlichen auch hier wieder finden. Der Einfluss der einzelnen Sozialindikatoren differiert jedoch bei Frauen und Männern stark (vgl. standardisierte Regressionskoeffizienten in Tabellen 8.4.3.1 und 8.4.3.3). Fischverzehr hat wieder den stärksten Einfluss auf Quecksilber im Blut, nun jedoch gefolgt von Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen. Ein Sozialindikator wird hier erst an dritter Stelle beobachtet, bei den Frauen ist es das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, bei den Männern die berufliche Stellung und fast gleichauf das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen. Wein- und Kaugummikonsum liefern noch geringe Beiträge, die Gemeindegröße ist jetzt bei den Frauen ein (gerade noch) signifikanter Prädiktor.

Quecksilber im Urin wird – wie bereits aus den vorausgegangenen Analysen bekannt – neben der Kontrollvariable Kreatinin am stärksten von der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen beeinflusst, als fast genauso großer Einflussfaktor lässt sich bei beiden Geschlechtern nun das Quecksilber im Blut (0,25 bzw. 0,32) herausrechnen. Kaugummikonsum und Alter (protektiv) besitzen immer noch einen deutlichen Anteil am Effekt, das Alter der Amalgamfüllungen hat nur noch bei den Männern eine geringe Auswirkung, bei den Frauen ist es in diesem Modell nicht mehr signifikant.

Durch die Gesamtbetrachtung aller Prädiktoren in einem einzigen Modell lässt sich bei den Männern auch noch ein leicht protektiver Einfluss von Fischverzehr und Weinkonsum auf Quecksilber im Urin zeigen. Der direkte Effekt der Sozialindikatoren verschwindet hier ganz, steckt aber natürlich indirekt über den Einfluss von Quecksilber im Blut im Modell. Durch die Aufnahme des Wirkungszusammenhangs Quecksilber im Blut → Quecksilber im Urin konnte die durch das Modell erklärte Varianz von Quecksilber im Urin auf 60% bzw. 57% gesteigert werden, die Bestimmtheitsmaße R^2 für Quecksilber im Blut bleiben mit 0,16 und 0,17 dagegen nahezu unverändert (Tabellen 8.4.3.2 und 8.4.3.4).

Tabelle 8.4.3.1. Standardisierte und unstandardisierte Regressionskoeffizienten für Pfadmodell Quecksilber in Blut und Urin (Frauen, N=1684)

	Schätzwert standardisiert	Schätzwert unstandardisiert	95% KI	C.R.
Äquivalenz-Einkommen ← Bildungsindex	0,17	0,19	0,13 – 0,24	6,89
Äquivalenz-Einkommen ← Berufl. Stellung	0,27	0,26	0,21 – 0,30	10,66
Äquivalenz-Einkommen ← Alter	0,11	0,09	0,06 – 0,13	5,00
Berufliche Stellung ← Bildungsindex	0,45	0,51	0,47 – 0,56	22,45
Gemeindegröße ← Bildungsindex	0,06	0,08	0,01 – 0,14	2,40
Gemeindegröße ← Äquivalenz-Einkommen	0,09	0,11	0,05 – 0,17	3,82
Weinkonsum ← Bildungsindex	0,18	0,20	0,14 – 0,27	6,24
Weinkonsum ← Äquivalenz-Einkommen	0,15	0,16	0,11 – 0,21	6,02
Weinkonsum ← Alter	0,08	0,07	0,03 – 0,11	3,56
Hg im Blut * ² ← Äquivalenz-Einkommen	0,16	0,13	0,10 – 0,17	7,25
Hg im Blut * ² ← Gemeindegröße	0,04	0,03	0,00 – 0,06	2,07
Hg im Blut * ² ← Fischverzehr * ¹	0,28	0,21	0,18 – 0,24	12,43
Hg im Blut * ² ← Weinkonsum	0,11	0,09	0,05 – 0,12	4,84
Hg im Blut * ² ← Amalgamfüllungen	0,16	0,04	0,03 – 0,05	7,51
Hg im Blut * ² ← Kaugummi bei Amalgam	0,06	0,02	0,01 – 0,04	2,55
Hg im Urin * ³ ← Amalgamfüllungen	0,37	0,12	0,11 – 0,13	22,73
Hg im Urin * ³ ← Kaugummi bei Amalgam	0,18	0,11	0,09 – 0,13	10,76
Hg im Urin * ³ ← Alter	-0,12	-0,11	-0,14 – -0,08	-6,92
Hg im Urin * ³ ← Kreatinin * ⁴	0,40	0,83	0,77 – 0,90	24,99
Hg im Urin * ³ ← Hg im Blut * ²	0,25	0,35	0,31 – 0,39	16,81

C.R. = -Critical Ratio

*¹ Fischverzehr: logarithmiert

*² Quecksilber im Blut: logarithmiert

*³ Quecksilber im Urin: logarithmiert

*⁴ Kreatinin im Morgenurin: logarithmiert

Tabelle 8.4.3.2. Erklärter Varianzanteil der abhängigen Variablen im Pfadmodell Quecksilber in Blut und Urin (Frauen, N=1684)

	Schätzwert R ²
Äquivalenz-Einkommen	0,14
Berufliche Stellung	0,21
Gemeindegröße	0,02
Weinkonsum	0,07
Hg im Blut * ¹	0,16
Hg im Urin * ²	0,60

*¹ Quecksilber im Blut: logarithmiert

*² Quecksilber im Urin: logarithmiert

Tabelle 8.4.3.3. Standardisierte und unstandardisierte Regressionskoeffizienten für Pfadmodell Quecksilber in Blut und Urin (Männer, N=1787)

	Schätzwert standardisiert	Schätzwert unstandardisiert	95% KI	C.R.
Äquivalenz-Einkommen $\leftarrow$ Bildungsindex	0,17	0,17	0,12 – 0,22	6,81
Äquivalenz-Einkommen $\leftarrow$ Berufl. Stellung	0,32	0,32	0,27 – 0,37	12,58
Berufliche Stellung $\leftarrow$ Bildungsindex	0,54	0,53	0,50 – 0,57	30,05
Berufliche Stellung $\leftarrow$ Alter	0,25	0,21	0,17 – 0,23	13,25
Weinkonsum $\leftarrow$ Bildungsindex	0,20	0,22	0,16 – 0,28	7,19
Weinkonsum $\leftarrow$ Äquivalenz-Einkommen	0,07	0,07	0,02 – 0,13	2,63
Weinkonsum $\leftarrow$ Alter	0,14	0,12	0,08 – 0,16	6,30
Hg im Blut $\ast^2 \leftarrow$ Äquivalenz-Einkommen	0,08	0,07	0,03 – 0,10	3,39
Hg im Blut $\ast^2 \leftarrow$ Berufliche Stellung	0,10	0,08	0,05 – 0,12	4,60
Hg im Blut $\ast^2 \leftarrow$ Fischverzehr $\ast^1$	0,31	0,24	0,21 – 0,27	14,43
Hg im Blut $\ast^2 \leftarrow$ Weinkonsum	0,09	0,06	0,03 – 0,10	3,88
Hg im Blut $\ast^2 \leftarrow$ Amalgamfüllungen	0,12	0,03	0,02 – 0,04	5,61
Hg im Blut $\ast^2 \leftarrow$ Kaugummi bei Amalgam	0,07	0,04	0,02 – 0,06	3,39
Hg im Urin $\ast^3 \leftarrow$ Fischverzehr $\ast^1$	-0,06	-0,06	-0,09 – -0,03	-3,55
Hg im Urin $\ast^3 \leftarrow$ Weinkonsum	-0,05	-0,05	-0,08 – -0,02	-3,55
Hg im Urin $\ast^3 \leftarrow$ Amalgamfüllungen	0,37	0,11	0,10 – 0,12	21,30
Hg im Urin $\ast^3 \leftarrow$ Kaugummi bei Amalgam	0,14	0,09	0,07 – 0,12	7,76
Hg im Urin $\ast^3 \leftarrow$ Alter	-0,11	-0,09	-0,12 – -0,07	-6,55
Hg im Urin $\ast^3 \leftarrow$ Kreatinin $\ast^4$	0,35	0,76	0,70 – 0,82	23,75
Hg im Urin $\ast^3 \leftarrow$ Alter Amalgamfüllung $\ast^5$	0,07	0,90	0,54 – 1,26	4,87
Hg im Urin $\ast^3 \leftarrow$ Hg im Blut $\ast^2$	0,32	0,41	0,37 – 0,45	19,45

C.R. = -Critical Ratio

$\ast^1$ Fischverzehr: logarithmiert

$\ast^2$ Quecksilber im Blut: logarithmiert

$\ast^3$ Quecksilber im Urin: logarithmiert

$\ast^4$ Kreatinin im Morgenurin: logarithmiert

$\ast^5$ transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung

Tabelle 8.4.3.4. Erklärter Varianzanteil der abhängigen Variablen im Pfadmodell Quecksilber in Blut und Urin (Männer, N=1787)

	Schätzwert R^2
Äquivalenz-Einkommen	0,19
Berufliche Stellung	0,34
Weinkonsum	0,07
Hg im Blut $\ast^1$	0,17
Hg im Urin $\ast^2$	0,57

$\ast^1$ Quecksilber im Blut: logarithmiert

$\ast^2$ Quecksilber im Urin: logarithmiert

Von besonderem Interesse bei dieser Modellierung sind neben der Auswirkung von Quecksilber im Blut auf Quecksilber im Urin auch die Kausalbeziehungen der einzelnen Sozialindikatoren. Hier treten die deutlichsten Unterschiede zwischen den Geschlechtern auf. Nicht überraschend ist der sehr starke Einfluss von Bildungsindex auf berufliche Stellung und von beruflicher Stellung auf das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen, bei Männern äußert sich dies jedoch stärker ausgeprägt als bei den Frauen.

Im Vergleich dazu tendiert die Kausalbeziehung Bildungsindex $\rightarrow$ Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen bei beiden Geschlechtern etwas schwächer. Der Einfluss von Alter ist vorwiegend bei den Männern wirksam, bei denen dadurch vorrangig die berufliche Stellung geprägt wird. Bei den Frauen lässt sich dagegen ein etwas geringerer Effekt von Alter auf das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen beobachten. Weitere nahe liegende Wirkungszusammenhänge wie zwischen Bildungsindex bzw. Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und Weinkonsum können mit dieser Modellvariante ebenfalls aufgezeigt werden.

Die hier dargestellten mehrstufigen und insgesamt wesentlich komplexeren Kausalketten führen zu einer Zunahme der indirekten Effekte im Modell, also derjenigen Effekte, die auf indirektem Wege über Intermediärvariablen auf andere Variablen einwirken. Diese indirekten Effekte und die daraus resultierenden tatsächlichen Gesamteffekte der Prädiktoren sind als unstandardisierte Schätzwerte für die Zielgrößen Quecksilber im Blut und Quecksilber im Urin in den Tabellen 8.4.3.5 und 8.4.3.6 zusammengestellt.

Quecksilber im Urin ist im Unterschied zu dem Einzelmodell in Kapitel 8.3 durch die indirekten Pfade jetzt auch abhängig von den vorher nur auf Quecksilber im Blut wirkenden Prädiktoren Weinkonsum und Fischverzehr, bei Frauen ausschließlich über diesen indirekten Weg. Bei Männern addieren sich die indirekten Effekte mit den direkten zu veränderten, kleineren - da die protektiven Direkteffekte von den negativen indirekten Effekten gemindert bzw. umgedreht werden - Gesamteffekten. Die Sozialindikatoren dagegen wirken jetzt ausschließlich über die Kausalkette

Sozialindikator $\rightarrow$... $\rightarrow$ Quecksilber im Blut auf Quecksilber im Urin.

Der im Einzelmodell für Quecksilber im Urin gefundene minimale direkte Einfluss einzelner Sozialindikatoren besteht nicht mehr.

Tabelle 8.4.3.5. Indirekte Effekte und Gesamteffekte (unstandardisierte Schätzwerte) der Prädiktoren auf die Zielgrößen im Pfadmodell Quecksilber in Blut und Urin (Frauen, N=1684)

	indirekter Effekt	Gesamteffekt	indirekter Effekt	Gesamteffekt
	auf Hg im Blut * ¹		auf Hg im Urin * ²	
Bildungsindex	0,07	0,07	0,02	0,02
Äquivalenz-Einkommen	0,02	0,15	0,05	0,05
Berufliche Stellung	0,04	0,04	0,01	0,01
Gemeindegröße	0,00	0,03	0,01	0,01
Fischverzehr * ³	0,00	0,21	0,07	0,07
Weinkonsum	0,00	0,09	0,03	0,03
Amalgamfüllungen	0,00	0,04	0,01	0,13
Kaugummi bei Amalgam	0,00	0,02	0,01	0,12
Alter	0,02	0,02	0,01	-0,10
Kreatinin * ⁴	--	--	0,00	0,83

*¹ Quecksilber im Blut: logarithmiert

*² Quecksilber im Urin: logarithmiert

*³ Fischverzehr: logarithmiert

*⁴ Kreatinin im Morgenurin: logarithmiert

Tabelle 8.4.3.6. Indirekte Effekte und Gesamteffekte (unstandardisierte Schätzwerte) der Prädiktoren auf die Zielgrößen im Pfadmodell Quecksilber in Blut und Urin (Männer, N=1787)

	indirekter Effekt	Gesamteffekt	indirekter Effekt	Gesamteffekt
	auf Hg im Blut * ¹		auf Hg im Urin * ²	
Bildungsindex	0,08	0,08	0,02	0,02
Äquivalenz-Einkommen	0,005	0,07	0,02	0,02
Berufliche Stellung	0,02	0,11	0,04	0,04
Fischverzehr * ³	0,00	0,24	0,10	0,04
Weinkonsum	0,00	0,06	0,03	-0,02
Amalgamfüllungen	0,00	0,03	0,01	0,12
Kaugummi bei Amalgam	0,00	0,04	0,02	0,11
Alter	0,03	0,03	0,006	-0,09
Alter Amalgamfüllung * ⁴	--	--	0,00	0,90
Kreatinin * ⁵	--	--	0,00	0,76

*¹ Quecksilber im Blut: logarithmiert

*² Quecksilber im Urin: logarithmiert

*³ Fischverzehr: logarithmiert

*⁴ transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung

*⁵ Kreatinin im Morgenurin: logarithmiert

8.5 Anmerkung zu den Strukturgleichungsmodellen

Strukturgleichungsmodelle bieten ein sehr mächtiges Instrumentarium, um komplexe Sachverhalte wirklichkeitsnah zu modellieren und zu analysieren. In der kurzen zur Verfügung stehenden Zeit konnten nicht alle Facetten dieser Methodik untersucht und getestet werden.

Anzuraten ist eine weitere, vertiefte Beschäftigung mit den Möglichkeiten der Modellmodifikation, die SEM bzw. die Prozedur CALIS über die Modifikationsindices anbietet. Damit könnte man eventuell noch für Teilstrukturen der Hypothesenmodelle eine verbesserte Anpassungsgüte erreichen.

Ebenso sollte überprüft werden, ob das hypothetische Konstrukt Sozialstatus für das vorliegende Datenmaterial die optimale Modellierung ist oder ob eine alternative Modellierung der kausalen Zusammenhänge der Sozialindikatoren untereinander über ein reines Pfadmodell mit Kausalketten der Realität nicht besser entspricht. Dies wurde in einem ersten Schritt mit dem Modell in Kapitel 8.4.3 versucht.

Bei der Interpretation der Ergebnisse muss bedacht werden, dass die zahlreichen Modifikationen des aufgestellten Hypothesenmodells eher einer explorativen Datenanalyse als einer konfirmatorischen Vorgehensweise entsprechen. Ideal wäre die Möglichkeit, ein modifiziertes Hypothesenmodell an einem neuen Datensatz zu überprüfen. Die für diese Zwecke oft übliche Aufspaltung des Datenmaterials in eine Lern- und eine Teststichprobe konnte in unserem Fall aufgrund der resultierenden zu geringen Fallzahlen nicht durchgeführt werden.

Für das hier beschriebene Modell wurden die Modifikationsindices nur bis zu einem bestimmten Verbesserungsgrad des Modells ausgewertet, um nicht gänzlich den konfirmatorischen Ansatz aus den Augen zu verlieren. Es sind im Endmodell also nicht alle möglichen signifikanten Pfade enthalten, sondern nur die, die die Anpassungsgüte am deutlichsten steigern ließen (und gleichzeitig plausibel schienen). Das bedeutet aber auch, dass ausgelassene signifikante Pfade nur einen geringen Beitrag zum Effekt erbracht hätten.

Auffällig und unerwartet im hier erfolgten Modifikationsprozess ist, dass sich keine rekursiven Abhängigkeiten im Modell ergeben haben. So wäre z.B. neben dem Einfluss des Alters auf einzelne Prädiktoren auch umgekehrt eine kausale Abhängigkeit des

Alters von Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen oder Weinkonsum (im Sinne einer Beeinflussung der Lebenserwartung) durchaus denkbar.

Für die SEM-Analysen im Rahmen der kurzen Projektlaufzeit musste auf das bereits vorhandene Statistiksoftwarepaket SAS mit der Prozedur CALIS zurückgegriffen werden. Damit verbunden war die Einschränkung, dass keine nominalen Variablen und somit nicht alle interessierenden Indikatoren der sozialen Lage bzw. Prädiktoren in die SEM eingezogen werden konnten.

Insgesamt kann angemerkt werden, dass Strukturgleichungsmodelle ihr volles Potenzial vor allem bei komplexen Wirkungszusammenhängen entfalten. Zusammen mit der oben erprobten Modellierung von Kausalketten bezüglich der Sozialindikatoren und der Betrachtung einer latenten Variablen "korporale Schadstoffbelastung" kann eine deutlich vielschichtigere Fragestellung untersucht werden als in gängigen linearen oder ordinal logistischen Regressionsanalysen.

9 Vergleichende Zusammenfassende der Ergebnisse

Im 2. Projektabschnitt wurde die Assoziation sozioökonomischer Faktoren mit der korporalen Quecksilberbelastung mittels multipler linearer Regression (Kapitel 6), ordinal logistischer Regression (Kapitel 7) und Strukturgleichungsmodellen (Kapitel 8) untersucht. Das Ziel der multivariaten Analysen war herauszufinden, welche sozioökonomischen Faktoren mit der Zielgröße Quecksilbergehalt im Blut bzw. Urin assoziiert sind und ob diese Assoziationen durch die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren erklärt werden können.

In Tabelle 9.1 sind die Ergebnisse für die multiple lineare Regression und die ordinale logistische Regression vereinfacht schematisch dargestellt. Die beiden statistischen Verfahren ergaben gleiche Ergebnisse: Die einzelnen sozioökonomischen Faktoren waren teilweise unabhängig voneinander mit der Zielgröße assoziiert. Bei Frauen war vor allem das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen mit der Quecksilberkonzentration im Blut assoziiert, bei Männern war es die berufliche Stellung. Die Assoziationen waren bei Betrachtung der Zielgröße Quecksilber im Urin schwächer; Bildung und Berufstätigkeit war bei beiden Geschlechtern von Bedeutung. Die Effekte der sozioökonomischen Faktoren auf die Quecksilberbelastung konnten nicht vollständig durch die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren erklärt werden.

Bei den Variablen Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und berufliche Stellung wurden Personen ohne Angaben als eigene Kategorie in die Analysen einbezogen. Im Hinblick auf die beobachteten Assoziationen mit den beiden Zielgrößen entsprach bei Frauen die Kategorie "keine Angabe" bei den Merkmalen Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und berufliche Stellung der Kategorie eines niedrigen Einkommens bzw. einer niedrigen beruflichen Stellung. Bei Männern entsprach nur die Kategorie "keine Angabe" bei dem Merkmal Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen der Kategorie eines niedrigen Einkommens; die Kategorie "keine Angabe" bei dem Merkmal berufliche Stellung hingegen der Kategorie einer hohen beruflichen Stellung.

Zur Illustration sind die Ergebnisse der Regressionen zu Quecksilber im Blut (vgl. Tabellen 6.1.1.1, 6.1.1.2, 7.3.2, 7.3.3) nochmals in den Abbildungen 9.1 (Frauen) und 9.2 (Männer) dargestellt.

Tabelle 9.1. Vereinfachte Darstellung der Assoziation sozioökonomischer Faktoren mit der korporalen Quecksilberbelastung

	Multiple lineare Regression						Ordinale logistische Regression					
	Frauen			Männer			Frauen			Männer		
	M1	M2	M4	M1	M2	M4	M1	M2	M4	M1	M2	M4
Quecksilber im Blut												
Bildungsindex	↑↑	↑	↔	↑↑	↑	↑	↑↑	↑	↔	↑↑	↑	↑
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↔	↔	↑↑	↑↑	↑↑	↑↑	↔	↔
Berufstätigkeit	↑	↔	↔	↑	↑	↑	↑	↔	↔	↑	↑	↑
Berufliche Stellung	↑↑	↑	↔	↑↑	↑↑	↑	↑↑	↔	↔	↑↑	↑↑	↑
Quecksilber im Urin												
Bildungsindex	↑	↑	↔	↑	↑	↑	↑	↑	↔	↑	↑	↑
Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen	↑	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔	↔
Berufstätigkeit	↑↑	↑	↔	↑	↑	↔	↑↑	↑	↔	↑	↑	↔
Berufliche Stellung	↑↑	↔	↔	↑	↔	↔	↑↑	↔	↔	↑↑	↔	↔

M1: Sozioökonomische Faktoren einzeln im Modell; M2: sozioökonomische Faktoren gemeinsam im Modell; M4: sozioökonomische Faktoren gemeinsam mit Confoundern und Intermediärfaktoren (= Prädiktoren nach Benemann et al. 2004) im Modell

↑: positive Assoziation, d.h. hohe Quecksilberkonzentration bei hoher Kategorie des Sozialindikators

↔: keine Assoziation

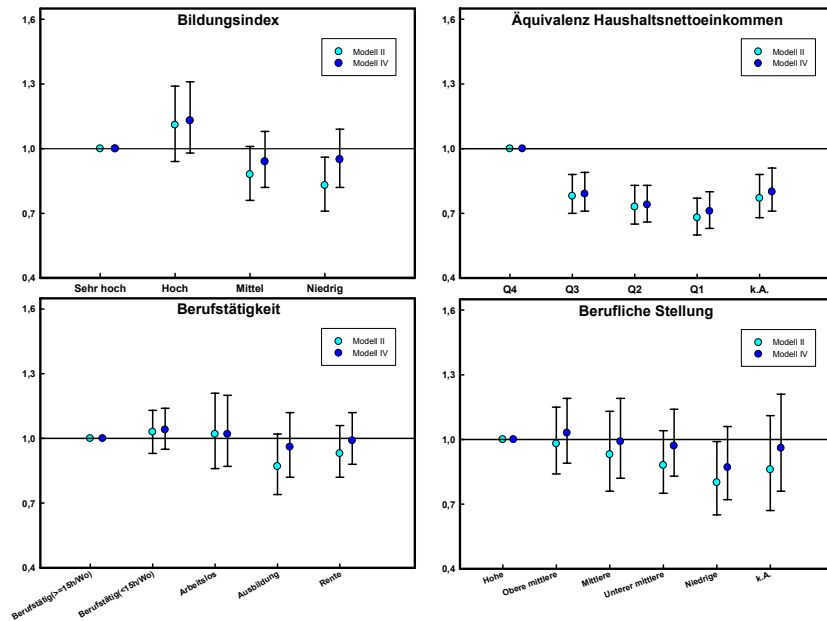
Ein unmittelbarer Vergleich der Ergebnisse der multiplen linearen Regression und der ordinalen logistischen Regression mit den Ergebnissen der Strukturgleichungsmodellen (SEM) für die Zielgröße Quecksilberkonzentration im Blut ist aus inhaltlichen und methodischen Gründen nur eingeschränkt möglich.

Zum einen konnten in den SEM nominal skalierte Variablen wie z.B. Berufstätigkeit sowie die Kategorien "keine Angabe" bei ordinalen Variablen nicht betrachtet werden. Zum anderen wurden die Variablen Bildungsindex, Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen und berufliche Stellung als Messindikatoren eingesetzt, um die latente Variable Sozialstatus im SEM betrachten zu können.

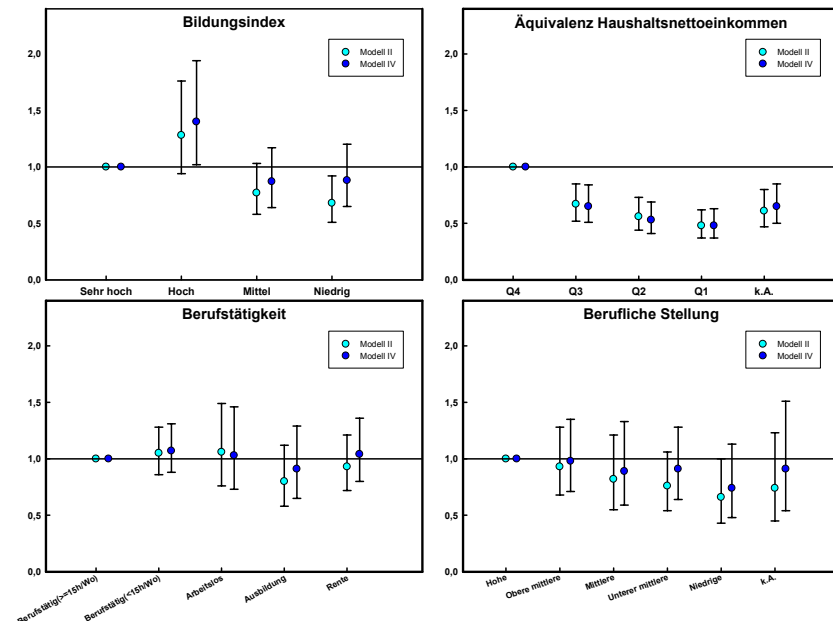
Analog zu den beiden anderen Verfahren ergaben die SEM für Quecksilber im Blut bei Männern und Frauen sowohl indirekte, durch die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren erklärte Effekte der latenten Variablen Sozialstatus auf die Zielgröße als auch noch verbleibende direkte Effekte. Bei Männern war die berufliche Stellung der aussagekräftigste Indikator, bei Frauen das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen.

Abb. 9.1. Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und der Quecksilberkonzentration im Blut bei Frauen

Multiple lineare Regression



Ordinale logistische Regression



Modell II: Sozioökonomische Faktoren gemeinsam im Modell

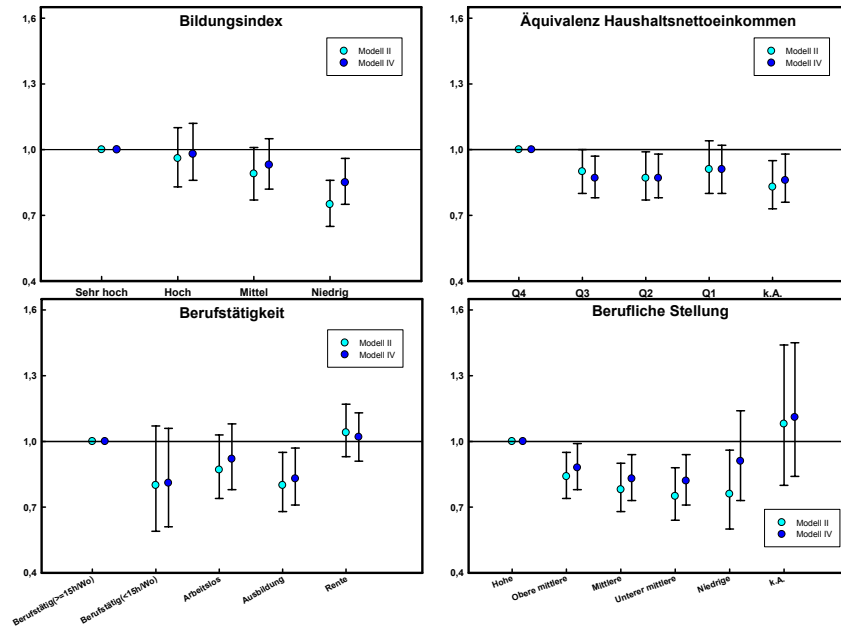
Modell IV: Sozioökonomische Faktoren gemeinsam mit Confoundern und Intermediärfaktoren (= Prädiktoren nach Benemann et al. 2004)

k.A.: keine Angabe; Q1 = 1. Quartil

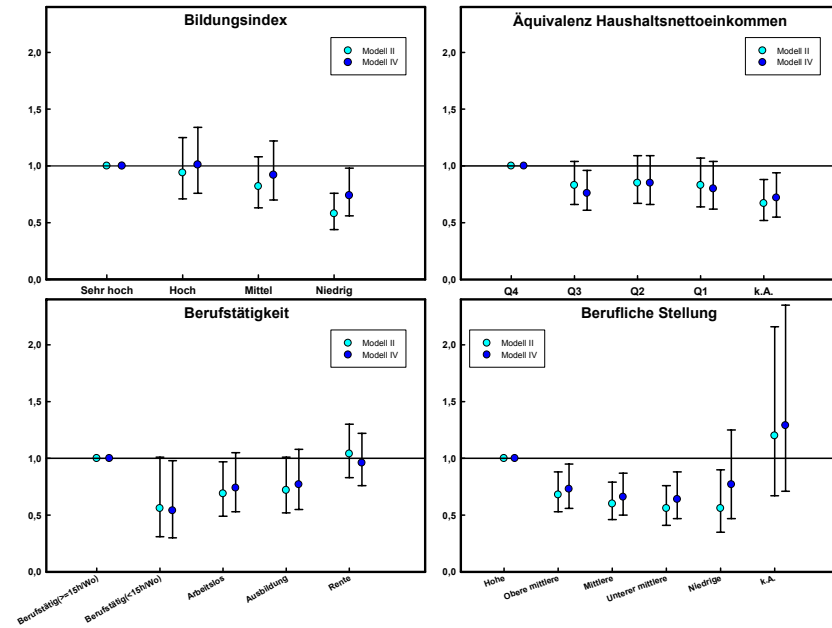
Siehe auch Tabellen 6.1.1.1 und 7.3.2.

Abb. 9.2. Zusammenhang zwischen sozioökonomischen Faktoren und der Quecksilberkonzentration im Blut bei Männern

Multiple lineare Regression



Ordinale logistische Regression



Modell II: Sozioökonomische Faktoren gemeinsam im Modell

Modell IV: Sozioökonomische Faktoren gemeinsam mit Confoundern und Intermediärfaktoren (= Prädiktoren nach Benemann et al. 2004)

k.A.: keine Angabe; Q1 = 1. Quartil

Siehe auch Tabellen 6.1.1.2 und 7.3.3.

10 Ausblick: Implikationen für Auswertestrategien zu sozialer Lage und korporaler Schadstoffbelastung bei anderen Datensätzen

Das Ziel des Teilprojekts B im Rahmen des Projekts "Sozioökonomische Faktoren und Umweltbelastungen in Deutschland - aktueller Erkenntnisstand und exemplarische Analysen ausgewählter Umweltschadstoffe" war die Entwicklung einer Strategie zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung anhand der Daten des Umwelt-Survey 1998 und des Bundes-Gesundheitssurvey 1998.

Aus den Ergebnissen des Teilprojekts B der exemplarischen Analyse der Quecksilberbelastung im Blut und Urin von Erwachsenen nach sozialer Lage lassen sich folgende wesentliche Elemente einer Vorgehensweise zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung ableiten:

- Nach Geschlecht stratifizierte Analyse, da - zumindest bei Erwachsenen - Geschlechtsunterschiede bei den sozioökonomischen Faktoren wie z.B. Einkommen und berufliche Stellung bestehen.

Bei Einsatz von Regressionsverfahren wie multipler linearer Regression oder ordinaler logistischer Regression:

- Vergleichende Betrachtung von einzelnen sozioökonomischen Faktoren, da diese unterschiedlich stark mit der Zielgröße assoziiert sein können.
- Schrittweise Modellierung im Sinne der "causal steps strategy" zur Abschätzung indirekter, durch Intermediärfaktoren vermittelter, und direkter, durch die eingesetzten Prädiktoren nicht erklärbarer, Effekte der sozioökonomischen Faktoren.

Bei Einsatz von Strukturgleichungsmodellen:

- Betrachtung der sozialen Lage bzw. des Sozialstatus als latente Variable, die durch mehrere sozioökonomische Faktoren als Messindikatoren identifiziert werden kann.
- Gleichzeitige Betrachtung mehrere Zielgrößen in einem Strukturgleichungsmodell, wenn der interessierende Schadstoff beispielsweise im Blut und im Urin gemessen wurde. Dies kann durch Modellierung einer latenten Variable "korporale Schadstoffbelastung" erfolgen oder bei entsprechender biologischer Plausibilität durch Modellierung einer kausalen Abhängigkeit zwischen der Schadstoffbelastung in Blut und im Urin.

Im konkreten Auswertungsfall sind die vorliegende Datenstruktur und die jeweiligen Modellvoraussetzungen zu beachten. Wenn Strukturgleichungsmodelle eingesetzt werden sollen, ist bei einer hohen Anzahl fehlender Werte bei Variablen zu sozio-ökonomischen Faktoren eine Imputation zumindest im Rahmen von Sensitivitätsanalysen in Betracht zu ziehen.

Gerade für die Analyse umfangreicher Daten zur Beziehung zwischen sozialer Lage und korporaler Schadstoffbelastung sind Strukturgleichungsmodelle von Interesse, da sie die detaillierte Darstellung komplexer Kausalketten erlauben.

In die Auswertung der Daten des Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 sollten weitere Faktoren der sozialen Lage, die besonders für die Lebenssituation von Kindern relevant sind wie z.B. Ein-Eltern-Familie, einbezogen werden.

11 Zusammenfassung

In Deutschland wurde bisher der Zusammenhang der korporalen Schadstoffbelastung der Bevölkerung mit sozioökonomischen Faktoren als Indikatoren der sozialen Lage nicht systematisch untersucht. Daher war das Ziel des Teilprojekts B, eine Strategie zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung anhand der Daten des Umwelt-Survey 1998 und des Bundes-Gesundheitssurvey 1998 zu entwickeln.

Bivariate Analysen wurden mit den Zielgrößen Metabolite polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) im Urin und Quecksilber im Urin und im Blut durchgeführt. Zur Charakterisierung der sozialen Lage wurden Bildung, Einkommen, Berufstätigkeit, berufliche Stellung und Migrationshintergrund verwendet.

Als multivariate Verfahren wurden multiple lineare Regression, ordinale logistische Regression und Strukturgleichungsmodelle mit der Zielgröße korporale Belastung mit Quecksilber eingesetzt. Wesentliche Grundannahmen hierbei waren, dass sozioökonomische Merkmale distale Ursachen darstellen, deren Effekte durch proximale Faktoren wie z.B. Ernährung oder gesundheitsrelevantes Verhalten vermittelt werden, und dass sozioökonomische Indikatoren (vor allem Bildung, Einkommen und berufliche Stellung als wesentliche Dimensionen) separat betrachtet werden sollten, da sie verschiedene Phänomene messen. Alle Analysen wurden nach Geschlecht stratifiziert durchgeführt, um Geschlechtsspezifika bei den sozioökonomischen Faktoren Rechnung zu tragen. In die Analysen wurden die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren für Quecksilber im Blut oder Urin (Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllung, Alter der letzten Amalgamfüllung, Kaugummikonsum falls Amalgamfüllungen, Zahnarztbesuch, Fischverzehr, Weinkonsum, Gemeindegröße, Alter) als mögliche Intermediärfaktoren oder Confounder einbezogen.

Für die multiple lineare Regression und ordinale logistische Regression standen für die Zielgröße Quecksilber im Blut Daten von 2162 Frauen und 2136 Männern im Alter zwischen 18 und 69 Jahren zur Verfügung, für die Zielgröße Quecksilber im Urin Daten von 2206 Frauen und 2153 Männern. Strukturgleichungsmodelle wurden mit Daten von 1709 Frauen und 1812 Männern (Quecksilber im Blut) bzw. 1749 Frauen und 1848 Männern (Quecksilber im Urin) berechnet.

Insgesamt wiesen Personen in einer benachteiligten sozialen Lage geringere Quecksilberkonzentrationen in Blut und Urin auf. Die Analysen mittels linearer und ordinaler

logistischer Regression ergaben, dass einzelne sozioökonomische Faktoren teilweise unabhängig voneinander mit der Zielgröße assoziiert waren. Bei Frauen war vor allem das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen mit der Quecksilberkonzentration im Blut assoziiert, bei Männern war es die berufliche Stellung. Die Effektschätzer für sozioökonomische Faktoren waren bei Betrachtung der Zielgröße Quecksilber im Urin schwächer; Bildung und Berufstätigkeit war bei beiden Geschlechtern von Bedeutung. Die Effekte der sozioökonomischen Faktoren auf die Quecksilberbelastung konnten nicht vollständig durch die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren erklärt werden.

Die Strukturgleichungsmodelle für Quecksilber im Blut bei Männern und Frauen ergaben ebenfalls sowohl indirekte, durch die von Benemann et al. (2004) identifizierten Prädiktoren erklärte Effekte der latenten Variablen Sozialstatus auf die Zielgröße als auch noch verbleibende direkte Effekte. Bei Männern war berufliche Stellung der aussagekräftigste Indikator, bei Frauen das Äquivalenz-Haushaltsnettoeinkommen. In explorativen Analysen wurden weitere Strukturgleichungs- bzw. Pfadmodelle mit einer latenten Variable "korporale Quecksilberbelastung" bzw. mit einer kausalen Abhängigkeit Quecksilber im Blut → Quecksilber im Urin untersucht.

Aus den Ergebnissen lassen sich als wesentliche Elemente einer Vorgehensweise zur vertieften Auswertung des Zusammenhangs zwischen sozioökonomischen Faktoren und der korporalen Schadstoffbelastung ableiten:

- vergleichende Betrachtung von einzelnen sozioökonomischen Faktoren;
- nach Geschlecht stratifizierte Analyse - zumindest bei Erwachsenen;
- schrittweise Modellierung zur Abschätzung indirekter, durch Intermediärfaktoren vermittelt, und direkter, durch die eingesetzten Prädiktoren nicht erklärbarer, Effekte der sozioökonomischen Faktoren;
- Definition der sozialen Lage als latente Variable in Strukturgleichungsmodellen, die durch mehrere sozioökonomische Faktoren als Messindikatoren identifiziert werden kann;
- gleichzeitige Betrachtung mehrere Zielgrößen in einem Strukturgleichungsmodell durch Modellierung einer latenten Variable "korporale Schadstoffbelastung" oder einer kausalen Abhängigkeit zwischen der Schadstoffbelastung in Blut und im Urin.

12 Summary

Up to now, the relationship between body burden of pollutants and socioeconomic factors as indicators of social position has not been systematically studied in Germany. Therefore the aim of subproject B was to develop a strategy of an extended analysis of the association of socioeconomic factors with body burden of pollutants using data of the German Environmental Survey 1998 and the German Federal Health Survey 1998. Bivariate analyses were performed with metabolites of polycyclic aromatic hydrocarbons in urine and mercury in urine and blood. Education, equivalent household income, occupation, occupational status and migration background were used to characterise social position.

Multiple linear regression, ordinal logistic regression and structural equation models were applied in multivariate analyses of the outcome body burden of mercury. Basic assumptions were that socioeconomic factors are distal causes, which effects are mediated by proximal causes such as nutrition or health-related behaviour, and that socioeconomic indicators (mainly education, income and occupational position) should be analysed separately, because they measure different phenomena. All analyses were stratified to account for gender characteristics of socioeconomic factors. Those predictors of mercury in blood and urine identified by Benemann et al. (2004) (number of teeth with amalgam filling, age of the last amalgam filling, usage of chewing gum if amalgam filling, visit to a dentist, fish consumption, drinking of wine, municipal dimension, age) were regarded as possible intermediate variables or confounder.

For multiple linear regression and ordinal logistic regression, data of 2162 women and 2136 men aged 18 to 69 years was available for the outcome variable mercury in blood and data of 2206 women and 2153 men for the outcome variable urinary mercury. Structural equation models were analysed with data from 1709 women and 1812 men (mercury in blood) and 1749 women und 1848 men (urinary mercury).

Overall, individuals with a low social position had lower mercury concentrations in blood and in urine. Linear and ordinal logistic regression models showed that socioeconomic factors were in part independently associated with the outcome. In women, mainly equivalent household income was associated with blood levels of mercury in contrast to occupational status in men. If urinary levels of mercury were analysed, effect estimates of socioeconomic factors were weaker; associations were found with education and occupation in men and women. The effects of socioeconomic factors on

body burden of mercury could not be totally explained by those predictors described by Benemann et al. (2004).

Structural equation models of blood levels of mercury in women and men also showed indirect effects of the latent variable social position, mediated by the proximal factors identified by Benemann et al. (2004), as well as residual direct effects. In men, the most significant social indicator was occupational status in contrast to equivalent household income in women. Additional explorative structural equation and path analyses with a latent variable of body burden of mercury and a causal relationship between mercury in blood and urinary mercury were performed.

Essential elements of a strategy of an extended analysis of the association of socio-economic factors with body burden of pollutants may be deduced from these results:

- comparative analysis of individual socioeconomic factors;
- gender-stratified analysis - at least in case of an adult study population;
- step-by-step modelling to estimate indirect effects, mediated by the already known predictors, and residual direct effects of socioeconomic factors;
- definition of social position as a latent variable within structural equation models, which is identifiable by several socioeconomic factors as measuring indicators;
- simultaneous analysis of several outcome variables by structural equation modelling of a latent variable "body burden of pollutants" or of modelling of a causal relationship between pollutant concentrations in blood and in urine.

13 Literaturverzeichnis

- Ananth CV, Kleinbaum DG. Regression models for ordinal responses: A review of methods and applications. *Int J Epidemiol* 1997; 26: 1323-1333
- Armstrong BG, Sloan M. Ordinal regression models for epidemiologic data. *Am J Epidemiol* 1989; 129: 191-204
- Backhaus K, Erichson B, Plinke W, Weiber R. Multivariate Analysemethoden. Eine anwendungsorientierte Einführung. Springer, Berlin 2003
- Baron RM, Kenny DA. The moderator-mediator variable distinction in social psychological research: Conceptual, strategic, and statistical considerations. *J Pers Soc Psychol* 1986; 51: 1173-1182
- Barr DB, Wilder LC, Caudill SP, Gonzalez AJ, Needham LL, Pirkle JL. Urinary creatinine concentrations in the U.S. population: implications for urinary biologic monitoring measurements. *Environ Health Perspect* 2005; 113: 192-200
- Becker K, Kaus S, Krause C, Lepom P, Schulz C, Seiwert M, Seifert B. Umwelt-Survey 1998. Band III: Human-Biomonitoring. Stoffgehalte im Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland. Umweltbundesamt, Berlin 2002. WaBoLu-Heft 01/2002
- Becker K, Müssig-Zufika M, Conrad A, Lüdecke A, Schulz C, Seiwert M, Kolossa-Gehring M. Kinder-Umwelt-Survey 2003/06 - KUS - Humanbiomonitoring. Stoffgehalte in Blut und Urin der Kinder in Deutschland. Umweltbundesamt, Dessau/Berlin, Robert-Koch-Institut, Berlin 2007. WaBoLu-Heft 01/07
- Begerow J, Freier I, Turfeld M, Krämer U, Dunemann L. Internal lead and cadmium exposure in 6-year-old children from western and eastern Germany. *Int Arch Occup Environ Health* 1994; 66: 243-248
- Belsky J, Bell B, Bradley RH, Stallard N, Stewart-Brown SL. Socioeconomic risk, parenting during the preschool years and child health age 6 years. *Eur J Public Health* 2007; 17: 508-513
- Beneman J, Broman K, Lehmann N, Marr A, Jöckel KH. Umwelt-Survey 1998. Band VII: Arsen, Schwer- und Edelmetalle in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland - Belastungsquellen und -pfade. Umweltbundesamt, Berlin 2004. WaBoLu-Heft 03/2004
- Bentler PM, Stein JA. Structural equation models in medical research. *Stat Methods Med Res* 1992; 1: 159-181
- Bernigau W, Lorber KE, Wilken M. Umwelt-Survey 1998. Band VIII: PAK-Metabolite im Urin der Bevölkerung in Deutschland - Belastungsquellen und -pfade. Umweltbundesamt, Berlin 2004. WaBoLu-Heft 04/2004
- Bollen KA. Structural equations with latent variables. John Wiley & Sons, New York 1989
- Bolte G. Soziale Ungleichheit und Gesundheit von Kindern. Über den Zusammenhang von Indikatoren der sozialen Lage mit immunologischen Parametern und respiratorischen Erkrankungen am Beispiel einer umweltepidemiologischen Studie. Materialien zur Epidemiologie Band 3, Wichmann H-E, Heilmaier H (Hrsg.), S. Roderer Verlag, Regensburg 2000
- Bolte G. Environmental Justice - Umweltgerechtigkeit. *Umweltmed Forsch Prax* 2006; 11: 161-172

- Bolte G for the GME Study Group. Monitoring of socioeconomic disparities in environmental exposures and children's health: Experiences from the Bavarian Health Monitoring Units. *Medycyna Srodowiskowa (Environmental Medicine)* 2007; 10 Suppl. 1: 92
- Bolte G. Gender in der Epidemiologie. Diskussionsstand und Perspektiven. *Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz* 2008; 51: 3-12
- Bolte G, Kohlhuber M. PINCHE (Policy Interpretation Network on Children's Health and Environment) project: Final report WP5 Socioeconomic Factors. Public Health Services Gelderland Midden, Arnhem 2005. <http://www.pinche.hvdgm.nl> [letzter Zugriff 12.10.07]
- Bolte G, Kohlhuber M. Soziale Ungleichheit bei umweltbezogener Gesundheit: Erklärungsansätze aus umweltepidemiologischer Perspektive. In: Richter M, Hurrelmann K (Hrsg.). *Gesundheitliche Ungleichheit. Grundlagen, Probleme, Perspektiven*. VS Verlag, Wiesbaden 2006; S. 91-108
- Bolte G, Mielck A (Hrsg.). *Umweltgerechtigkeit. Die soziale Verteilung von Umweltbelastungen*. Juventa, Weinheim und München 2004
- Bolte G, Elvers HD, Schaaf, B, von Berg A, Borte M, Heinrich J für die LISA-Studiengruppe. Soziale Ungleichheit bei der Belastung mit verkehrsabhängigen Luftschadstoffen: Ergebnisse der Kinderkohortenstudie LISA. In: Bolte G, Mielck A (Hrsg.). *Umweltgerechtigkeit. Die soziale Verteilung von Umweltbelastungen*. Juventa, Weinheim und München 2004; S. 175-198
- Bolte G, Kohlhuber M, Weiland SK, Zuurbier M, Stansfeld S, Heinrich J. Socioeconomic factors in EU-funded studies of children's environmental health. *Eur J Epidemiol* 2005; 20: 289-291
- Browne MW. Asymptotically distribution-free methods for the analysis of covariance structures. *Br J Math Stat Psychol* 1984; 37: 62-83
- Bundesregierung. *Lebenslagen in Deutschland. Erster Armuts- und Reichtumsbericht*. Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft, Bonn 2001; Bundestagsdrucksache 14/5990
- Bundesregierung. *Lebenslagen in Deutschland. Zweiter Armuts- und Reichtumsbericht*. Bundesanzeiger Verlagsgesellschaft, Köln 2005; Bundestagsdrucksache 15/5015
- Burkhardt J, Grunow-Lutter V. Umwelt- und Gesundheitsberichterstattung auf dem Weg zu nachhaltiger Entwicklung. In: Fehr R, Neus H, Heudorf U (Hrsg.). *Gesundheit und Umwelt. Ökologische Prävention und Gesundheitsförderung*. Verlag Hans Huber, Bern 2005; S. 201-210
- Cole SR, Hernán MA. Fallibility in estimating direct effects. *Int J Epidemiol* 2002; 31: 163-165
- Fuentes M, Hart-Johnson T, Green CR. The association among neighborhood socioeconomic status, race and chronic pain in black and white older adults. *J Natl Med Assoc* 2007; 99: 1160-1169
- Geyer S, Hemström O, Peter R, Vågerö D. Education, income, and occupational class cannot be used interchangeably in social epidemiology. Empirical evidence against a common practice. *J Epidemiol Community Health* 2006; 60: 804-810

- Glymour MM. Using causal diagrams to understand common problems in social epidemiology. In: Oakes JM, Kaufman JS (eds.). *Methods in social epidemiology*. Jossey-Bass, San Francisco 2006, 393-428
- Greenland S. Alternative models for ordinal logistic regression. *Stat Med* 1994; 13: 1665-1677
- Greenland S. Introduction to regression models. In: Rothman KJ, Greenland S (eds.). *Modern Epidemiology*. Second Edition. Lippincott Williams & Wilkins, Philadelphia 1998; pp 359-399
- Greenland S, Brumback B. An overview of relations among causal modelling methods. *Int J Epidemiol* 2002; 31: 1030-1037
- Heinrich J, Mielck A, Schäfer I, Mey W. Soziale Ungleichheit und umweltbedingte Erkrankungen in Deutschland. Empirische Ergebnisse und Handlungsansätze. Ecomed, Landsberg 1998
- Hoffmeyer-Zlotnik JHP. „Beruf“ und „Stellung im Beruf“ als Indikatoren für soziale Schichtung. In: Ahrens W, Bellach BM, Jöckel KH (Hrsg.). *Messung soziodemographischer Merkmale in der Epidemiologie*. RKI-Schriften 1/98, MMV Medizin Verlag, München 1998; S.54-64
- Jöckel KH, Babitsch B, Bellach BM, Bloomfield K, Hoffmeyer-Zlotnik J, Winkler J, Wolf C. Messung und Quantifizierung soziodemographischer Merkmale in epidemiologischen Studien. In: Ahrens W, Bellach BM, Jöckel KH (Hrsg.). *Messung soziodemographischer Merkmale in der Epidemiologie*. RKI-Schriften 1/98, MMV Medizin Verlag, München 1998; S. 7-38
- Kaufman JS, MacLehose RF, Kaufman S. A further critique of the analytic strategy of adjusting for covariates to identify biologic mediation. *Epidemiol Perspect Innov* 2004; 1: 4
- Kaufman S, Kaufman JS, MacLehose RF, Greenland S, Poole C. Improved estimation of controlled direct effects in the presence of unmeasured confounding of intermediate variables. *Stat Med*. 2005; 24: 1683-1702
- Kohlhuber M, Mielck A, Weiland SK, Bolte G. Social inequality in perceived environmental exposures in relation to housing conditions in Germany. *Environmental Research* 2006; 101: 246-255
- Kolahgar B. Die soziale Verteilung von Umweltbelastungen und gesundheitlichen Folgen an industriellen Belastungsschwerpunkten in Nordrhein-Westfalen. Abschlussbericht. Auftraggeber: LUA NRW, Essen 2006, im Rahmen des APUG NRW;
http://www.apug.nrw.de/pdf/Abschlussbericht_Umweltgerechtigkeit.pdf (letzter Zugriff 02.10.07)
- Kommission „Human-Biomonitoring“ des Umweltbundesamtes. Stoffmonographie Quecksilber - Referenz- und Human-Biomonitoring-(HBM)-Werte. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 1999; 42: 522-532
- Landesgesundheitsamt, Regierungspräsidium Stuttgart. Beobachtungsgesundheitsämter. Belastungs- und Wirkungsmonitoring. Untersuchung 2002/03. Band „Ergebnisse und Bewertung“ und Band „Anhang“. Stuttgart 2005
- Liberatos P, Link BG, Kelsey JL. The measurement of social class in epidemiology. *Epidemiol Rev* 1988; 10: 87-121

- Maschewsky W. Umweltgerechtigkeit, Public Health und soziale Stadt. Verlag für Akademische Schriften, Frankfurt/Main 2001
- McCullagh P, Nelder JA. Generalized linear models. 2nd ed. Chapman and Hall, New York 1989
- Mielck A. Soziale Ungleichheit und Gesundheit. Empirische Ergebnisse, Erklärungsansätze, Interventionsmöglichkeiten. Verlag Hans Huber, Bern 2000
- Norris CM, Ghali WA, Duncan Saunders L et al. Ordinal regression model and the linear regression model were superior to the logistic regression models. J Clin Epidemiol 2006; 59: 448-456
- Petersen ML, Sinisi SE, van der Laan MJ. Estimation of direct causal effects. Epidemiology 2006; 17: 276-284
- Pfeifer A, Schmidt P. LISREL. Die Analyse komplexer Strukturgleichungsmodelle. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart New York 1987
- Preacher KJ, Hayes AF. SPSS and SAS procedures for estimating indirect effects in simple mediation models. Behav Res Meth Ins C 2004; 36: 717-731
- Preacher KJ, Hayes AF. Asymptotic and resampling strategies for assessing and comparing indirect effects in multiple mediator models. (manuscript submitted for publication) <http://www.commm.ohio-state.edu/ahayes/indirect2.pdf> (letzter Zugriff 26.11.07)
- Schenk L, Bau AM, Borde T, Butler J, Lampert T, Neuhauser H, Razum O, Weilandt C. Mindestindikatorensatz zur Erfassung des Migrationsstatus. Empfehlungen für die epidemiologische Praxis. Bundesgesundheitsbl - Gesundheitsforsch - Gesundheitsschutz 2006; 49: 853-860
- Schulz C, Becker K, Helm D, Krause C. Umwelt-Survey 1998 - Erste Ergebnisse. Gesundheitswesen 1999; 61 (Sonderheft 2): S213-S215
- Scott SC, Goldberg MS, Mayo NE. Statistical assessment of ordinal outcomes in comparative studies. J Clin Epidemiol 1997; 50: 45-55
- Stolzenberg H. Bundes-Gesundheitssurvey 1998. Public Use File BGS98. Dokumentation des Datensatzes. Robert Koch Institut, Berlin 2000
- Thefeld W, Stolzenberg H, Bellach BM. Bundes-Gesundheitssurvey: Response, Zusammensetzung der Teilnehmer und Non-Responder-Analyse. Gesundheitswesen 1999; 61 (Sonderheft 2): S57-S61
- Tomarken AJ, Waller NG. Structural equation modeling: strengths, limitations, and misconceptions. Annu Rev Clin Psychol 2005; 1: 31-65
- Trepka MJ, Heinrich J, Krause C, Schulz C, Lippold U, Meyer E, Wichmann HE. The internal burden of lead among children in a smelter town -a small area analysis. Environ Res 1997; 72: 118-130
- Victora CG, Huttly SR, Fuchs SC, Olinto MT. The role of conceptual frameworks in epidemiological analysis: a hierarchical approach. Int J Epidemiol 1997; 26: 224-227
- Volkert J. Das Capability-Konzept als Basis der deutschen Armuts- und Reichtumsberichterstattung. In: Volkert J (Hrsg.). Armut und Reichtum an Verwirklichungschancen. Amartya Sens Capability-Konzept als Grundlage der Armuts- und Reichtumsberichterstattung. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden 2005; S. 119-147

Weitkunat R, Wildner M. Exploratory causal modeling in epidemiology: Are all factors created equal? J Clin Epidemiol 2002; 55: 436-444

Winkler J, Stolzenberg H. Der Sozialschichtindex im Bundes-Gesundheitssurvey. Gesundheitswesen 1999; 61 (Sonderheft 2): S178-S183

Danksagung

Unser herzlicher Dank gilt Herrn Dr. Peter Rzehak, GSF-Institut für Epidemiologie, für seine fundierte und ausführliche Beratung zu Strukturgleichungsmodellen.

