

---

# WaBoLu Hefte

---

Institut für  
**W**asser-,  
**B**oden- und  
**L**ufthygiene

---

Umwelt  
Bundes  
Amt

WaBoLu

**Umwelt-Survey - 1990/92**

**Band VII:**

**6**

**Quecksilber -**

**96**

**Zusammenhangsanalyse**

von

**K. Becker, M. Seiwert, W. Bernigau,**

**K. Hoffmann, C. Krause, P. Nöllke,**

**C. Schulz, R. Schwabe**

ISSN  
0175-4211

WaBoLu

6

96

ISSN  
0175-4211

**Umwelt-Survey - 1990/92**

**Band VII:**

**Quecksilber -  
Zusammenhangsanalyse**

von

**K. Becker, M. Seiwert, W. Bernigau,  
K. Hoffmann, C. Krause, P. Nöllke,  
C. Schulz, R. Schwabe**

Die diesem Berichtsband zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Rahmen des vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Forschungsvorhaben "Umwelt-Survey in der Bundesrepublik Deutschland 1990/92" (F+E 116 06 088 + F+E 116 06 088/02) durchgeführt.

Diese WaBoLu-Veröffentlichung kann bezogen werden bei  
**Vorauszahlung von 15,- DM**  
durch Post- bzw. Banküberweisung,  
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der  
Postbank Berlin (BLZ 10010010)  
Fa. Werbung und Vertrieb,  
Ahornstraße 1-2,  
10787 Berlin

Parallel zur Überweisung richten Sie bitte  
eine schriftliche Bestellung mit Nennung  
der **WaBoLu-Hefte-Nummer** sowie des **Namens**  
und der **Anschrift des Bestellers** an die  
Firma Werbung und Vertrieb.

Herausgeber: Umweltbundesamt -  
Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene  
Postfach 33 00 22  
14191 Berlin  
Tel.: 030/8903-0  
Telex: 183 756  
Telefax: 030/8903 2285  
Internet: <http://www.umweltbundesamt.de>

Redaktion: Fachgebiet V 4.3  
Dr. Christian Krause

Berlin, April 1997

K. Becker, M. Seiwert, W. Bernigau, K. Hoffmann, C. Krause, P. Nöllke,  
C. Schulz, R. Schwabe

**Umwelt-Survey 1990/92**

**Band VII:**

**Quecksilber - Zusammenhangsanalyse**

im Auftrag des Bundesministeriums für  
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Durchführung: Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes  
(früher: Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes)  
Corrensplatz 1, 14195 Berlin,  
Robert Koch-Institut - Bundesinstitut für Infektionskrankheiten  
und nicht übertragbare Krankheiten -,  
Infratest Gesundheitsforschung, München,  
Zentrum für Epidemiologie und Gesundheitsforschung, Berlin

Auftraggeber: Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)

Projektleitung: Dr. C. Krause / C. Schulz

Berichtersteller: K. Becker, M. Seiwert, W. Bernigau, K. Hoffmann, C. Krause, P. Nöllke,  
C. Schulz, R. Schwabe

unter weiterer Mitarbeit von: W. Babisch, S. Bach, G. Coan, L. Donner, C. Englert, N. Englert, C. Gleue,  
I. Hahn, M. Kapst, B. Nowack, H. Pick-Fuß, W. Schimmelpfennig, B. Seifert,  
S. Virgil, I. Vorweg, L. Windmüller,  
M. Erler, R. Schiele, E. Schmidt, F. Schweinsberg, T. Zinke,  
Feldteams der Gesundheits-Surveys,  
Infratest Gesundheitsforschung,  
Epidemiologische Forschung Berlin,  
Zentrum für Epidemiologie und Gesundheitsforschung,  
Bundesanstalt für Arbeitsmedizin und  
Chemisches und Lebensmitteluntersuchungsamt, Duisburg

Sachverständige, die dem Projekt begleitend zur Seite gestanden haben:  
Prof. Dr. J. Bortz (Institut für Psychologie der TU Berlin)  
Prof. Dr. U. Ewers (Hygieneinstitut des Ruhrgebiets Gelsenkirchen,  
Abt. Umweltmedizin und Umwelttoxikologie)  
Prof. Dr. K.H. Jöckel (Institut für medizinische Informatik, Biometrie  
und Epidemiologie, Universitätsklinikum Essen)  
Dr. D. Eis (Hygiene-Institut der Universität Heidelberg, Fachgebiet  
Umweltmedizin)

Danksagung: Wir möchten an dieser Stelle allen Beteiligten an dieser Studie und den Bürgern,  
die an dieser zeitintensiven Untersuchung teilgenommen haben, sowie den  
Mitarbeitern der örtlichen Gesundheits- und Umweltämter, Krankenhäuser,  
Rathäuser usw., die uns bei der Durchführung unterstützt haben, unseren  
herzlichen Dank aussprechen.

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>Zusammenfassung</b>	<b>1</b>
<b>Summary</b>	<b>3</b>
<b>Vorbemerkungen</b>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>7</b>
<b>2 Vorkommen und Wirkung von Quecksilber</b>	<b>10</b>
<b>3 Hypothesen zum Auftreten einer korporalen Quecksilberbelastung</b>	<b>13</b>
3.1 Individuelle Faktoren	13
3.2 Amalgamfüllungen	14
3.3 Verhaltensweisen	16
3.4 Wohnungsumfeld	17
3.5 Häuslicher Bereich	18
3.6 Arbeitsplatz	18
<b>4 Studienbeschreibung</b>	<b>20</b>
4.1 Stichproben	20
4.2 Erhebungsinstrumentarium	21
4.3 Analytik und Qualitätskontrolle	22
<b>5 Statistische Methoden</b>	<b>26</b>
5.1 Überblick über die Vorgehensweise	26
5.2 Die Prädiktorvariablen	27
5.3 Die Kriteriumsvariablen	28
5.4 Das Regressionsmodell	29
5.5 Die Modellbildung	30
5.6 Kennwerte für die Güte eines Regressionsmodells	31
5.7 Kennwerte der Prädiktoren	32
5.8 Stichprobe und Regressionsanalyse	34
<b>6 Ergebnisse und Diskussion</b>	<b>35</b>
<b>6.1 Quecksilber im Urin</b>	<b>35</b>
6.1.1 Regressionsanalysen, Erwachsene	36
6.1.1.1 Varianzkomponenten des Regressionsmodells	36
6.1.1.2 Modelle aus anderen Studien	37
6.1.1.3 Modellgleichung	39
6.1.1.4 Prädiktoren mit bedeutsamen Effekten	40

6.1.1.5	Vergleich der Regressionsmodelle für die alten und die neuen Länder	49
6.1.1.6	Prädiktoren mit kleinen Effekten	50
6.1.2	Regressionsanalysen, Kinder	54
6.1.2.1	Varianzkomponenten des Regressionsmodells	54
6.1.2.2	Modellgleichung	55
6.1.2.3	Prädiktoren mit bedeutsamen Effekten	57
6.1.2.4	Vergleich der Regressionsmodelle für die alten und die neuen Länder	61
6.1.2.5	Prädiktor mit kleinem Effekt	62
6.1.3	Ergänzende Auswertungen mit zusätzlichen Prädiktoren	63
6.1.4	Regressionsmodell für den creatininbezogenen Quecksilbergehalt im Urin	65
6.1.5	Vergleich der Modelle für den 1. und 2. Umwelt-Survey - Modelle ohne Amalgam	68
<b>6.2</b>	<b>Quecksilber im Blut</b>	<b>70</b>
6.2.1	Regressionsanalysen, Erwachsene	70
6.2.2	Regressionsanalysen, Kinder	76
<b>7</b>	<b>Schlußbemerkungen</b>	<b>80</b>
<b>8</b>	<b>Literatur</b>	<b>83</b>
<b>9</b>	<b>Verzeichnisse</b>	<b>91</b>
9.1	Verzeichnis der Abkürzungen	91
9.2	Tabellenverzeichnis	93
9.3	Abbildungsverzeichnis	95
<b>10</b>	<b>Anhang</b>	<b>96</b>
10.1	Deskription von Quecksilber im Blut und im Urin der deutschen Allgemeinbevölkerung - gegliedert nach Prädiktoren aus den Regressionsmodellen - gewichtete Daten	97
10.2	Regressionsanalysen für Quecksilber im Urin der Erwachsenen - zusätzliche statistische Kennwerte	103
10.3	Regressionsanalysen für Quecksilber im Urin der Kinder - zusätzliche statistische Kennwerte	106
10.4	Regressionsanalysen für Quecksilber im Blut der Erwachsenen und der Kinder - zusätzliche statistische Kennwerte	108
10.5	Erläuterungen zu allen in den Regressionsanalysen benutzten Variablen	110

## Zusammenfassung

Im Rahmen der Umwelt-Surveys in der Bundesrepublik Deutschland 1990/91 (alte Länder) und 1991/92 (neue Länder) wurde eine repräsentative Stichprobe von Erwachsenen (25 bis 69 Jahre) sowie eine Stichprobe von Kindern (6 bis 14 Jahre) aus der deutschen Wohnbevölkerung hinsichtlich ihrer Quecksilbergehalte im Blut und im Urin untersucht. Außerdem wurde eine Vielzahl von Informationen zu Soziodemographie, Lebensstil und Umgebungsbedingungen unterschiedlichster Art mit einem Fragebogen erhoben.

Im vorliegenden Berichtsband werden die Ergebnisse multivariater Zusammenhangsanalysen dargestellt, mit denen die maßgeblichen Prädiktoren für die Quecksilbergehalte in Blut und Urin (Kriterien) in ihrer Bedeutung erfaßt und in ihrer Wirkung quantifiziert werden. Dazu wurden multiple lineare Regressionsanalysen mit den logarithmierten Quecksilbergehalten durchgeführt. Die generierten additiven Regressionsmodelle für die logarithmierten Quecksilbergehalte werden nach Rücktransformation zu multiplikativen Modellen für die originalen Quecksilbergehalte. In den Regressionsmodellen sind die Daten von ca. 3700 Erwachsenen und 700 Kindern berücksichtigt.

Die Regressionsmodelle für die Probanden aus den alten und den neuen Ländern sind annähernd gleich, so daß ein gemeinsames Regressionsmodell für den Quecksilbergehalt im **Urin** der deutschen Bevölkerung gebildet werden konnte. Bei den Erwachsenen konnten mit 7 Prädiktoren 42 % der Varianz der Quecksilbergehalte erklärt werden, bei den Kindern mit 4 Prädiktoren 46 % der Varianz.

Je geringer der **Creatiningehalt im Urin** ist (d.h. je stärker der Urin verdünnt ist), desto geringer ist auch der Quecksilbergehalt im Urin. Erwartungsgemäß ergab sich der Creatiningehalt im Urin als wichtiger Prädiktor, der 16,2 bzw. 2,6 % der Kriteriumsvarianz im Regressionsmodell der Erwachsenen bzw. der Kinder erklärt.

Die **Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen** ist ein starker Prädiktor und erklärt bei den Erwachsenen 13 % und bei den Kindern 36,2 % der Varianz der Quecksilbergehalte im Urin. Wie erwartet, steigt die Quecksilberbelastung mit zunehmender Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen an - und zwar bei Kindern wesentlich stärker als bei Erwachsenen. Bei **Erwachsenen** ist das **Alter der letzten Amalgamfüllung** noch ein zusätzlicher bedeutsamer Prädiktor (Varianzanteil 1,2 %). Eine neu gelegte Amalgamfüllung hat allerdings nur einige Monate lang einen nennenswerten zusätzlichen Einfluß auf den Quecksilbergehalt.



Das **Lebensalter** trägt bei den Erwachsenen als Prädiktor zur Aufklärung von 6,3 % der Kriteriumsvarianz bei. Mit zunehmendem Lebensalter liegt ein geringerer Quecksilbergehalt im Urin vor. Der **Body Mass Index**, der **Schulabschluß** und das **Geschlecht** sind weitere Prädiktoren des Modells der Erwachsenen. Ihr Varianzanteil beträgt zwischen 1 und 2 %. Untergewichtige, Frauen und Personen mit hoher Schulbildung weisen höhere Quecksilbergehalte im Urin auf als Übergewichtige, Männer und Personen mit geringer Schulbildung.

Bei den **Kindern** wird neben dem Creatiningehalt und der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen ein Einfluß der **Region** im Regressionsmodell deutlich. In den neuen Bundesländern und in städtischen Wohngebieten treten höhere Quecksilbergehalte im Urin auf.

Die Regressionsanalysen für den Quecksilbergehalt im **Blut** führten zu keinem befriedigenden Modell. Die identifizierten bedeutsamen Prädiktoren klären zusammen weniger als 10 % der Kriteriumsvarianz auf. Ein gemeinsames Modell für Personen aus den alten und neuen Ländern wurde weder für Kinder noch für Erwachsene gebildet, da die bedeutsamen Prädiktoren der separaten Modelle zu unterschiedlich sind.

Die **Häufigkeit des Fischverzehr**s ist bei den Erwachsenen der alten und der neuen Länder sowie bei den Kindern der alten Länder ein bedeutsamer Prädiktor in dem jeweiligen Regressionsmodell. Erwartungsgemäß weisen Personen mit häufigem Fischkonsum höhere Quecksilbergehalte im Blut auf. Nur in den separaten Modellen der Kinder aus den alten und den neuen Ländern erscheint die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen als signifikanter Prädiktor des Quecksilbergehaltes im Blut. Weitere spezifische Prädiktoren sind Gemeindegrößenklasse und Haushaltseinkommen bei Erwachsenen der alten Länder, körperliche Anstrengung im Freien, Geschlecht und Bebauungsart bei Kindern aus den alten Ländern sowie das Vorhandensein einzeln zu bedienender Öfen bei Kindern aus den neuen Ländern.

Mit Hilfe des Umwelt-Surveys konnten erstmalig für die deutsche Allgemeinbevölkerung der Einfluß einer Reihe von Faktoren auf die korporale Belastung mit Quecksilber bestätigt werden, der bislang nur für spezielle Unterkollektive bekannt war und deshalb nicht ohne weiteres auf die Allgemeinbevölkerung generalisiert werden konnte.

## Summary

As part of the Environmental Surveys conducted in West Germany (F.R.G. before reunification) in 1990/91 and in East Germany (former G.D.R.) in 1991/92, a representative sample of adults (aged 25 to 69) as well as a sample of children (aged 6 to 14) from the general population were studied with respect to mercury levels in their blood and urine. In addition, a wide variety of sociodemographic data and information on life-style and ambient conditions were collected by questionnaires.

The present report sets out the results of multivariate analyses used to find the main factors (predictors) influencing mercury levels in the blood and urine (criteria) and to quantify their impact. To this end, multiple linear regression analyses were performed using the log values of the mercury concentrations determined. The additive regression models generated for the log values of the mercury concentrations can be transformed to multiplicative models for the original mercury levels. Data from approximately 3700 adults and 700 children were used in the regression models.

The regression models for mercury levels in **urine** were nearly the same for subjects from West- and East Germany, which allowed a joint regression model to be formed for the German population. 7 predictors account for 42 % of the variance of mercury levels in **adults** whilst for children 4 predictors account for 46 % of the variance.

With lower levels of **creatinine** (i.e. with more diluted urine), lower levels of mercury in the urine occur. As expected, creatinine is an important predictor in the regression models for urinary mercury, accounting for 16.2 % and 2.6 %, respectively, of the criterion's variance for adults and children.

The **number of teeth with amalgam fillings** is a significant predictor, accounting for 13 % and 36.2 %, respectively, of the variance of mercury levels in the urine of adults and children. As expected, mercury levels were found to increase - much more in children than in adults - with a growing number of amalgam fillings. For **adults**, the **age of the most recent amalgam filling** is an additional significant predictor (1.2 % of the variance). However, amalgam fillings have only an appreciable additional influence on mercury levels in the first few months following their application.

For adults, **age** is a predictor which accounts for 6.3 % of the criterion's variance. Mercury levels in urine decrease with increasing age. **Body mass index**, **education** and **gender** make up further significant predictors in the case of adults, accounting for between 1 and 2 % of the variance. Under-

weight persons, women and the well-educated exhibit higher mercury levels in urine than do overweight persons, men and persons with a lower education.

In addition to the creatinine level and the number of teeth with amalgam fillings, **region** is a significant predictor in the case of **children**. Mercury levels in the urine of children from East Germany and urban residential areas are higher.

No satisfactory model was obtained from the regression analyses for mercury levels in **blood**. All significant predictors combined account for only approximately 10 % of this criterion's variance. A joint model for persons from West and East Germany was formed neither for adults nor for children, since the predictors identified as relevant in the respective separate models differ too much.

For adults from West and East Germany as well as for children from West Germany, **frequency of fish consumption** is a significant predictor in the respective regression model. As expected, mercury levels in the blood of frequent eaters of fish were higher. Only in the separate models for children from West and East Germany did the number of teeth with amalgam fillings prove to be a significant predictor of mercury levels in blood. Other specific predictors comprise the community size category and family income in the case of adults from West Germany, outdoor physical activity, gender and type of housing in the case of children from West Germany, and the presence of individually operated heating units in the case of children from East Germany.

This environmental survey made it possible for the first time ever to confirm the influence of a number of factors on the body burden of mercury for the general German population; such knowledge had previously only been acquired for specific sub-collectives and therefore could not unreservedly be generalised to the public at large.

## Vorbemerkungen

Die Auswertungen des im Rahmen der Umwelt-Surveys erhobenen sehr umfangreichen Datenmaterials werden aus systematischen und praktischen Gründen in mehreren Bänden dieser Veröffentlichungsreihe dargestellt. In den Bänden I - III und V werden deskriptive Ergebnisse der verschiedenen Erhebungsinstrumente der Umwelt-Surveys dargestellt. In den weiteren Bänden werden komplexe hypothesengeleitete Zusammenhangsanalysen zwischen den diversen Meßwerten und den Fragebogenangaben vorgestellt.

- Band Ia: Umwelt-Survey 1990/92  
Studienbeschreibung und Human-Biomonitoring: Deskription der Spurenelementgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland
- Band Ib: Umwelt-Survey 1990/92  
Human-Biomonitoring: Deskription der Spurenelementgehalte im Haar der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland
- Band IIa: Umwelt-Survey 1990/91 - ein Vergleich 1985/86 mit 1990/91 -  
Fragebogenerhebung zur Exposition der Bevölkerung im häuslichen Bereich und zu ausgewählten Problemen des Umweltschutzes in den alten Bundesländern
- Band IIb: Umwelt-Survey 1990/92  
Fragebogenerhebung zur Exposition der Bevölkerung im häuslichen Bereich und zu ausgewählten Problemen des Umweltschutzes in der Bundesrepublik Deutschland
- Band IIc: Umwelt-Survey 1991/92  
Bewertung der Exposition am Arbeitsplatz in den neuen Bundesländern
- Band III: Umwelt-Survey 1990/91  
Zufuhr von Spurenelementen und Schadstoffen mit der Nahrung (Duplikate und Diet History) in den alten Bundesländern

- Band IV: Umwelt-Survey 1990/91  
Personengebundene Exposition gegenüber flüchtigen organischen Verbindungen  
in den alten Bundesländern
- Band V: Umwelt-Survey 1990/92  
Trinkwasser, Deskription der Spurenelementgehalte im Haushalts- und Wasserwerks-  
Trinkwasser in der Bundesrepublik Deutschland
- Band VI: Umwelt-Survey 1990/92  
Hausstaub, Deskription der Spurenelementgehalte im Staub (Staubniederschlag,  
Konzentrationen im Hausstaub) der Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland
- |   |
|---|
| Band VII: Umwelt-Survey 1990/92<br>Quecksilber - Zusammenhangsanalyse |
|---|
- Band VIII: Umwelt-Survey 1990/92  
Arsen - Zusammenhangsanalyse
- Band IX: Umwelt-Survey 1990/92  
Cadmium - Zusammenhangsanalyse
- Band X: Umwelt-Survey 1990/92  
Blei - Zusammenhangsanalyse

**Der vorliegende Berichtsband stellt den siebten Teil der Auswertungen dar und basiert auf den Daten des Umwelt-Surveys, der 1990/91 in den alten Bundesländern und 1991/92 in den neuen Bundesländern durchgeführt wurde. Er beinhaltet die multivariate Auswertung zur korporalen Quecksilberbelastung (Blut und Urin) der Bevölkerung.**

## 1 Einleitung

Der Umwelt-Survey dient der Ermittlung und Aktualisierung von repräsentativen Daten über ausgewählte korporale Schadstoffbelastungen (überwiegend Schwermetalle) und Schadstoffbelastungen im häuslichen Bereich der deutschen Allgemeinbevölkerung (25 bis 69 Jahre und 6 bis 14 Jahre) in der Bundesrepublik Deutschland. Die Daten der verschiedenen Erhebungsphasen (alte Bundesländer 1985/86<sup>1</sup> und 1990/91<sup>1</sup>, neue Bundesländer 1991/92<sup>2</sup>) ermöglichen einen zeitlichen Vergleich (alte Bundesländer), einen regionalen Vergleich (West - Ost) und eine gesamtdeutsche Berichterstellung zum Human-Biomonitoring und zu Schadstoffbelastungen in den Haushalten. Die an repräsentativen Querschnittsstichproben gewonnenen Daten dienen darüber hinaus der Ermittlung von Vergleichswerten sowie der Erarbeitung von Referenzwerten in den Bereichen Human-Biomonitoring in der Umweltmedizin, Wohnraum- und Trinkwasserhygiene.

Das Erhebungsinstrumentarium der Umwelt-Surveys 1990/92 umfaßt hauptsächlich Blut-, Urin- und Kopfhhaarproben der Probanden, Hausstaub- (Staubsaugerbeutelinhalt und Hausstaubniederschlag) und Trinkwasserproben aus deren Haushalten, einen umweltbezogenen Fragebogen und einen mehr gesundheitlich und am Lebensstil orientierten Fragebogen.

Im Rahmen der Umwelt-Surveys 1990/92 wurde die korporale Quecksilberbelastung der bundesdeutschen Bevölkerung anhand der Analyse der Körperflüssigkeiten Blut und Urin bestimmt.

- 1 Die Umwelt-Surveys 1985/86 und 1990/91 wurden jeweils an der Hälfte der Stichprobe der Gesundheits-Surveys der Deutschen Herz-Kreislauf-Präventionsstudie (DHP) durchgeführt. Die DHP ist ein multizentrisches Projekt, im Rahmen dessen die praktische Anwendbarkeit wissenschaftlich begründeter primärpräventiver Maßnahmen und Programme zur Bekämpfung ischämischer Herzkrankheiten und der Herzinfarkte/ Schlaganfälle in ausgewählten Studiengemeinden überprüft werden soll (Kreuter et al. 1995). Die Probanden der Gesundheits-Surveys dienen hierbei als Referenzkollektiv, auf dessen Basis der interventive Erfolg der DHP beurteilt wird (Hoffmeister et al. 1992).
- 2 Der Umwelt-Survey-Ost wurde an der Hälfte der Stichprobe des Gesundheitssurveys Ost durchgeführt (Hoffmeister und Bellach 1995).

Unter Heranziehung der vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene veröffentlichten Bewertungskategorien (Krause et al. 1987) ergab sich bezüglich der Quecksilberbelastung folgendes Ergebnis (Krause et al. 1996).

2,1 % der 25- bis 69jährigen Bevölkerung der gesamten Bundesrepublik Deutschland wiesen einen erhöhten Quecksilbergehalt im Blut auf, welcher der Kategorie II (3 bis 10  $\mu\text{g/l}$ ) entspricht. Bei Gehalten dieser Kategorie ist eine Gesundheitsgefährdung zwar nicht erkennbar, eine Kontrolle ist dennoch empfehlenswert. Nur bei 2 Probanden zeigte sich ein Gehalt der Kategorie III. Dies sind deutlich erhöhte Gehalte, für die eine Gesundheitsgefährdung auf lange Sicht nicht auszuschließen ist und eine gezielte Abklärung und Ausschaltung, zumindest aber eine Verringerung der Belastungsquelle erforderlich ist.

Bei den untersuchten 6- bis 14jährigen Kindern kamen deutlich erhöhte Gehalte im Blut der Kategorie III ( $> 10 \mu\text{g/l}$ ) nicht vor. Erhöhte Gehalte der Kategorie II (3 bis 10  $\mu\text{g/l}$ ) lagen bei 4 Kindern vor.

Der Quecksilbergehalt im Urin war bei 3 % der 25- bis 69jährigen Bevölkerung der Kategorie II (5 bis 20  $\mu\text{g/l}$ ) zuzuordnen. Deutlich erhöhte Gehalte der Kategorie III wurden bei 6 (0,15 %) der Erwachsenen gefunden.

Erhöhte Gehalte im Urin der untersuchten Kinder der Kategorie II (5 bis 20  $\mu\text{g/l}$ ) ergaben sich bei 3,1 % der Kinder. Deutlich erhöhte Quecksilbergehalte der Kategorie III lagen für 2 Kinder vor.

Vor dem Hintergrund des Gefährdungspotentials durch Quecksilber ist die Kenntnis der Einflußgrößen, welche die Gehalte bestimmen, essentiell. Ein Instrument, solche Faktoren zu identifizieren und darüber hinaus deren Wirkung im komplexen Zusammenwirken zu quantifizieren, stellt die multivariate statistische Auswertung dar. Dies wird durch Regressionsmodelle erreicht. Ziel ist es, dabei eine möglichst hohe Aufklärung der Varianz der Zielvariablen zu erreichen, d.h. auf der Grundlage der vorhandenen Informationen alle wichtigen voneinander unabhängigen Faktoren zu ermitteln, die den Quecksilbergehalt bestimmen.

Es ist denkbar, daß sich diese Faktoren in den alten und neuen Bundesländern unterscheiden. Dies könnte u.a. durch die in den neuen Bundesländern weitreichendere Verwendung von Gamma-2-haltigen Amalgamen und einer möglicherweise größeren Verbreitung von Quecksilber durch die industrielle Anwendung in der Chlor-Alkali-Elektrolyse und die Anwendung von organischem

Quecksilber enthaltenden Saatgutbeizmitteln in der Landwirtschaft bedingt sein. Vor diesem Hintergrund sollen im Rahmen der multivariaten Auswertung auch getrennte Regressionsmodelle für die alten und neuen Bundesländer berechnet werden.

Da die Belastungsbedingungen für Kinder voraussichtlich andere sind als für die Erwachsenen (z.B. entfällt der Bereich der Arbeitsplatzexposition), soll für sie eine von den Erwachsenen getrennte Auswertung erfolgen.

Eine Bestimmung von Quecksilber in den Haaren, im Hausstaub und im Niederschlag (Außenluft) sowie im Trinkwasser, analog des Vorgehens für z.B. Blei und Cadmium, konnte aus Kapazitätsgründen nicht erfolgen.

In dem vorliegenden Bericht erfolgt zunächst eine Einführung zur Bedeutung des Quecksilbers als Umweltschadstoff (Kapitel 2). Da für die Zusammenhangsanalysen zwischen den Quecksilbergehalten in Blut und Urin und den potentiellen Einflußgrößen einer hypothesenorientierten Auswertung der Vorzug gegeben wird, werden im Kapitel 3 die zugrunde liegenden Hypothesen formuliert. Anschließend wird eine kurze Studienbeschreibung gegeben (Kapitel 4), und es werden die statistischen Methoden vorgestellt (Kapitel 5). Die Ergebnisse der multivariaten Auswertung zum Quecksilbergehalt im Urin und im Blut werden dargestellt und diskutiert (Kapitel 6). Abschließend werden Schlußfolgerungen aus diesen Auswertungen formuliert (Kapitel 7).



## 2 Vorkommen und Wirkung von Quecksilber

Quecksilber zählt zu den nicht essentiellen Spurenelementen und ist ein ubiquitär verbreitetes toxisches Schwermetall. Natürliche Quecksilberemissionen werden durch Vulkantätigkeiten, Gesteinsverwitterung und das Ausgasen von Quecksilber aus der Erdkruste und aus den Ozeanen verursacht.

Die Produktion von Quecksilber wird weltweit mit 10 000 t pro Jahr angegeben (WHO 1990). Anthropogene Quellen sind das Verbrennen fossiler Brennstoffe, das Schmelzen sulfidischer Erze, die Zementproduktion, die Müllverbrennung und der zurückliegende Einsatz von Alkylquecksilberverbindungen in der Landwirtschaft. Quecksilber wird weltweit in der Chlor-Alkali-Industrie, der Elektroindustrie, als Zusatz bei der Produktion von Farben, für die Goldextraktion und außerdem in der Medizin und Zahnmedizin verwendet.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden 1993 ca. 26 t Quecksilber für die Chloralkalielektrolyse, 29 t für medizinische Zwecke, 4,9 t für Kontrollinstrumente und den Apparatebau, 3 t für Chemikalien und Reagenzien sowie 10 t für sonstige Zwecke eingesetzt. Quecksilber wird als Bestandteil von Schädlingsbekämpfungsmitteln und für katalytische Zwecke nicht mehr eingesetzt. Seit 1983 werden in der Bundesrepublik Deutschland Farben nicht mehr mit quecksilberhaltigen Zusätzen versehen (Rauhut 1996).

Quecksilber kommt in metallischer Form sowie in einer Vielzahl von organischen und anorganischen Verbindungen vor. Die umwelthygienisch wichtigsten Formen lassen sich einteilen in metallisches Quecksilber sowie anorganische ( $\text{Hg}^{2+}$  und  $\text{Hg}_2^{2+}$ ) und organische Quecksilberverbindungen (Alkylquecksilberverbindungen).

In die Atmosphäre wird hauptsächlich elementares dampfförmiges Quecksilber emittiert und teilweise zu  $\text{Hg}^{2+}$  oxidiert. Nach der Deposition werden Quecksilber und seine Salze im aquatischen Milieu durch mikrobielle Aktivität methyliert und von Wasserlebewesen z.T. in hohen Konzentrationen angereichert. Im Sediment liegt Quecksilber als schwer lösliches Quecksilbersulfid vor.

Zur Bestimmung der korporalen Quecksilberbelastung des Menschen werden vor allem die Körperflüssigkeiten Blut und Urin untersucht. Die durch den Gehalt im Urin angezeigte Quecksilberbelas-

stung resultiert vor allem aus einer Exposition gegenüber metallischem oder anorganischem Quecksilber. Die Bestimmung im Blut wird gewöhnlich zur Abschätzung einer Exposition gegenüber dem stärker toxischen Methylquecksilber herangezogen (Elinder et al. 1994).

Inhaliertes **metallisches Quecksilber** wird vom menschlichen Organismus zu 80 % resorbiert (WHO 1991). Die Verteilung erfolgt über den Blutstrom. Die Oxidation des metallischen Quecksilberdampfes geht im Körper nicht schnell genug vonstatten, um eine Passage durch die Blut-Hirn-Schranke zu verhindern. Die Niere ist der Hauptspeicher. Für chronische Vergiftungen mit anorganischem Quecksilber ist das zentrale Nervensystem neben der Niere das kritische Zielorgan. Es werden psychische Reaktionen wie z.B. Erethismus (Erregbarkeitssteigerung), außerdem Tremor (Zittern der Gliedmaßen) sowie Depression und Gingivitis (Zahnfleischentzündung) als gesundheitliche Wirkungen angeführt. Für anorganisches Quecksilber wurde ab Gehalten von 30 µg/g Creatinin im Urin über Symptome wie Tremor und verminderte Nervenleitgeschwindigkeit berichtet. Ab einem Wert von 100 µg/g Creatinin ist die Wahrscheinlichkeit des Auftretens von klassischen neurologischen Symptomen einer Quecksilberintoxikation hoch (WHO 1991).

Das Freisetzen von Quecksilber aus Amalgamfüllungen in Zähnen kann zu einer Quecksilberaufnahme führen. In zahlreichen Untersuchungen konnte ein Zusammenhang zwischen der Anzahl der Amalgamfüllungen bzw. -oberflächen und dem Quecksilbergehalt in Körperflüssigkeiten und Körpergeweben aufgezeigt werden (Clarkson et al. 1988, Eley und Cox 1993). Auch die Freisetzung beeinflussende Faktoren (z.B. Konsum von Kaugummi, Kaffee, Alter der Füllungen) wurden untersucht (Björkman und Lind 1992).

Die Frage möglicher Gesundheitsschäden durch Quecksilber aus Amalgamfüllungen hat in der letzten Zeit zu teilweise kontroversen Diskussionen geführt. In der Bundesrepublik Deutschland wurde aus Gründen des vorbeugenden Gesundheitsschutzes die Nutzung von Quecksilberamalgamen eingeschränkt (Zinke 1994).

**Methylquecksilber** wird dem menschlichen Körper hauptsächlich mit der Nahrung zugeführt. Es wird nahezu vollständig resorbiert und über die Blutbahn innerhalb von 4 Tagen auf die Gewebe einschließlich des Gehirns verteilt. Für den menschlichen Körper wird eine biologische Halbwertszeit von 39 bis 70 Tagen angegeben (WHO 1990). Bezüglich der Wirkungen von Methylquecksilber steht bei den Erwachsenen die Neurotoxizität im Vordergrund; Parästhesie (subjektive Mißempfindungen, z.B. Taubheitsgefühle), Ataxie (Störung der Koordination) und Dysarthrie (Sprachstörung)

gen) können auftreten. Für Personen mit einem Quecksilbergehalt im Blut von ca. 200 µg/l wird ein um 5 % höheres Risiko für neurologische Schäden angegeben (WHO 1990). Im pränatalen Stadium liegt eine besonders große Empfindlichkeit vor, insbesondere für das sich entwickelnde Gehirn.

In einigen Fischarten werden so hohe Quecksilbergehalte gefunden, daß eine Fischmahlzeit durchaus ausreichen kann, um eine Quecksilbermenge aufzunehmen, die dem von der FAO/WHO definierten PTWI-Wert (provisional tolerable weekly intake) von wöchentlich 0,005 mg/kg Körpergewicht, wovon nicht mehr als 0,0033 mg/kg Körpergewicht als Methylquecksilber vorliegen sollten (WHO 1978 und 1989), entspricht. Als besonders belastet werden weltweit Hai-, Schwert- und Thunfisch angesehen. Aber auch in einigen Süßwasserfischen (Hecht, Barsch) können hohe Gehalte auftreten (WHO 1990).

In der Bundesrepublik Deutschland wurde wegen der bekannten Belastung von Fischen durch organische Quecksilberverbindungen bereits 1975 ein Höchstwert für Quecksilber in Fischen („Quecksilber-Verordnung, Fische“) festgelegt. Diese Regelung wurde bei Erlass der Schadstoff-Höchstmengenverordnung (SHmV) am 23. März 1988 in diese übernommen. Seit 1993 gibt es in der Gemeinschaft die Entscheidung 351/93/EWG der Kommission, mit der ebenfalls Höchstgehalte für Quecksilber in Fischen festgelegt wurden. Durch diese Entscheidung war die Liste der Fischarten in der SHmV, für die ein Quecksilbergehalt von 1,0 mg/kg zulässig war, anzupassen. Mit der Verordnung zur Änderung der SHmV, der der Bundesrat am 27. September 1996 zugestimmt hat, ist die EG-Entscheidung in deutsches Recht übernommen worden. Aus den Berichten der für die Lebensmittelüberwachung zuständigen Länder geht hervor, daß die Höchstgehalte für Quecksilber in Fischen nur in seltenen Fällen überschritten werden (z.B. MAGS 1996).

### 3 Hypothesen zum Auftreten einer korporalen Quecksilberbelastung

Zur Qualifizierung und Quantifizierung von Einflußgrößen auf die korporale Quecksilberbelastung der Allgemeinbevölkerung wurden im Vorfeld der multivariaten Analysen eine Reihe von Hypothesen formuliert. Auf der Grundlage des vorliegenden Datenmaterials wurden diese so gut wie möglich operationalisiert, woraus sich die nachstehend aufgeführten **Faktoren** ergeben, die bei Berechnung des Regressionsmodells als Prädiktoren berücksichtigt werden können.

In jedem Fall wurden diejenigen Faktoren berücksichtigt, die im Rahmen der bivariaten deskriptiven Auswertung des Umwelt-Surveys 1990/92 bei gesamtdeutscher Auswertung oder zumindest für die ost- oder westdeutsche Bevölkerung signifikante Gliederungsmerkmale für den Quecksilbergehalt im Blut oder Urin (volumen- und creatininbezogen) waren (Krause et al. 1996). Dabei handelt es sich um das Geschlecht, das Lebensalter, die Gemeindegrößenklasse, den Rauchstatus, den Schulabschluß, die Berufstätigkeit, die aufgenommene Alkoholmenge, die Häufigkeit des Fischverzehr, die Zahl der Zähne mit Amalgamfüllungen, das Alter der letzten Amalgamfüllung, das Baujahr des Wohnhauses und das Vorhandensein einer Ofenheizung mit Holz oder Kohle. Die Merkmale Body Mass Index und die Häufigkeit der sportlichen Betätigung zeigten bei bivariater Auswertung nur bei Creatininbezug einen signifikanten Effekt, werden aber dennoch berücksichtigt. Eine Tabellierung nach den in den multivariaten Analysen (vgl. Kap. 6) bedeutsamen Gliederungsmerkmalen findet sich im Anhang 10.1.

#### 3.1 Individuelle Faktoren

Bei kontinuierlicher Zufuhr von Quecksilber sollte es mit dem **Lebensalter** zu einer Anreicherung in den betroffenen Organen und damit einhergehend im Blut kommen. In vorangegangenen Untersuchungen wird häufig eine Zunahme des Quecksilbergehaltes im Blut mit dem Alter bei Erwachsenen (Akesson et al. 1991, Hansen et al. 1983, Lommel et al. 1992, Langworth et al. 1991) beschrieben. Kein Einfluß des Lebensalters ergab sich allerdings in den Untersuchungen von Möller-Madsen et al. (1988) und Palotti et al. (1979).

Was dagegen den Quecksilbergehalt im Urin betrifft, so kommt die Mehrzahl der Autoren bei Verwendung unterschiedlicher methodischer Ansätze (24h-Urin, Morgenurin, Normierung auf Creatinin) zu einem anderen Ergebnis: Der Quecksilbergehalt im Urin von Erwachsenen verringert sich mit dem Lebensalter (Langworth et al. 1991, Zander et al. 1992a), wobei Zander et al. (1992a) die Abnahme damit begründen, daß das Alter und die Zahl der Zahnfüllungen negativ korrelieren.

Bezüglich eines Zusammenhanges zwischen dem **Geschlecht** und der korporalen Quecksilberbelastung wird in der Literatur häufig ein höherer Quecksilbergehalt im Urin (Lie et al. 1982, Akesson et al. 1991) und zumindest tendenziell im Blut (Grasmick und Huel 1985, Lommel et al. 1992, Schaller et al. 1983) bei Frauen beschrieben, wobei allerdings eine Ursachenanalyse aussteht. Körpereigene Mechanismen für eine geschlechtsspezifische Aufnahme und Verteilung von Quecksilber sind nicht bekannt. Lediglich ein Einfluß von Kosmetika und Körperpflegemitteln wird diskutiert (Zander 1990a).

Es ist zu erwarten, daß zwischen dem **Creatiningehalt im Urin** und dem Quecksilbergehalt im Urin ein deutlicher Zusammenhang besteht. Der Creatiningehalt im Urin wird häufig zur Normierung von Gehalten im Urin herangezogen, da er ein Maß für die Konzentration des Urins ist. Der **Body Mass Index** hat sich im Rahmen des Umwelt-Surveys 1990/92 bei bivariater Testung als ein signifikantes Gliederungsmerkmal für die Quecksilbergehalte bei Creatininbezug herausgestellt. Für beide Faktoren wurde dort schon darauf hingewiesen, daß das Alter und das Geschlecht möglicherweise konfundierende Größen sind (Krause et al. 1996).

### 3.2 Amalgamfüllungen

Der Einfluß des Amalgamstatus sollte sich, vor allem über die Analyse der renalen Ausscheidung, also als eine Erhöhung des Quecksilbergehaltes im Urin, feststellen lassen (Kap. 2). Der Zusammenhang wurde in einer Vielzahl von Studien untersucht (z.B. Jokstad et al. 1992, Langworth et al. 1988 und 1991, Molin et al. 1991, Olstad et al. 1987 und 1990, Zander et al. 1990b und 1992a), wobei häufig neben der Zahl der Amalgamfüllungen auch die der Flächen bzw. Wertigkeiten (z.B. Herrmann und Schweinsberg 1993, Jokstad et al. 1992, Schweinsberg et al. 1992, Skare und Engqvist 1994) herangezogen wurde und damit z.T. bessere Korrelationskoeffizienten erreicht

wurden. Der Zusammenhang zeigt sich u.a. in Abhängigkeit von der Probenahme bzw. der Bezugsgröße (24h-Urin, Morgenurin, Angabe bezogen auf Creatinin) mehr oder weniger deutlich.

In der Literatur wird im allgemeinen nur ein geringer Einfluß bzw. eine niedrige Korrelation zwischen dem Amalgamstatus und dem Quecksilbergehalt im Blut beschrieben (Akesson et al. 1991, Babisch et al. 1992, Ott et al. 1984 und 1989). Jokstad et al. (1992), Langworth et al. (1991) und Svensson et al. (1992) finden keine signifikante Zunahme des Quecksilbergehaltes im Blut mit der Anzahl der Füllungen, für Palotti et al. (1979) ist der Zusammenhang eindeutig. Nicht in allen Studien wurde allerdings der für diesen Zusammenhang bedeutsame Störfaktor des Fischkonsums berücksichtigt.

Neben der **Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen** wird auch das **Alter der letzten Amalgamfüllung** als potentieller Prädiktor berücksichtigt. Zwar ist anzunehmen, daß die Merkmale konfundiert sind, jedoch ist ein eigenständiger Beitrag des Alters der letzten Füllung nicht auszuschließen. Bei Berücksichtigung dieses Faktors ist ein nichtlinearer Zusammenhang zu vermuten, denn die biologische Halbwertszeit für durch Amalgame aufgenommenes Quecksilber setzt sich aus drei verschiedenen Exponentialkurven mit ungefähren Halbwertszeiten von 5 Tagen, 1 und 3 Monaten (Ohnesorge 1992) zusammen. Begerow et al. (1994) stellten fest, daß sich die Exkretion von Quecksilber nach Entfernen von Amalgamfüllungen innerhalb von 12 Monaten auf einen Bereich einstellt, wie er bei Personen gefunden wird, die nie Amalgamfüllungen hatten.

Andere Autoren berichten von einem kurzfristigen Anstieg des Quecksilbergehaltes im Urin als Folge einer Zahnbehandlung, wobei innerhalb einiger Wochen die Ausgangswerte wieder erreicht wurden (Molin et al. 1990, Snapp et al. 1989). Bei ausdrücklicher Anwendung von Gamma-2-freien Amalgamen und z.T. unter einer sehr sorgfältigen zahnärztlichen Arbeitsweise wurden lediglich tendenzielle oder schwache Zunahmen beobachtet (Babisch et al. 1992, Hoffmann 1986, Ott et al. 1989).

In den hier durchzuführenden Zusammenhangsanalysen wird bei den Erwachsenen zusätzlich berücksichtigt, ob ein **Zahnarztbesuch in den letzten 4 Wochen** vorlag. Hierbei soll geprüft werden, inwieweit dieser Faktor eine bessere Operationalisierung der Belastung durch neu gelegte oder entfernte Amalgamfüllungen darstellt.

### 3.3 Verhaltensweisen

Der wesentliche Aufnahmepfad für Methylquecksilber ist die Nahrung, insbesondere der **Fischkonsum**. In einer Vielzahl von Untersuchungen (z.B. Akesson et al. 1991, Grandjean et al. 1992b, Hansen 1991, Hansen et al. 1983, Heinzow et al. 1989, Langworth et al. 1991, Lommel et al. 1992, Palotti et al. 1979, Schweinsberg und Kroihner 1994, Sherlock et al. 1984, Svensson et al. 1987 und 1992) konnte der Einfluß des Fischkonsums auf den Quecksilbergehalt im Blut nachgewiesen werden. In vielen Studien wird kein oder nur ein geringer Einfluß des Fischkonsums auf den Quecksilbergehalt im Urin gefunden (Akesson et al. 1991, Svensson et al. 1992).

Es gibt in der Literatur keine Hinweise auf einen Zusammenhang zwischen dem **Rauchverhalten** und der korporalen Quecksilberbelastung (Akesson et al. 1991, Grasmick et al. 1985, Schaller et al. 1983, Svensson et al. 1987, Zander et al. 1990a). Denkbar ist jedoch eine erhöhte Zufuhr von Quecksilber über kontaminierte Hände während des Rauchens am Arbeitsplatz. Nur von Langworth et al. (1991) wird ein geringer Einfluß des Rauchens auf den Quecksilbergehalt im Blut beschrieben.

In der Literatur finden sich Hinweise, daß bei chronischem Alkoholkonsum geringere Quecksilbergehalte in Organen auftreten (WHO 1991). Da sich ein Einfluß des **Alkoholkonsums** über eine geringere Oxidationsrate des aufgenommenen Quecksilbers (Äthanol ist Katalaseinhibitor) und damit eine geringere Aufnahme postulieren läßt, soll auf eine Prüfung in den durchzuführenden Regressionsanalysen nicht verzichtet werden. Langworth et al. (1991) konnten in ihrer schwedischen Studie keinen Zusammenhang zwischen dem Alkoholkonsum und dem Quecksilbergehalt im Urin (Morgenerin) nachweisen. Auch sie verweisen auf Berichte darüber, daß Ethanol die pulmonale Aufnahme von Quecksilber reduziert und die Verteilung von inhaliertem Quecksilber beeinflusst.

Zur Berücksichtigung des Einsatzes von quecksilberhaltigen Saatgutbeizmitteln in der Landwirtschaft in der ehemaligen DDR wurde in Ermangelung treffenderer Merkmale der **Aufenthalt im Grünen** in die Liste der zu prüfenden Faktoren aufgenommen. Gleiches gilt für den Faktor **Buddeln, Graben, Höhlenbauen**, der bei den Kindern den Bodenkontakt beschreiben soll.

Die **Häufigkeit der sportlichen Betätigung** ist vor dem Hintergrund interessant, daß sich bei bivariater Auswertung ein Zusammenhang zum Quecksilbergehalt im Urin ergeben hatte (Krause et al. 1996). Konfundierende Effekte vor allem des Geschlechts sind vorstellbar, jedoch wurden noch in

den 80er Jahren Sportplätze mit Kunststoffen belegt, welche Quecksilberverbindungen als Katalysatoren enthielten.

### 3.4 Wohnungsumfeld

In ländlichen Gegenden der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) wurden mit 3-5 ng/m<sup>3</sup> im Vergleich zu Ballungsgebieten mit 4-8 ng/m<sup>3</sup> etwas geringere Quecksilbergehalte in der Luft gemessen. In Emittentennahbereichen (vgl. Kap. 2) wurden hingegen Gehalte von 80-730 ng/m<sup>3</sup> Luft angegeben (Länderausschuß für Immissionsschutz 1994). Ergebnisse von Depositionsmessungen in der EG ergaben in ländlichen Räumen eine Quecksilberdeposition von 0,13 - 0,2 µg/(m<sup>2</sup>d) und in städtischen Bereichen eine Deposition von 0,1 - 5 µg/(m<sup>2</sup>d) (Lahmann und Jander 1987). In der Literatur finden sich jedoch keine deutlichen Hinweise auf eine höhere korporale Quecksilberbelastung der städtischen im Vergleich zur ländlichen Bevölkerung. Auch bei den Untersuchungen im Rahmen des Wirkungskatasters zu den Luftreinhalteplänen des Ruhrgebietes konnte bei einem Vergleich von einem ländlichen Gebiet (Borken) und den Ballungsgebieten kein unterschiedlicher Quecksilbergehalt im Urin festgestellt werden (MURL 1993). Bei anderen Untersuchungen wurden die regionalen Einflüsse von anderen Faktoren, vor allem dem Fischkonsum, überlagert bzw. durch diese erklärt (Grasmick und Huel 1985, Lommel et al. 1992). In der direkten Umgebung von Emittenten hingegen ließ sich eine höhere korporale Quecksilberbelastung aufzeigen (Lie et al. 1982).

Zur Charakterisierung der Belastungen durch Immissionen ließen sich aus den Angaben der Fragebögen die folgenden Einflußfaktoren operationalisieren, die in die Regressionsanalysen eingingen: **Gemeindegrößenklasse; Wohngebiet; Bebauungsart; Kläranlage, Deponie, Müllverbrennung oder Gewerbe/Industrie in 3 km Umkreis; Werkstatt in max. 10 m Entfernung vom Wohnhaus; Einschätzung einer schlechten Luftqualität durch Industrie/Gewerbe, private Verbraucher oder andere Verbrennungsprozesse.**



### 3.5 Häuslicher Bereich

Auch in Innenräumen können durch den Hausbrand und andere interne Quellen Quecksilberbelastungen auftreten. So wurden bis ca. 1983 in der Bundesrepublik Deutschland organische Quecksilberverbindungen als Fungizide in Farben und Holzschutzmitteln verwendet. In Altbauten dürften diese mit einiger Sicherheit z.T. noch heute vorhanden sein, so daß das Merkmal **Baualter des Wohnhauses** und damit in Zusammenhang stehend die **Wohndauer** berücksichtigt werden.

Eine wesentliche Emissionsquelle für Quecksilber ist die Verbrennung von fossilen Brennstoffen. Daraus eine Belastung für den häuslichen Bereich abzuleiten, erscheint zunächst wenig wahrscheinlich, soll aber der Vollständigkeit halber geprüft werden. Daher wird das Vorhandensein von **einzelnen zu bedienenden Öfen**, die **Verwendung von Kohle zum Heizen, Kochen oder zur Warmwasserbereitung** und das Vorhandensein einer **Ofenheizung mit Holz oder Kohle** berücksichtigt. In der Untersuchung von Eikmann (1982) war die Heizungs- bzw. Brennstoffart kein signifikanter Faktor für den Quecksilbergehalt im Urin.

Eine weitere häufig angeführte Ursache für Quecksilberbelastungen im häuslichen Bereich dürften nicht sachgerecht entsorgte Fieberthermometer oder Leuchtstoffröhren sein. Leider standen zur Operationalisierung solcher Quellen keine Informationen zur Verfügung.

Im Zusammenhang mit der häuslichen Belastung sollen auch die Fragen zur **Aufenthaltsdauer in Wohnräumen** (Erwachsene) bzw. **Aufenthalt in geschlossenen Räumen** (Kinder) berücksichtigt werden.

### 3.6 Arbeitsplatz

Untersuchungen zur Arbeitsplatzexposition, häufig in Verbindung mit dem Ziel des Nachweises gesundheitlicher Wirkungen, liegen für unterschiedliche Branchen in größerer Anzahl vor, z.B. für Arbeiter in Chlor-Alkali-Werken (Goethe und Langworth 1985, Langworth et al. 1988 und 1991), in der Amalgamproduktion (Roels et al. 1982), in Thermometerfabriken (Ehrenberg et al. 1991,

Schweinsberg et al. 1992), in der Batterieherstellung (Roels et al. 1987) und für Arbeiter einer Recyclingfabrik (Schaller et al. 1991). Dabei überschritten die Quecksilbergehalte im Blut den BAT-Wert von 50 µg/l häufiger als die Quecksilbergehalte im Urin den BAT-Wert von 200 µg/l. Bloedner et al. (1986) konnten keine Belastung der Arbeiter eines modernen Müllheizkraftwerkes feststellen. Außerdem gibt es diverse Studien zur Arbeitsplatzexposition von Zahnärzten und zahnärztlichem Personal (z.B. Akesson et al. 1991, Jokstad 1990, Möller-Madsen et al. 1988, Nilsson et al. 1990, Skare et al. 1990, Smetana et al. 1985, Verschoor und Herber 1988, Warren 1985, Zander et al. 1992b), die meist in einer vergleichsweise höheren korporalen Belastung deutlich wird.

Eikmann (1982) belegt in seiner Studie, daß Berufstätige einen höheren Quecksilbergehalt im Urin haben als Hausfrauen und Rentner. Er fand jedoch keinen Einfluß der sozialen Stellung (Schul- und Berufsbildung) sowie keinen Einfluß der Dauer der Beschäftigung.

Aus den Angaben in den Fragebögen ließen sich zu diesem Themenkomplex die Frage nach der **Berufstätigkeit**, die **berufliche Stellung**, die **mittlere Dauer des Aufenthaltes in Werkhallen** und die vom Probanden eingeschätzte **Belastung mit Quecksilber am Arbeitsplatz** operationalisieren. Wegen des Einsatzes von quecksilberhaltigen Saatgutbeizmitteln in der Landwirtschaft wird in diesem Zusammenhang auch die **derzeitige Tätigkeit in Land- und Forstwirtschaft** erfaßt. Faktoren wie der **Schulabschluß** und das **monatliche Haushaltsnettoeinkommen** wurden herangezogen, da sie möglicherweise in Zusammenhang zu der beruflichen Stellung stehen.

## 4 Studienbeschreibung

In den Jahren 1990/91 wurde die zweite Erhebung des Umwelt-Surveys in den alten Bundesländern (Umwelt-Survey-West) und 1991/92 zum ersten Mal auch in den neuen Bundesländern (Umwelt-Survey-Ost) durchgeführt. Zur Erfassung der korporalen Schadstoffbelastung wurden in Blut-, Urin- und Kopfhhaarproben eine Reihe von Substanzen/Verbindungen bestimmt. Zur Erfassung der Schadstoffbelastung im häuslichen Bereich wurden Trinkwasser- und Hausstaubproben analysiert. In den Gemeinden wurden darüber hinaus Proben aus den Wasserwerken, die die untersuchten Haushalte versorgen, sowie der partikelförmige Niederschlag an der Außenluft analysiert. Mit umfangreichen Fragebögen wurden neben den soziodemographischen Daten lebensstilbedingte Einflußgrößen für potentielle Belastungen erfaßt. Eine ausführliche Studienbeschreibung findet sich in Band Ia des Umwelt-Surveys 1990/92 (Studienbeschreibung und Human-Biomonitoring), so daß an dieser Stelle nur eine kurze zusammenfassende Beschreibung erfolgt. Die Bestimmung von Quecksilber erfolgte in den Körperflüssigkeiten Blut und Urin. Das Design der Studie war multisubstanziell orientiert angelegt und weder im Hinblick auf die durchgeführte Analytik noch im Hinblick auf die Fragebögen zielgerichtet nur auf Quecksilber ausgerichtet.

### 4.1 Stichproben

Die Auswahl der Probanden erfolgte nach einer mehrfach geschichteten zweistufigen Zufallsstichprobenziehung. Die Querschnittsstichproben sind nach den Merkmalen Gemeindegrößenklasse, Alter und Geschlecht repräsentativ für die erwachsene deutsche Wohnbevölkerung. Die Grundgesamtheit für die Stichprobenziehung war die deutsche Allgemeinbevölkerung, die während der Befragungs- bzw. Untersuchungszeiträume in Privathaushalten lebte und in Einwohnermeldekarteien registriert war.

In den alten Bundesländern nahmen 2524 Personen im Alter von 25 bis 69 Jahren an der Untersuchung teil, in den neuen Ländern 1497 Personen im gleichen Altersbereich. In die Untersuchungen

wurden auch 453 westdeutsche Kinder sowie 283 ostdeutsche Kinder im Alter von 6 bis 14 Jahren, die in den Haushalten der erwachsenen Probanden lebten, einbezogen. \*

In der realisierten gesamtdeutschen Stichprobe waren Männer mit 49,3 % und Frauen mit 50,7 % in etwa ebenso wie in der Grundgesamtheit repräsentiert, wobei als Basis der Mikrozensus 1991 (Statistisches Bundesamt) diente. Gleiches gilt für die 25- bis 69jährigen in den alten und neuen Ländern (alte Länder - Mikrozensus vs. realisierte Stichprobe: Männer: 49,9 % / 49,7 % und Frauen 51,0 % / 50,3 %; neue Länder - Mikrozensus vs. realisierter Stichprobe: Männer 48,1 % / 48,6 % und Frauen 51,9 % / 51,4 %).

Auch die nach den Merkmalen Lebensalter/Geschlecht und Gemeindegrößenklasse/Geschlecht realisierten Anteile stimmen im großen und ganzen recht gut mit den Anteilen im Vergleich zum Mikrozensus überein. Vereinzelt traten jedoch auch Unterschiede von mehr als 2 % auf (eine ausführliche Erläuterung findet sich in Band Ia der Berichte zum Umwelt-Survey (Krause et al. 1996)).

Für nahezu alle Erwachsenen und Kinder lagen Urinproben vor. Blutproben wurden bei 99 % der Erwachsenen und 97 % der Kinder genommen (Krause et al. 1996).

#### 4.2 Erhebungsinstrumentarium

Zur Bestimmung der Quecksilbergehalte im Blut wurde unter Verwendung von schwermetallarmen Vacutainerröhrchen und -kanülen (Fa. Becton Dickinson, Heidelberg) 2 x 3-5 ml Blut entnommen. Für die Sammlung des Morgenurins (bis zu 80 ml im West-Survey bzw. die gesamte Morgenurinmenge im Ost-Survey) wurden Uroboxen (80 ml, Fa. Hestia, Mannheim) bzw. Vierkantflaschen (1 l, Fa. Kautex, Bonn-Holzlar) eingesetzt. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in Band Ia des Umwelt-Surveys 1990/92 (Krause et al. 1996).

\* Nur in den neuen Bundesländern nahmen zusätzlich noch Personen aus weiteren Altersgruppen teil: 266 Erwachsene im Alter von 18 - 24 und 70-79 Jahren sowie 76 Kinder im Alter von 15-17 Jahren (vgl. Krause et al. 1996). Die Probanden dieser Randaltersklassen wurden nicht in die Zusammenhangsanalysen einbezogen, da - um eine Verfälschung der Ergebnisse auszuschließen - im Westen und im Osten der gleiche Altersbereich untersucht werden mußte.

In den eingesetzten Fragebögen wurden neben soziodemographischen Angaben auch Angaben über potentielle Einflußgrößen und zur Expositionssituation erfaßt. Bei den Erwachsenen wurde ein Fragebogen „Leben und Gesundheit in Deutschland“ zum Selbstauffüllen und ein vom untersuchenden Arzt auszufüllender Anamnesebogen des Gesundheits-Surveys, ein Fragebogen „Umwelt und Gesundheit in Deutschland“ und ein Dokumentationsbogen eingesetzt. Bei den Kindern/Jugendlichen wurde ein gesonderter interviewgesteuerter Fragebogen benutzt. Dieser enthält zusätzlich Fragen zum Freizeit- und Spielverhalten. In gesonderten Erhebungsbögen wurden wie bei den Erwachsenen die Angaben zu den gewonnenen Proben dokumentiert. Auch dazu finden sich detaillierte Angaben in Band Ia zum Umwelt-Survey 1990/92 (Krause et al. 1996). Die Fragebögen der Umwelt-Surveys werden in Band IIa publiziert, die der Gesundheits-Surveys können über das Robert Koch-Institut - Bundesinstitut für Infektionskrankheiten und nicht übertragbare Krankheiten in Berlin - bezogen werden.

#### **4.3 Analytik und Qualitätskontrolle**

Die Bestimmung von Quecksilber erfolgte im Vollblut. Zur Ermittlung des Quecksilbergehaltes im Urin wurde Morgenurin verwendet. Die chemische Analyse erfolgte mit Hilfe der AAS-Kaltdampftechnik (Gerät Perkin-Elmer 3030 B) bei einer Bestimmungsgrenze von jeweils 0,2 µg/l im Blut bzw. im Urin. Bei dieser analytischen Methode wird eine Bestimmung des Gesamtquecksilbers vorgenommen, d.h. eine Differenzierung bezüglich der vorkommenden Bindungsformen erfolgt nicht.

Die Blut- und Urinproben des Umwelt-Surveys-West wurden im Zeitraum von 1990 bis 1992 gemessen, die Blut- und Urinproben des Umwelt-Surveys-Ost in den Jahren 1992 und 1993. Während des gesamten Untersuchungszeitraumes wurden interne und externe Qualitätskontrollen durchgeführt. Im Jahr 1993 erfolgte ferner eine Qualitätskontrolle in Form von Wiederholungsmessungen, um die Vergleichbarkeit der Daten beider Surveys untereinander zu sichern. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Band Ia der Berichte zum Umwelt-Survey (Krause et al. 1996).

Zur internen Qualitätskontrolle wurden während der Analyse u.a. die Standardmaterialien „Kontrollblut für Metalle 1“ und „Lanonorm Kontroll-Urin für Metalle 1“ der Behring-Werke eingesetzt.

Tab. 4.3.1: Interne Qualitätskontrolle - Referenzmaterialien

Survey	Medium	BG ( $\mu\text{g/l}$ )	Sollwert (Bereich) ( $\mu\text{g/l}$ )	n	$\bar{x}$ ( $\mu\text{g/l}$ )	s ( $\mu\text{g/l}$ )	VK (%)	SWA (%)
Ost	Blut	0,2	10,4 (8,5 - 12,3)	50	9,2	1,2	13,0	-11,5
	Urin	0,2	9,7 (8,2 - 11,2)	18	8,4	0,8	9,5	-13,4
West	Blut	0,2	10,4 (8,5 - 12,3)	114	9,0	0,9	10,0	-13,5
	Urin	0,2	9,7 (8,2 - 11,2)	154	8,9	0,9	10,1	-8,2
Ost/West	Blut	0,2	10,4 (8,5 - 12,3)	164	9,2	1,1	12,0	-11,5
	Urin	0,2	9,7 (8,2 - 11,2)	172	8,8	0,9	10,2	-9,3

Anmerkungen:

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl der Kontrollmessungen;  $\bar{x}$  = arithmetisches Mittel;  
s = Standardabweichung; VK(%) = Variationskoeffizient in % =  $100\% \cdot (s / \bar{x})$ ; SWA(%) = Sollwertabweichung in % =  $100\% \cdot (\bar{x} - \text{Sollwert}) / \text{Sollwert}$

Die Ergebnisse der internen Qualitätskontrolle sind in der Tabelle 4.3.1 für den Umwelt-Survey-West 1990/91 und den Umwelt-Survey-Ost 1991/92 sowohl getrennt als auch zusammengefaßt dargestellt. Gemessen an den Variationskoeffizienten und den Sollwertabweichungen ist das Ergebnis der Qualitätskontrolle als gut zu bewerten.

Darüber hinaus wurde regelmäßig an Ringversuchen zu externen Qualitätskontrollen gemäß der Technischen Regel 410 für Gefahrstoffe (TRGS 410) der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. teilgenommen. Jeweils in den Jahren 1990, 1991 und 1993 erfolgte die Vergabe des Zertifikates für die Bestimmung von Quecksilber im Urin, im Jahr 1991 für die Bestimmung von Quecksilber im Blut. 1992 wurden keine Ringversuche durchgeführt. Die Abweichungen vom Sollwert des Ringversuchsmaterials lagen in einem Bereich von ca. 10 %, was als gut zu bewerten ist.

Da kommerzielle bzw. zertifizierte Standardmaterialien für die Mehrheit der tatsächlich im Blut und im Urin der Allgemeinbevölkerung vorkommenden Gehalte nicht erhältlich sind, wurden zusätzliche native Blute und Urine für eine Qualitätskontrolle benutzt (Tab. 4.3.2). Die festgestellten Variationskoeffizienten von bis zu 26 % liegen in einer Größenordnung, wie sie für die Bestimmung von Schwermetallen in Körperflüssigkeiten bei diesen Gehalten üblich sind.

Die im Umwelt-Survey analysierten mittleren Gehalte sind noch geringer und liegen nur um das 2- bis 4fache über der Bestimmungsgrenze. In diesem Bereich ist bei der Bestimmung von Schwermetallen in Körperflüssigkeiten mit Variationskoeffizienten von 20 - 40 % zu rechnen. Die im folgenden beschriebenen Ergebnisse eines Vergleichs zwischen der Erst- und einer 1993 durchgeführten Kontrollmessung von Bluten und Urinen der Umwelt-Surveys sind vor diesem Hintergrund zu bewerten.

Tab. 4.3.2: Interne Qualitätskontrolle - Laborstandards

Survey	Medium	BG ( $\mu\text{g/l}$ )	n	$\bar{x}$ ( $\mu\text{g/l}$ )	s ( $\mu\text{g/l}$ )	VK (%)
Ost	Blut	0,2	21	1,88	0,42	22,6
	Urin	0,2	15	0,90	0,18	19,5
West	Blut	0,2	28	1,46	0,38	26,2
	Urin	0,2	19	1,90	0,26	13,8

Anmerkungen:

BG = Bestimmungsgrenze; n = Anzahl der Kontrollmessungen;  $\bar{x}$  = arithmetisches Mittel; s = Standardabweichung; VK(%) = Variationskoeffizient in % =  $100 \cdot (s / \bar{x})$

Für jeden Survey wurde eine zufällige Teilstichprobe von 200 vorhandenen Blut- und 200 vorhandenen Urinproben ausgewählt, wobei die Anteile der Geschlechter und 5 Altersklassen in der Grundpopulation und der Raucheranteil in der Gesamtstichprobe berücksichtigt wurden.

In der Tabelle 4.3.3 sind die geometrischen und arithmetischen Mittel der Erst- und Kontrollmessungen zum Vergleich angegeben. Für den Test auf signifikante Unterschiede wurde der t-Test für Stichprobenpaare ohne vorherige logarithmische Transformation angewendet, da für die Differenz zwischen Original- und Wiederholungsmessung eine Normalverteilung angenommen werden kann. Die Signifikanzangabe bezieht sich auf das Niveau  $\alpha = 0,001$ .

Tab. 4.3.3: Mittelwertvergleich zwischen Erst- und Wiederholungsmessung des Umwelt-Surveys-West und des Umwelt-Surveys-Ost (Angaben in  $\mu\text{g/l}$ )

Element/ Probenart	Survey	GM 1. Messung	GM Kontrolle	AM 1. Messung	AM Kontrolle	t-Test Signifikanz
Hg/Blut	West 1990/91	0,45	0,44	0,73	0,68	0,168
Hg/Blut	Ost 1991/92	0,69	0,46	0,85	0,64	0,000
Hg/Urin	West 1990/91	0,60	0,47	1,05	0,77	0,000
Hg/Urin	Ost 1991/92	0,74	0,58	1,27	1,06	0,000

Für den **Quecksilbergehalt im Urin** liegen zwar beim Ost-Survey und beim West-Survey signifikante Unterschiede zwischen der Erst- und Wiederholungsmessung vor. Die geometrischen Mittel der Gehalte liegen in beiden Surveys bei der Kontrollmessung um 22 % niedriger als bei der Erstmessung. Da der Unterschied zwischen Erst- und Kontrollmessung in beiden Surveys gleichgerichtet und etwa gleich groß ist, ist eine gemeinsame Verrechnung in multivariaten Zusammenhangsanalysen (selbstverständlich unter Berücksichtigung des Prädiktors Ost-West) ohne Bedenken möglich..

Was die **Quecksilbergehalte im Blut** betrifft, so liegt nur für den Ost-Survey ein signifikanter Unterschied zwischen Erst- und Wiederholungsmessung vor, nicht aber für den West-Survey. Bei der Kontrollmessung wurden in den Ost-Proben um 33 % niedrigere Gehalte (geometrisches Mittel) als bei der Erstmessung ermittelt. Inwieweit analytische Veränderungen der Gehalte aufgrund der Lagerung eine Ursache darstellen könnten, war nicht aufzuklären. Wiederholte Messungen ließen keine systematischen Veränderungen im Sinne einer Erhöhung oder Verringerung der Gehalte erkennen. Für gesamtdeutsche Betrachtungen wurde die Möglichkeit einer Korrektur der Werte des Ost-Surveys, durch die analytisch bedingte Ost-West-Differenzen ausgeglichen werden können, geprüft. Allerdings ist eine Korrektur der Werte der Erstmessung aus statistischer Sicht bedenklich, da der ermittelte Korrelationskoeffizient zwischen den Wertepaaren der Erst- und Kontrollmessung für diesen Zweck zu niedrig ist.

Vorsorglich sei darauf hingewiesen, daß inhaltliche Interpretationen des Vergleichs der Quecksilbergehalte im Blut des West- mit denen des Ost-Surveys vor diesem Hintergrund nur eingeschränkt möglich sind. Es ist davon auszugehen, daß umwelt- und analytisch bedingte Unterschiede miteinander gekoppelt auftreten, die jedoch im einzelnen nicht exakt trenn- und quantifizierbar sind.



## 5 Statistische Methoden

### 5.1 Überblick über die Vorgehensweise

Mit multivariaten Zusammenhangsanalysen sollen die wichtigsten Expositionsquellen und -bedingungen identifiziert, ihre Bedeutung und Stärke bestimmt und ihre Wirkung quantifiziert werden. Als Verfahren wurde die multiple Regressionsanalyse eingesetzt, mit der in einem Regressionsmodell der Effekt der Einflußfaktoren (Prädiktoren) auf den Quecksilbergehalt im Blut oder im Urin (Kriterium) formalisiert wird. Hinreichende Modellgüte vorausgesetzt, kann mit der Modellgleichung geschätzt werden, welche Quecksilberbelastung für eine Person mit bekannten Expositionsbedingungen zu erwarten ist.

Weil für Kinder und Erwachsene möglicherweise unterschiedliche Expositionsbedingungen von Bedeutung sind, müssen getrennte Regressionsmodelle gebildet werden. Da zunächst die Vermutung nicht von der Hand zu weisen ist, daß in den alten Ländern und in den neuen Ländern zum Teil unterschiedliche Einflußfaktoren wirksam sein könnten, werden separate Modelle für ostdeutsche und westdeutsche Probanden ermittelt. Sollten sich diese Modelle nur unwesentlich unterscheiden, wird ein gemeinsames Modell für alle Probanden generiert, in dem auch das Merkmal alte/neue Länder berücksichtigt wird.

Es ist zu beachten, daß die Regressionsmodelle nur für die betrachteten Altersjahrgänge des Surveys gültig sind; sie sollten nicht benutzt werden, um die Quecksilberbelastungen von 0- bis 5jährigen, 15- bis 24jährigen oder 70jährigen und älteren Personen zu schätzen.

Um zu untersuchen, ob und wie sich die Bedeutung und das Zusammenwirken der Einflußfaktoren von 1985/86 bis 1990/91 verändert hat, sollen Regressionsmodelle für die westdeutschen Erwachsenen des 1. und des 2. Surveys entwickelt und verglichen werden. Bei einer Analyse des zeitlichen Trends ist man allerdings auf diejenigen potentiellen Prädiktoren beschränkt, die bereits im 1. Survey (Krause et al. 1989) erfaßt wurden.

## 5.2 Die Prädiktorvariablen

Als Prädiktoren oder Prädiktorvariablen werden in multivariaten Analysen die potentiellen Einflußfaktoren bezeichnet, deren Bedeutung für eine bestimmte Zielgröße, hier die Quecksilberbelastung, untersucht wird. Alle Prädiktoren sind im Hypothesenkapitel genannt und im Anhang 10.5 kurz beschrieben, dort sind auch statistische Kennwerte für all jene Prädiktoren angegeben, die sich später als bedeutsam herausstellten.

Manche Prädiktoren müssen erst transformiert werden, damit sie ins Regressionsmodell einbezogen werden können. Dies soll im folgenden an einigen wichtigen Prädiktoren exemplarisch verdeutlicht werden.

Ordinale Prädiktoren wurden - wenn möglich - metrisiert. Bei der Frage nach der Häufigkeit des Fischverzehr wurden die Antwortvorgaben 'nie', 'maximal einmal im Monat', '2-3mal im Monat', 'einmal in der Woche', 'mehrmals in der Woche' und 'fast täglich' umgerechnet in die geschätzte Anzahl von Fischmahlzeiten pro Monat. Durch diese Transformation ist eine bessere quantitative Abschätzung der Exposition bei Verwendung eines einzigen Prädiktors zum Fischverzehr möglich. Analog wurde mit den Kategorien des Haushaltseinkommens verfahren.

Bei kategorialen Prädiktoren mit mehr als 2 Ausprägungen wurde eine Dummymodierung durchgeführt (z.B. Bortz 1993). Vereinfacht gesagt heißt das, daß ein Prädiktor in mehrere zweistufige Prädiktorvariablen zerlegt wurde. Zum Beispiel wurden aus der Frage nach der Wohngegend mit den Antwortvorgaben 'ländlich' - 'vorstädtisch' - 'städtisch' 2 Prädiktoren: ein Prädiktor mit den Ausprägungen ländliche oder vorstädtische/städtische Wohngegend und ein weiterer Prädiktor mit den Ausprägungen ländliche/vorstädtische oder städtische Wohngegend.

Bei manchen Prädiktoren wurden mehrere Formen geprüft und schließlich diejenige verwendet, die das Modell für alle Probanden am deutlichsten verbesserte. Ein Beispiel dazu: im Modell für die neuen Länder war der Prädiktor 'kein Abitur - Abitur' bedeutsam; im Modell für die alten Länder der Prädiktor 'kein Schulabschluß/Hauptschule - Mittlere Reife/Abitur'. Zur Vereinheitlichung wurde dann ein dreistufiger Prädiktor Schulabschluß ('kein Schulabschluß/Hauptschule' - 'Mittlere Reife' - 'Abitur') getestet, der in allen Modellen signifikant war.

Eine etwas ungewöhnliche Transformation war beim Prädiktor 'Alter der letzten Amalgamfüllung in Monaten' notwendig. Auf den ersten Blick erscheint es, als könnte mit den Monatsangaben gerechnet werden. In diesem Fall könnte man aber allen Personen ohne Amalgamfüllung keinen Wert zuordnen und müßte diese aus der multivariaten Analyse ausschließen (ca. 30% der Probanden). Daher wurde eine reziproke Transformation benutzt:  $(1/(1+\text{Monate}))$ . So ergibt sich für ein Alter der Füllung von 0 Monaten ein Funktionswert von 1, für 1 Monat ein Wert von 0,5, für 2 Monate ein Wert von 0,33, für 4 Monate ein Wert von 0,2 ... für 1 Jahr ein Wert von 0,08. Schließlich wird Probanden ohne Amalgamfüllung der Wert 0 zugeordnet. Die transformierten Werte bilden somit die Abnahme der Exposition durch Alterung der Amalgamfüllung ab. Im Grenzfall, d.h. beim Fehlen von Amalgamfüllungen, entfällt diese. \*

Transformationen, welche die Interpretation eines Prädiktors erschwerten, wurden vermieden.

Aus der Literatur sind keine Studien bekannt, die auf Wechselwirkungen zwischen mehreren Faktoren, die die Quecksilberkonzentration bestimmen, hindeuten (vgl. Kap. 3). Somit ergibt sich beim hypothesengeleiteten Vorgehen kein Ansatzpunkt für das Testen von Interaktionseffekten in den Regressionsanalysen. Es wurden allerdings versuchsweise Wechselwirkungsterme gebildet, welche die unterschiedlichen Wirkung eines Prädiktors in den alten und neuen Ländern beinhalteten, was aber zu keiner Verbesserung der Modelle führte. Außerdem wurden - ebenfalls ohne Erfolg - Interaktionen zwischen dem Prädiktor Schulbildung und potentiellen Einflußfaktoren untersucht.

### 5.3 Die Kriteriumsvariablen

Als Kriterium, Kriteriumsvariable oder Zielvariable wird in den multivariaten Analysen die untersuchte Schadstoffbelastung bezeichnet, hier also die Quecksilberkonzentration im Blut und im Urin, sowie die - nur am Rande behandelte - am Creatinin normierte Quecksilberkonzentration im Urin. Quecksilbergehalte in anderen Medien wurden aus den zuvor genannten Gründen nicht gemessen.

\* Das Merkmal hätte im Modell auch durch 2 Prädiktoren dargestellt werden können: Amalgamfüllung vorhanden (nein/ja) und Alter der letzten Füllung. Diese Art der Codierung wurde getestet, führte aber nicht zu einer besseren Varianzaufklärung.

Meßwerte unter der Bestimmungsgrenze von 0,2 µg/l Blut bzw. Urin wurden mit 0,1 µg/l (halbe Bestimmungsgrenze) berücksichtigt.

In Band Ia (Krause et al. 1996) sind die statistischen Kennwerte der Kriteriumsvariablen für die hier interessierenden Teilkollektive tabelliert sowie die Meßwerteverteilungen grafisch dargestellt. Die Form der Verteilungen ist stark linksschief. Aus theoretischer Sicht (Ott 1990) und aufgrund von durchgeführten statistischen Tests können für die Kriteriumsvariablen Lognormalverteilungen angenommen werden. Durch Logarithmieren läßt sich die Verteilung der Schadstoffkonzentrationen in eine Normalverteilung überführen. Da die umfassende Anwendung der multiplen Regressionsanalysen eine normalverteilte Kriteriumsvariable voraussetzt, ist eine solche Transformation unumgänglich.

#### 5.4 Das Regressionsmodell

Die hier verwendete multiple lineare Regressionsanalyse ist das gebräuchlichste Verfahren einer multivariaten Zusammenhangsanalyse für eine stetige Kriteriumsvariable. Die in der Literatur berichteten Studien verwendeten für multivariate Auswertungen meist ebenfalls dieses Verfahren (Kap. 6.1.1.2).

Die multiple lineare Regressionsanalyse geht von einem additiven Vorhersagemodell aus, in dem die unbekannt Parameter durch Minimierung der Fehlerquadrat-Summen bestimmt werden. Da die Normalverteilung des Kriteriums vorausgesetzt wird, wird die Analyse mit den logarithmierten Quecksilbergehalten durchgeführt.

Für die logarithmierten Kriteriumswerte  $\ln(y)$  gilt folgende Regressionsgleichung:

$$\ln(y) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_m \cdot x_m,$$

wobei  $b_0$  die Regressionskonstante und  $b_1 \dots b_m$  die Regressionskoeffizienten für die  $m$  Prädiktoren  $x_1$  bis  $x_m$  bezeichnen, die grob vereinfacht die Grundbelastung und die Wirksamkeit der Prädiktoren für das logarithmierte Kriterium widerspiegeln.

Da das Ziel der Analysen kein Modell für die logarithmierten, sondern die ursprünglichen Quecksilbergehalte ist, wird die Regressionsgleichung durch Exponentieren umgeformt:

$$y = \exp(b_0) \cdot \exp(b_1)^{x_1} \cdot \exp(b_2)^{x_2} \cdot \dots \cdot \exp(b_m)^{x_m} .$$

Das additive Modell für logarithmierte Quecksilbergehalte wird dadurch zu einem multiplikativen Modell für die originalen Quecksilbergehalte.

In dieser multiplikativen Form ist das Regressionsmodell besonders für relative (prozentuale) Aussagen über die Wirkung einer Zu- oder Abnahme von Expositionen auf die Schadstoffbelastung geeignet. Der Regressionskoeffizient  $\exp(b_i)$  gibt an, mit welchem Faktor der Kriteriumswert zu multiplizieren ist, wenn sich Prädiktor  $x_i$  um eine Einheit erhöht, oder wie hier: um wieviel Prozent sich die korporale Quecksilberbelastung erhöht, wenn die Expositions Komponente (Prädiktor  $x_i$ ) um eine Einheit zunimmt.

## 5.5 Die Modellbildung

Die Berechnungen wurden mit der Statistik-Software SPSS für Windows, Version 6.0 (SPSS-Manual, 1993) durchgeführt.

Da bei der Modellbildung aus ca. 40 z.T. inhaltlich recht ähnlichen Prädiktorvariablen eine Auswahl getroffen werden mußte, wurde eine schrittweise Regression durchgeführt (SPSS-Prozedur 'stepwise' mit den voreingestellten Parametern PIN=0,05 und POUT=0,10).

Bei der sukzessiven Modellentwicklung wurde wie folgt vorgegangen. Zuerst wurden für die alten Länder und für die neuen Länder separate Modelle gebildet:

Mit der stepwise-Prozedur identifizierte SPSS die bedeutsamen Einflußfaktoren. Dann wurden im Sinne eines hypothesengeleiteten Vorgehens diejenigen schwachen Prädiktoren herausgenommen, deren Wirkung unplausibel oder nicht zu interpretieren war. Ein erneuter Rechengang zeigte, wie stabil das Modell war, wie sich die Parameter der Prädiktoren änderten, vor allem welche Prädiktoren an die Stelle der eliminierten traten. Der Vergleich beider Modelle konnte auch suppressive

Effekte erkennbar machen. Zugunsten der inhaltlichen Plausibilität und leichten Interpretierbarkeit wurde auch ein geringer Verlust an Varianzaufklärung von 1 bis 2 % in Kauf genommen. Auf diese Weise wurden ein Modell für Ost und ein Modell für West mit gut interpretierbaren, stabilen Prädiktoren gebildet.

Im nächsten Schritt wurden Modellmodifikationen zur Vereinheitlichung durchgeführt. Ein Prädiktor, der in beiden Landesteilen unterschiedlich war, wurde im jeweils anderen Modell noch einmal erprobt oder durch einen inhaltlich ähnlichen ersetzt - vorausgesetzt die Varianzaufklärungsrate sank dabei nicht deutlich. Sofern für die alten und die neuen Länder sehr ähnliche Modelle gebildet werden konnten, wurde ein gemeinsames Modell für alle Probanden gesucht, wobei analog vorgegangen wurde.

Die gebildeten Modelle wurden auf Verletzungen der Verfahrensvoraussetzungen untersucht. Im Rahmen einer Residualanalyse wurden die Annahmen der Normalverteilung und der Unabhängigkeit der Fehlerterme geprüft. Außerdem wurde geringe Multikollinearität der Prädiktoren sichergestellt.

## 5.6 Kennwerte für die Güte eines Regressionsmodells

Zur Bewertung der Güte eines Regressionsmodells werden hier folgende inhaltliche und praktische Gesichtspunkte beachtet: Das Modell soll sparsam, stabil und einfach zu handhaben sein und nur plausible, leicht interpretierbare Prädiktoren enthalten. Auch der Umweltmediziner sollte die Prädiktoren möglichst in seiner Praxis erfassen und das Modell für seine potentiell quecksilberbelasteten Patienten anwenden können.

Folgende statistische Kennwerte zur Beurteilung der Güte eines Regressionsmodells werden berechnet:

- Die multiple Korrelation  $R$ : Das ist die Korrelation der auf der Grundlage des Regressionsmodells geschätzten Kriteriumswerte mit den tatsächlichen Kriteriumswerten.

- Das multiple Bestimmtheitsmaß  $R^2$ : Berechnet als Quadrat der multiplen Korrelation gibt das multiple Bestimmtheitsmaß an, welcher Anteil der Varianz der Kriteriumswerte durch die Prädiktoren aufgeklärt oder erklärt wird.
- Das adjustierte oder korrigierte Bestimmtheitsmaß: Es korrigiert die unter bestimmten Bedingungen entstehenden überhöhten Varianzaufklärungsraten. Diese Korrektur wirkt um so stärker, je größer die Prädiktorenzahl im Verhältnis zum Stichprobenumfang ist. In dieser Studie ist die Fallzahl so hoch und die Prädiktorenzahl so niedrig, daß sich die Korrektur nicht nennenswert auswirkt. Daher wird das adjustierte Bestimmtheitsmaß bei Spezialmodellen für Zusatzauswertungen nicht angegeben.
- Die Signifikanz der multiplen Korrelation kann - analog zur bivariaten Korrelation - getestet werden. Eine nicht signifikante multiple Korrelation muß als zufallsbedingt angesehen werden, ihre Parameter dürfen nicht interpretiert werden. Da alle hier berichteten multiplen Korrelationen auf dem 0,1%-Niveau signifikant sind, wird darauf im folgenden nicht mehr eingegangen.

Entscheidend für die Bewertung eines Regressionsmodells ist das Bestimmtheitsmaß. Die Interpretation eines Modells, das weniger als 20 % der Varianz der Kriteriumswerte aufklärt, ist in mancher Hinsicht problematisch. In einem solchen Fall sind offenbar wichtige Einflußgrößen entweder gar nicht im Modell enthalten oder zwar im Modell enthalten, aber nicht in zufriedenstellender Weise operationalisiert, so daß sie nur wenig zur Varianzaufklärung beitragen. Bei einem derartigen Modell können zwar die bedeutsamen Prädiktoren interpretiert werden, aber es sollte darauf verzichtet werden, auf der Basis einer Modellgleichung, die mehr als 80 % der Varianz des Kriteriums unerklärt läßt, Kriteriumswerte zu schätzen bzw. vorherzusagen.

### 5.7 Kennwerte der Prädiktoren

Folgende statistische Kennwerte zur Bedeutung und zur Wirkung eines Prädiktors in einem Regressionsmodell werden angegeben:

- Signifikanz des Prädiktors: Ein Signifikanztest prüft, ob der Prädiktor in der Grundgesamtheit einen von Null abweichenden Regressionskoeffizienten hat, also statistisch bedeutsam ist. Alle

Prädiktoren, über die im folgenden berichtet wird, sind - wenn nichts anderes angemerkt wird - auf dem 0,1%-Niveau signifikant.

- Schätzung des Regressionskoeffizienten für das multiplikative Modell mit Konfidenzintervall: Der Schätzwert stellt eine Punktschätzung des Regressionskoeffizienten in der Grundgesamtheit dar und sollte zusammen mit seinem 95%-Konfidenzintervall betrachtet werden, dem Bereich, in dem der Regressionskoeffizient mit 95 % Wahrscheinlichkeit liegt. Je breiter das Konfidenzintervall ist, desto ungenauer ist die Schätzung des Parameters.
- Der standardisierte Regressionsparameter  $\beta$  (genauer: der Standardpartialregressionskoeffizient für das lineare Modell mit logarithmierten Kriteriumswerten): Er kann zum Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Prädiktoren verwendet werden. Er verändert sich bei Änderung der Maßeinheit des Prädiktors nicht. Außerdem wird er zur Berechnung des Varianzbeitrages des Prädiktors herangezogen.
- Die bivariate Korrelation  $r$  des Prädiktors mit dem Kriterium.
- Der Varianzanteil des Prädiktors, auch Varianzkomponente, Varianzbeitrag oder Effekt des Prädiktors genannt: Er gibt an, welchen Anteil der Kriteriumsvarianz im Regressionsmodell durch den Prädiktor erklärt wird. Dieser wird rechnerisch als Produkt  $\beta \cdot r$  bestimmt und sollte in der Regel mindestens 0,01 bzw. 1 % betragen. Die Summe der Varianzkomponenten für alle Prädiktoren des Modells ergibt  $R^2$ , also den insgesamt durch das Modell aufgeklärten Anteil der Kriteriumsvarianz.
- Die Partialkorrelation des Prädiktors mit dem Kriterium: Sie gibt die Korrelation des Prädiktors mit dem Kriterium an, nachdem alle linearen Effekte der übrigen Prädiktoren aus diesem Prädiktor und dem Kriterium rechnerisch entfernt wurden.
- Die Korrelationen des Prädiktors mit den anderen Prädiktoren: Diese müssen betrachtet werden, um eine Verletzung der Verfahrensvoraussetzung geringer Multikollinearität zu erkennen.

In ein Regressionsmodell aufgenommen werden alle signifikanten Prädiktoren, die mindestens 1 % zur Aufklärung der Kriteriumsvarianz im Modell beitragen; diese werden im folgenden als **Prädiktoren mit bedeutsamen Effekten** oder **bedeutsame Prädiktoren** bezeichnet. Am Rande werden



noch inhaltlich interessante 'Prädiktoren mit kleinen Effekten' erwähnt, das sind ebenfalls signifikante Prädiktoren, die aber nur 0,2 % bis unter 1 % der Kriteriumsvarianz im Regressionsmodell erklären.

Bei der Interpretation der Prädiktoren ist folgendes zu beachten: Auch wenn multivariate Zusammenhangsanalysen durchgeführt wurden und ein Regressionsmodell mit varianzstarken, stabilen und plausiblen Prädiktoren gefunden wird, ist nicht sicher, daß jeder dieser Prädiktoren ursächlich das Kriterium (hier: den Quecksilbergehalt) bestimmt.

### 5.8 Stichprobe und Regressionsanalyse

Die statistische Modellbildung erfolgt mit ungewichteten Daten, da die multivariaten Zusammenhänge sonst nicht exakt quantifiziert werden und Verzerrungen der Effekte des Modells auftreten können. Bei der deskriptiven Datenauswertung dagegen wurden durch Personengewichte geringe Disproportionen in der Stichprobe im Vergleich zur Bevölkerung ausgeglichen. Erfahrungsgemäß ist die Zusammenhangsstruktur äußerst robust gegenüber derartigen Disproportionen, so daß die entwickelten Modelle für die Allgemeinbevölkerung Gültigkeit haben. Darüber hinaus wird auch die Bedeutung der Wichtungsmerkmale (Alter, Geschlecht, Gemeindegrößenklasse) in den Regressionsanalysen erfaßt, da diese Merkmale als Prädiktoren eingesetzt werden.

In die multiplen Regressionsanalysen werden nur Personen mit vollständigen Datensätzen einbezogen, also Personen, von denen jeder Prädiktor bekannt ist. Die Regressionsmodelle für Quecksilber im Blut basieren auf 97 % der erwachsenen Probanden und 98 % der untersuchten Kinder, die Regressionsmodelle für Quecksilber im Urin auf 95 % der Erwachsenen und 98 % der Kinder. Die Stichproben, die den Regressionsanalysen zugrunde liegen, können also nur unwesentlich von den untersuchten Stichproben abweichen, so daß eine Verzerrung der Ergebnisse nicht zu befürchten ist.

Wichtige Einflußgrößen, die in der Stichprobe sehr selten vorkommen, sind im Regressionsmodell häufig instabil. Daher werden Expositionen, die zwar einen starken Effekt haben, aber nur bei wenigen Personen aus der Allgemeinbevölkerung wirken (z.B. Expositionen am Arbeitsplatz), in den hier generierten Modellen möglicherweise nicht erscheinen.

## 6 Ergebnisse und Diskussion

### 6.1 Quecksilber im Urin

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der multivariaten Zusammenhangsanalysen für die volumenbezogenen Quecksilbergehalte im Urin behandelt. Es werden Regressionsmodelle für alle Erwachsenen (25 bis 69 Jahre) und alle Kinder (6 bis 14 Jahre) des Umwelt-Surveys 1990/92 vorgestellt. Einen Überblick über die Varianzkomponenten gibt Abbildung 6.1.1. Zusätzlich wird auch auf Regressionsmodelle für die am Creatiningehalt normierten Quecksilbergehalte im Urin eingegangen.

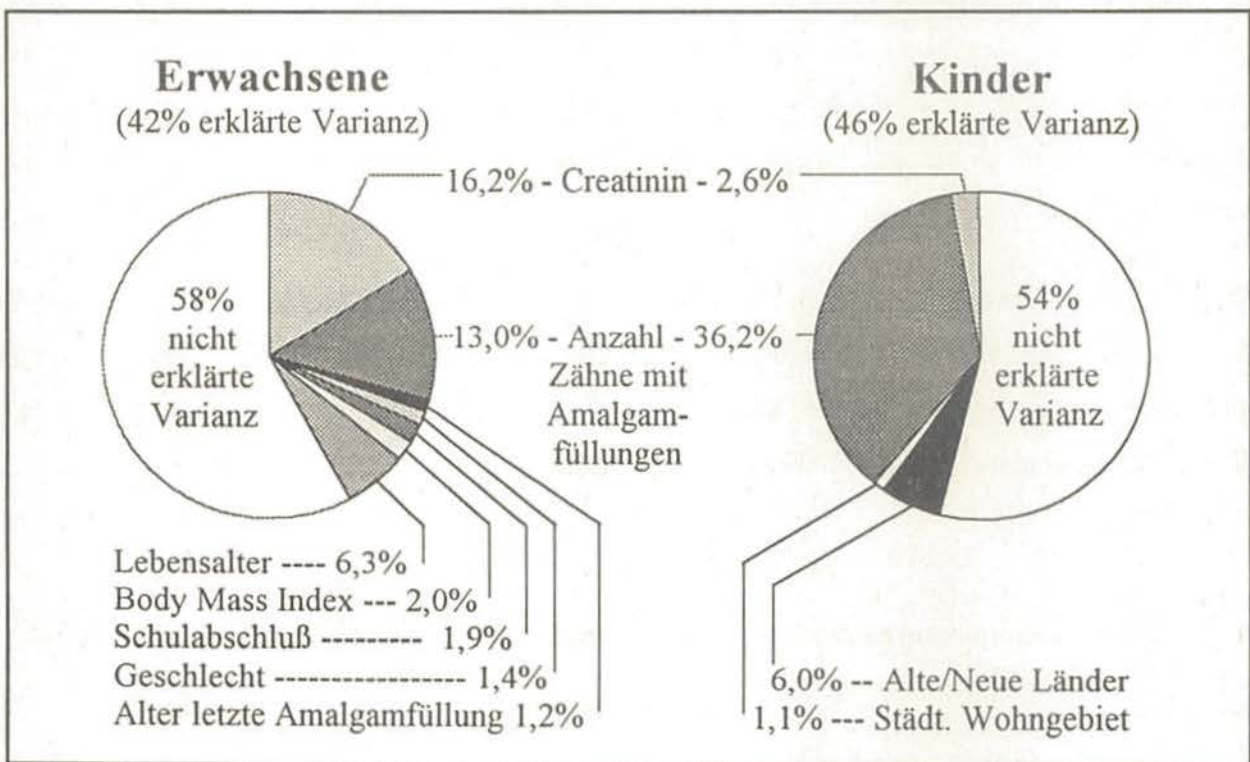


Abb. 6.1.1: Regressionsmodelle für den Quecksilbergehalt im Urin von Erwachsenen und Kindern - Vergleich der Varianzkomponenten

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Der Schwerpunkt der Darstellung liegt auf den Daten der Surveys 1990/92. Für die Daten der westdeutschen Erwachsenen des 1. Surveys 1985/86 wurde zwar auch ein Regressionsmodell erstellt. In diesem Modell fehlt aber die wichtige Einflußgröße Amalgamstatus, weil dazu keine Informationen erhoben wurden. Ein infolgedessen nur eingeschränkt möglicher Vergleich der Bedeutung der Prädiktoren für 1985/86 und 1990/91 wird am Ende des Kapitels (Kap. 6.1.5) vorgestellt.

### **6.1.1 Regressionsanalysen, Erwachsene**

Im folgenden wird das hypothesengeleitet gebildete Regressionsmodell für die volumenbezogenen Quecksilbergehalte im Urin der Erwachsenen der Umwelt-Surveys 1990/92 (West und Ost) dargestellt. Die wichtigsten Kennwerte der Modelle sind in Tab. 6.1.1 und 6.1.2 angegeben. Im Anhang befinden sich die Kennwerte (Tab. 10.2.1) und die Interkorrelationen (Tab. 10.2.2) aller Variablen sowie zusätzliche Kennwerte des Regressionsmodells, die eher für den statistisch versierten Leser interessant sind (Tab. 10.2.3). Alle potentiellen Einflußgrößen, die als Prädiktoren versuchsweise ins Regressionsmodell einbezogen, dann aber z.T. doch eliminiert wurden, sind im Anhang 10.5 aufgeführt.

Die getrennt für Erwachsene aus den alten oder aus den neuen Ländern entwickelten Regressionsmodelle unterscheiden sich nur unwesentlich (Kap. 6.1.1.5), so daß ein Modell für alle 25- bis 69jährigen Deutschen angegeben werden kann. In dieses Modell wurde zunächst auch das Merkmal alte/neue Länder einbezogen, das aber ohne Bedeutung war und daher eliminiert wurde.

#### **6.1.1.1 Varianzkomponenten des Regressionsmodells**

Mit den 7 Prädiktoren des Regressionsmodells lassen sich 42 % der Varianz der Quecksilbergehalte im Urin erklären (Tab. 6.1.1).

Wichtigster Prädiktor ist der Creatiningehalt des Urins mit einem Varianzbeitrag von 16,2 %.

Tab. 6.1.1: Die Varianzkomponenten des Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Urin der 25- bis 69jährigen Erwachsenen (N=3795)

Prädiktoren	Varianzkomponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	stand. Regressionskoeffizient $\beta$	Korrelation mit $\ln(\text{HgU})$ $r$
$x_1$ Creatinin im Urin (in g/l)	16,2%	0,36	0,45
$x_2$ Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	13,0%	0,29	0,45
$x_3$ Lebensalter (in Jahren)	6,3%	-0,15	-0,43
$x_4$ Body Mass Index (in $\text{kg/m}^2$ )	2,0%	-0,08	-0,24
$x_5$ Schulabschluß (dreistufig)	1,9%	0,07	0,26
$x_6$ Geschlecht	1,4%	-0,15	-0,09
$x_7$ Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung	1,2%	0,06	0,22
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100\%$	42,0%		
Adjustiertes $R^2 \cdot 100\%$	41,9%		
Multiples R	0,65		

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

2 Prädiktoren des Modells erfassen den Effekt der Amalgamfüllungen. Die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen erklärt 13,0 % und das Alter der letzten Amalgamfüllung (transformiert, vgl. Kap. 5.2) zusätzlich noch 1,2 % der Gesamtvarianz der Quecksilbergehalte des Urins.

Das Lebensalter liefert einen Varianzbeitrag von 6,3 %. Jeder der übrigen 3 Prädiktoren trägt 1-2 % zur Varianzaufklärung des Modells bei: der Body Mass Index 2,0 %, der Schulabschluß 1,9 % und das Geschlecht 1,4 %.

Eine Kreuzvalidierung ergab, daß das Modell mit allen Prädiktoren eine sehr gute Stabilität aufweist (zur Erläuterung des Verfahrens und der Resultate vgl. Anhang 10.2, Tab. 10.2.4).

Zur Einordnung des resultierenden Modells und der berücksichtigten Prädiktoren seien im folgenden aus der Literatur bekannte Studien mit einer vergleichbaren Auswertungsstrategie vorgestellt.

#### 6.1.1.2 Modelle aus anderen Studien

Akesson et al. (1991) z.B. untersuchten ein Kollektiv aus 244 Personen zahnärztlichen Personals und 81 Kontrollpersonen (Morgenurin, Bezug auf Creatinin). Durch den Bezug auf Creatinin ist bei ihnen

der Amalgamstatus der wesentliche Prädiktor (dies entspricht dem Ergebnis der vorliegenden Studie; Kap. 6.1.4). Der Prädiktor Zahl der Amalgamfüllungen ergab eine Varianzaufklärung von 36 %, welche sich durch die Berücksichtigung der Amalgamoberflächen auf 44 % verbessern ließ. Die Autoren schlossen aber, daß die Zahl der Amalgamfüllungen ein durchaus ausreichender Expositionsparameter ist. Interessant ist, daß sie einen Zusammenhang zu dem Vorhandensein von keramischen Metallkronen fanden, der zu einem um ein Drittel höheren Quecksilbergehalt im Urin führte.

Jokstadt et al. (1992) berechneten ein Modell (Morgenerin, Angaben in  $\mu\text{g/l}$ ) mit den Prädiktoren Geschlecht, Lebensalter und Zahl der restaurierten Oberflächen und erreichten eine Varianzaufklärung von 36 %. Mit log-transformierten Daten erhöhte sich die Varianzaufklärung auf 47 %. Eine Berücksichtigung des Creatiningehaltes, wie in der vorliegenden Studie, erfolgte jedoch nicht. Potentielle Prädiktoren wie Rauchen, Fischkonsum und Medikamentenkonsum waren nicht signifikant.

Bei Langworth et al. (1991) wurde dagegen eine signifikante Wirkung des Fischkonsums gefunden. Im multivariaten Modell (Morgenerin, Angaben in  $\mu\text{g/g}$  Creatinin) wurde für Quecksilber im Urin eine Varianzaufklärung von 19 % für die Kontrollgruppe (Lebensalter, Fischkonsum, Anzahl der Amalgamoberflächen) und 36 % für die exponierte Gruppe gefunden (Lebensalter, Fischkonsum, Art der Arbeit, Arbeitsjahre, Anzahl der Amalgamoberflächen). Die durchschnittlichen Quecksilbergehalte im Urin auch der Kontrollgruppe lagen mit 2,2  $\mu\text{g/g}$  Creatinin höher als im Umwelt-Survey.

Skare et al. (1990) untersuchten Zahnärzte und Helferinnen (24h-Urin, Angaben in  $\mu\text{g Hg/24h}$ ). Neben dem Beschäftigungsort (Klinik oder Praxis) und der Anzahl der Amalgamoberflächen wurde auch ein tendenzieller Einfluß der Häufigkeit des Gebrauchs von Kaugummi auf den Quecksilbergehalt im Urin festgestellt. Insgesamt resultierte eine Varianzaufklärung von 28 %. Bei der von den Autoren herangezogenen Vergleichsgruppe einer früheren Untersuchung erreichten sie bei gleicher Vorgehensweise nur durch den Prädiktor 'Anzahl der Amalgamoberflächen' eine Varianzaufklärung von 48 %.

Für den Vergleich der Ergebnisse dieser Studie mit den Literaturergebnissen kann festgestellt werden, daß sich die insgesamt erreichten Varianzaufklärungen in einem ähnlichen Bereich bewegen wie in der vorliegenden Studie. Immer stellte sich der Amalgamstatus der Zähne als ein wesentlicher Prädiktor dar. Teilweise wird wie in der vorliegenden Studie ein Einfluß des Geschlechts und des Lebensalters gefunden. Auf diese und andere signifikante Prädiktoren wird im folgenden eingegangen.

### 6.1.1.3 Modellgleichung

Die Parameter der Regressionsgleichung sind in der Tabelle 6.1.2 angegeben. Ihre inhaltliche Bedeutung wird weiter unten bei der Beschreibung der einzelnen Prädiktoren erläutert.

Tab. 6.1.2: Die Parameter der Modellgleichung für den Quecksilbergehalt im Urin der 25- bis 69jährigen Erwachsenen

Prädiktor	Multiplikativer Parameter	Relative Veränderung des Hg-U-Meßwertes bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit (mittlerer Zuwachs an Hg-U mit 95%-Konfidenzintervall)
x <sub>1</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	1,775	77,5% (70,1% bis 85,1%)
x <sub>2</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	1,086	8,6% (7,8% bis 9,5%)
x <sub>3</sub> Lebensalter (in Jahren)	0,986	-1,4% (-1,6% bis -1,1%)
x <sub>4</sub> Body Mass Index (in kg/m <sup>2</sup> )	0,979	-2,1% (-2,7% bis -1,4%)
x <sub>5</sub> Schulabschluß (keiner oder Hauptschule = 0; Mittlere Reife = 1; Abitur = 2)	1,115	11,5% (7,1% bis 16,1%)
x <sub>6</sub> Geschlecht (weiblich = 0; männlich = 1)	0,698	-30,2% (-34,2% bis -26,0%)
x <sub>7</sub> Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung (x <sub>7</sub> = 1 / (1+ Alter in Monaten); x <sub>7</sub> = 0, falls keine Amalgamfüllung)	1,937	93,7% (42,0% bis 164,2%)
Konstante	0,580	

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Will man auf der Grundlage des Modells den Quecksilbergehalt im Urin eines 25- bis 69jährigen Erwachsenen (y) (Maßeinheit µg/l) vorhersagen oder schätzen, so ist die folgende Regressionsgleichung zu benutzen:

$$y = 0,580 \cdot 1,775^{x_1} \cdot 1,086^{x_2} \cdot 0,986^{x_3} \cdot 0,979^{x_4} \cdot 1,115^{x_5} \cdot 0,698^{x_6} \cdot 1,937^{x_7}$$

Für den Praktiker wird die Berechnung derart geschätzter Werte an zwei bezüglich der Prädiktoren extremen - aber trotzdem realistischen - Beispielen demonstriert. Die Beispiele verdeutlichen das Zusammenwirken der Prädiktoren im Regressionsmodell.

### Beispiele für auf der Grundlage des Modells geschätzte Quecksilbergehalte im Urin von Erwachsenen:

**Person A:** weist einen Creatiningehalt von 1,4 g pro Liter Urin auf ( $x_1=1,4$ ; geometrisches Mittel), hat keine Amalgamfüllung ( $x_2=0$ ), ist 69 Jahre alt ( $x_3=69$ ), hat einen Body Mass Index von 32 ( $x_4=32$ ), hat keinen Schulabschluß oder einen Hauptschulabschluß ( $x_5=0$ ), ist männlich ( $x_6=1$ ).

Da die Person keine Amalgamfüllung hat, ist als transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung 0 einzusetzen ( $x_7=0$ ).

Geschätzter Hg-U-Wert (y) [Maßeinheit  $\mu\text{g/l}$ ]:

$$y = 0,580 \cdot 1,775^{1,4} \cdot 1,086^0 \cdot 0,986^{69} \cdot 0,979^{32} \cdot 1,115^0 \cdot 0,698^1 \cdot 1,937^0$$

$$y = 0,580 \cdot 2,233 \cdot 1 \cdot 0,378 \cdot 0,507 \cdot 1 \cdot 0,698 \cdot 1$$

$$y = 0,173.$$

**Person B:** weist einen Creatiningehalt von 1,4 g pro Liter Urin auf ( $x_1=1,4$ ; geometrisches Mittel), hat 12 Zähne mit Amalgamfüllungen ( $x_2=12$ ), ist 25 Jahre alt ( $x_3=25$ ), hat einen Body Mass Index von 20 ( $x_4=20$ ), hat Abitur ( $x_5=2$ ), ist weiblich ( $x_6=0$ ).

Die letzte Amalgamfüllung wurde vor wenigen Tagen gelegt ( $x_7=1/(1+0 \text{ Monate})=1$ ).

Geschätzter Hg-U-Wert (y) [Maßeinheit  $\mu\text{g/l}$ ]:

$$y = 0,580 \cdot 1,775^{1,4} \cdot 1,086^{12} \cdot 0,986^{25} \cdot 0,979^{20} \cdot 1,115^2 \cdot 0,698^0 \cdot 1,937^1$$

$$y = 0,580 \cdot 2,233 \cdot 2,691 \cdot 0,703 \cdot 0,654 \cdot 1,243 \cdot 1 \cdot 1,937$$

$$y = 3,859.$$

#### 6.1.1.4 Prädiktoren mit bedeutsamen Effekten

##### Creatiningehalt im Urin

Das Regressionsmodell sagt aus, daß sich der Quecksilbergehalt im Mittel um 77,5 % erhöht, wenn der Creatiningehalt im Urin um 1 g/l zunimmt. Mit 95%iger Wahrscheinlichkeit liegt die Erhöhung des Quecksilbergehaltes im Bereich von 70,1 und 85,1 %, wie das Konfidenzintervall des Regressionsparameters angibt (Tab. 6.1.2).

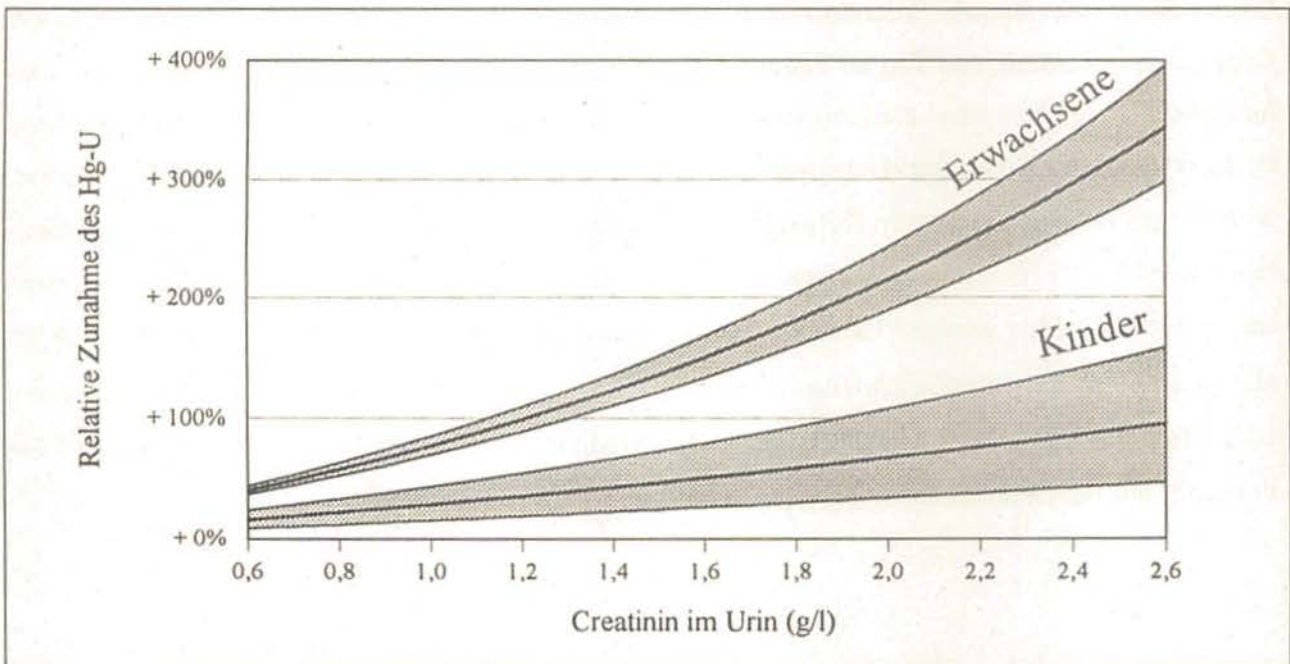


Abb. 6.1.2: Effekt des Creatinins im Urin in den Regressionsmodellen für Kinder und Erwachsene (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Urin mit 95%-Konfidenzintervall)

**Anmerkung:** In der Abbildung sind die relativen Veränderungen des Hg-U dargestellt, nicht die absoluten Hg-U-Gehalte. Zum Beispiel bedeutet „+100%“ eine Verdoppelung des Hg-U.

**Quelle:** UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Die **prozentuale** Veränderung des Quecksilbergehaltes mit zunehmendem Creatiningehalt im Urin veranschaulicht die Abbildung 6.1.2. In der Grafik ist fast der gesamte vorkommende Wertebereich des Creatinins dargestellt.

Der Creatiningehalt im Urin wird häufig als Bezugsgröße für andere Analyte im Harn verwendet, wodurch der unterschiedlichen Verdünnung der Harnproben durch Flüssigkeitszufuhr und -abfuhr Rechnung getragen werden soll. Dabei wird davon ausgegangen, daß die Ausscheidung von Creatinin über 24 Stunden konstant ist und wenig von der Diurese beeinflusst ist (Alessio et al. 1985). Dieser Bezug würde somit vor allem bei Bestimmung von Bestandteilen im Morgen- und Spontanurin zu valideren Meßergebnissen führen. Auch bei diesem Vorgehen werden aber noch erhebliche Schwankungsbreiten akzeptiert. Vor diesem Hintergrund ist der Zusammenhang zwischen der Exkretion von Schwermetallen und dem Creatiningehalt im Urin plausibel. Andererseits berichteten Akari und Aono (1989), daß gerade die Ausscheidung von Quecksilber im Gegensatz zu der von Creatinin und anderen Schwermetallen unabhängig von der Flüssigkeitszufuhr ist, was wiederum keinen Zusammenhang in einem multivariaten Modell ergeben sollte.



Gegen einen sehr starken Zusammenhang spricht grundsätzlich auch, daß die Schwankungen der Creatininausscheidung von Tag zu Tag individuell im Mittel bis zu 50 % betragen können. Eine starke Zufuhr von Fleisch bzw. Fleischprodukten, besonders aber intensive körperliche Betätigung kann zu einer erhöhten Creatininausscheidung führen. Eine hohe Korrelation besteht zur Muskelmasse, wohingegen die Beziehung zum Körpergewicht geringer ausgeprägt ist (DiGiorgio 1974). Krankheiten, einschließlich Nierenerkrankungen, können ebenfalls die Ausscheidung von Creatinin beeinflussen. Frauen scheiden weniger Creatinin aus als Männer. Daß die Ausscheidung mit dem Alter abnimmt, ist in der Literatur beschrieben (Diamond 1988) und zeigt sich auch in dieser Studie (Anhang 10.2, Tab. 10.2.2). Die Interkorrelationen der Prädiktoren sind jedoch nicht so hoch, daß ein Prädiktor aus dem Modell eliminiert werden müßte.

### **Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen**

Unbestritten ist, daß Quecksilberdampf aus dem Mund in vivo zu einer Aufnahme von Quecksilber in Körpergewebe führt. Eine Abschätzung der freigesetzten Menge ist jedoch schwierig, da bei dem Vergleich von Literaturergebnissen Unsicherheiten bei der Qualitätskontrolle bestehen und sich die Probenahmemethoden unterscheiden. Außerdem werden nicht immer Faktoren wie Atemmuster, Verdünnung mit der Atemluft und Zeitpunkt der vorangegangenen Mahlzeiten berücksichtigt (WHO 1991).

Auf der Grundlage des Modells läßt sich die Frage beantworten, wie sehr zusätzliche Amalgamfüllungen die korporale Quecksilberbelastung erhöhen (Tab. 6.1.2). Ein Zahn mit Amalgamfüllung(en) erhöht den Quecksilbergehalt im Urin im Mittel um 8,6 % (Konfidenzintervall von 7,8 bis 9,5 %). Man könnte nun fälschlich annehmen, daß 10 Zähne mit Amalgamfüllungen den Quecksilbergehalt um 86 % erhöhen würden, hätte dabei aber übersehen, daß in der Modellgleichung nicht multipliziert, sondern potenziert wird. Der korrekte prozentuale Zuwachs ist erheblich höher, er beträgt 228 %. Der Quecksilbergehalt hat sich somit mehr als verdreifacht (ein Zuwachs von 100% entspricht einer Verdoppelung). Da die prozentuale Zunahme der Quecksilberbelastung durch mehrere Füllungen nicht so einfach aus der Modellgleichung ersichtlich ist, erfolgt zusätzlich die Darstellung in Abbildung 6.1.3.

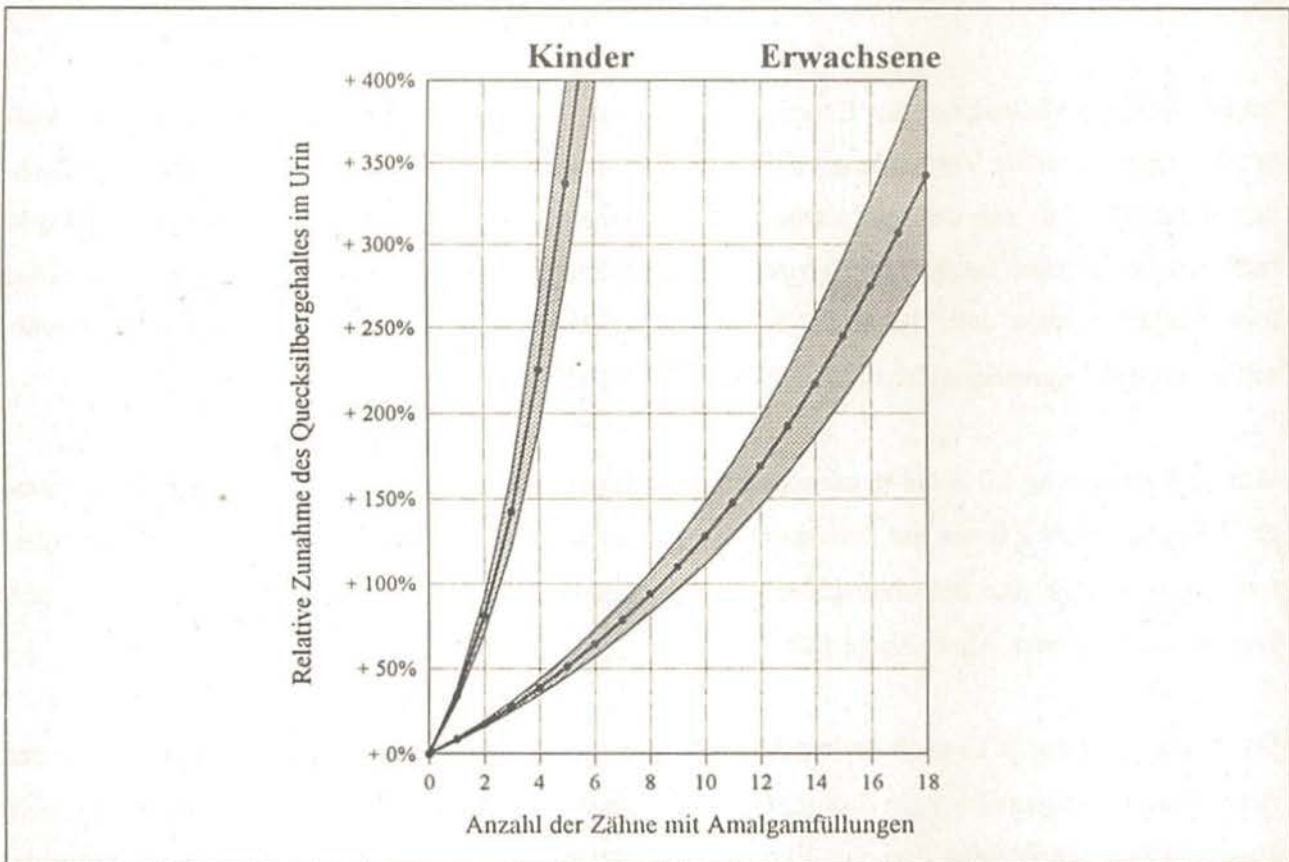


Abb. 6.1.3: Effekt der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen in den Regressionsmodellen für Erwachsene und Kinder (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Urin mit 95%-Konfidenzintervall)

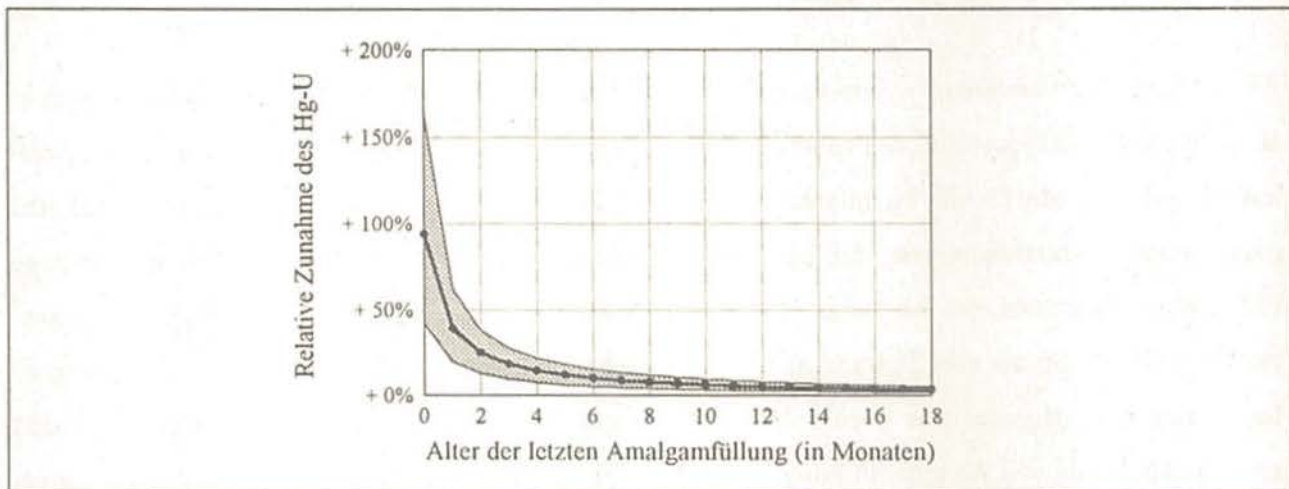


Abb. 6.1.4: Effekt des Alters der letzten Amalgamfüllung im Regressionsmodell für Erwachsene (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Urin mit 95%-Konfidenzintervall)

**Anmerkung:** In diesen Abbildungen sind nicht die absoluten Quecksilbergehalte dargestellt, sondern die prozentualen Zunahmen des Quecksilbers im Urin. Zum Beispiel bedeutet „+100%“ eine Verdoppelung und „+300%“ eine Vervielfachung.

**Quelle:** UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Im Hinblick auf Maßnahmen zur Expositionsminderung interessiert, welche Reduktion der Quecksilberbelastung durch die Vermeidung von Amalgamfüllungen erreicht wird. Wieder könnte man fälschlich annehmen, daß sich der Quecksilbergehalt bei einem amalgamgefüllten Zahn weniger um 8,6 % reduziert. Tatsächlich beträgt die Verringerung im Mittel 7,9 % bei einem Zahn weniger, 15,2 % bei zwei Zähnen weniger und 21,9 % bei drei Zähnen weniger. Für  $n$  Zähne ergibt sich als Rechenvorschrift aus der Regressionsgleichung :  $(1-(1/1,086^n)) \cdot 100\%$ .

Während Abbildung 6.1.3 die **prozentuale Veränderung** des Quecksilbergehaltes im Urin mit steigender Anzahl von Zähnen mit Amalgamfüllungen aufzeigt, sind in der Abbildung 6.1.5 die **absoluten** Quecksilbergehalte bei unterschiedlich vielen Zähnen mit Amalgamfüllungen für Männer und Frauen verschiedenen Alters dargestellt.

Da in der Literatur z.T. auch andere Verläufe der Quecksilberbelastung in Abhängigkeit von der Anzahl der Amalgamfüllungen diskutiert werden (Kap. 3.2), wurden auch eine logarithmische, eine quadratische, eine Wurzel- und eine Exponentialfunktion im Regressionsmodell für die logarithmierten Quecksilbergehalte getestet. Allerdings führte keine dieser Funktionen zu einer besseren Varianzaufklärung als die hier verwendete lineare Funktion für die logarithmierten Kriteriumswerte bzw. exponentielle Funktion für die originalen Kriteriumswerte.

Ein ähnlicher Kurvenverlauf wurde auch in den Studien von Akesson et al. (1991) und Langworth et al. (1988 und 1991) jeweils bei Probenahme von Morgenurin aufgezeigt. Akesson et al. (1991) diskutieren als Gründe für die Nichtlinearität u.a. eine Dosis-Abhängigkeit des Quecksilbermetabolismus. Außerdem postulieren sie, daß bei vielen Füllungen möglicherweise auch häufiger großflächige Füllungen vorkommen, die möglicherweise elektrochemisch aktiver sind, jedoch ohne dies näher auszuführen. In der Studie von Skare et al. (1990) wird bei Untersuchung von 24h-Urin und multivariater Auswertung dagegen eine lineare Abhängigkeit gefunden. Gleiches gilt für den Zusammenhang zwischen der Zahl von Amalgamfüllungen und dem Quecksilbergehalt in unterschiedlichen Körperorganen (Weiner und Nylander 1993).

### Alter der letzten Amalgamfüllung

Da das Alter der letzten Amalgamfüllung bivariat nicht nur mit dem Quecksilbergehalt im Urin, sondern auch mit der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen korreliert (Anhang 10.2, Tab. 10.2.2), würde man zunächst vermuten, daß es sich hierbei um einen redundanten Prädiktor handeln könnte, der für das Modell entbehrlich ist. Die Regressionsanalyse zeigt aber, daß auch das Alter der letzten Amalgamfüllung - zusätzlich zur Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen - einen eigenständigen Beitrag von 1,2 % zur Varianzaufklärung des Modells leistet.

Eine neu gelegte Amalgamfüllung erhöht in den ersten Tagen den Quecksilbergehalt im Urin im Mittel um 93,7 %. Mit 95%iger Wahrscheinlichkeit liegt diese Zunahme der Quecksilberbelastung in einem Bereich von 42,0 % bis 164,2 %. Das breite Konfidenzintervall weist auf die Ungenauigkeit der Schätzung hin.

Mit dem zuvor genannten Zuwachs ist schon der maximale Effekt angegeben, den das Alter der letzten Amalgamfüllung haben kann. Denn bereits nach einem Monat wirkt sich eine neue Amalgamfüllung nur noch wesentlich schwächer aus: im Mittel beträgt die Erhöhung der Quecksilberbelastung dann noch 39,2 % (Konfidenzintervall von 19,2 bis 62,5 %). Der Effekt der letzten Amalgamfüllung nach weiteren Monaten ist in Abbildung 6.1.4 dargestellt. Die Grafik zeigt, daß dieser Prädiktor schon nach wenigen Monaten den Quecksilbergehalt im Urin nicht mehr nennenswert bestimmt.

Zum schnellen Abfall der Quecksilberbelastung nach einer neuen Amalgamfüllung ist noch eine Anmerkung nötig: Diese Funktion für den zeitlichen Trend wurde im Regressionsmodell dadurch vorgegeben, daß mit transformierten Altersangaben gerechnet wurde ( $1/(1+\text{Alter in Monaten})$ ). Die Transformation und somit die Funktion wurde allerdings so gewählt, daß sie nach der Literatur den zeitlichen Verlauf gut widerspiegelt (Kap. 3.2). Einige andere gebräuchliche Funktionstypen wurden ebenfalls getestet, führten aber zu keinem besseren Modell.

In der Literatur wurde ein kurzfristiger Anstieg des Quecksilbergehaltes im Urin als Folge einer Zahnbehandlung beschrieben, wobei innerhalb einiger Wochen die Ausgangswerte wieder erreicht wurden (Molin et al. 1990, Snapp et al. 1989). Die Vermutung eines nichtlinearen Zusammenhanges, welcher sich aus den Angaben von Ohnesorge (1992) ergäbe (Kap. 3.2), bestätigte sich somit.

## Lebensalter

Das Lebensalter korreliert bivariat negativ mit dem Quecksilbergehalt im Urin ( $r = -0,43$ ). Dieser Zusammenhang könnte aber dadurch zustande kommen, daß mit zunehmendem Alter die Anzahl amalgamgefüllter Zähne abnimmt ( $r = -0,36$ ), wie dies auch in der Literatur diskutiert wird (Kap. 3.1). In diesem Fall müßte bei einer multivariaten Betrachtungsweise der Einfluß des Lebensalters verschwinden. Dies ist aber nicht ganz der Fall. An der Partialkorrelation von  $-0,16$  zwischen Quecksilber und Alter, bei der alle übrigen Prädiktoren kontrolliert werden, erkennt man, daß das Alter für sich genommen immer noch einen Effekt hat. Als Prädiktor liefert es einen eigenen bedeutsamen Beitrag zum Regressionsmodell.

Ein zusätzliches Lebensjahr verringert den Quecksilbergehalt des Urins im Mittel um 1,4 % (Konfidenzbereich von 1,1 % bis 1,6 %, Tab. 6.1.2), unabhängig von Amalgamfüllungen und den übrigen Einflußfaktoren des Modells. Für 10 Lebensjahre wird nach der Regressionsgleichung dementsprechend eine mittlere Abnahme der Quecksilberbelastung um 13,2 % und für 20 Jahre um 24,6 % geschätzt.

In Abbildung 6.1.5 ist dargestellt, wie sich die **absoluten** Quecksilbergehalte im Urin für zwei extreme Altersjahrgänge (25jährige im Vergleich zu 69jährigen) verhalten, wenn die Prädiktoren Geschlecht und Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen variieren. Die Verläufe für 26- bis 68jährige liegen zwischen den abgebildeten Kurven. Für Jahrgänge, die außerhalb des Altersbereiches 25 bis 69 Jahre liegen, sollten mit dem Modell keine Quecksilberwerte vorhergesagt werden.

Es wurde auch geprüft, ob eine andere monotone Funktion die altersbedingte Abnahme der Quecksilbergehalte besser abbildet, ob also - mathematisch ausgedrückt - durch eine Transformation der Alterswerte (u.a. Logarithmieren, Quadrieren) eine höhere Varianzaufklärung erreicht werden kann. Dies ist nicht der Fall.

Das Lebensalter leistet somit einen eigenständigen Beitrag zur Varianzaufklärung, was auch von anderen Studien berichtet wird. Akesson et al. (1991) beschreiben in ihrer Studie bei multivariater Auswertung ebenfalls ein Absinken des Quecksilbergehaltes im Urin mit dem Lebensalter, gleichzeitig aber einen Anstieg des Quecksilbergehaltes im Blut und vermuten eine bisher nicht erklärte Variation des Quecksilbermetabolismus mit dem Alter als Ursache. Jokstadt et al. (1992) beschreiben ebenfalls in einem multivariaten Modell ein Absinken mit dem Alter.

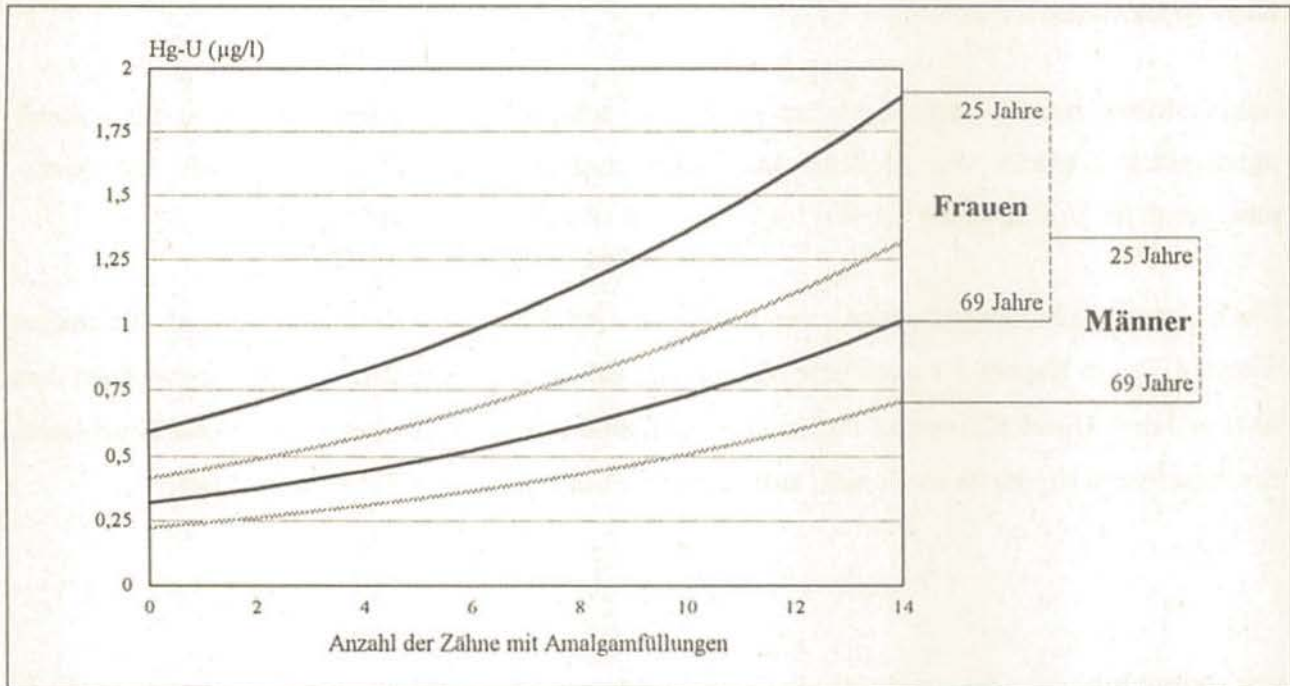


Abb. 6.1.5: Regressionsfunktion des Quecksilbergehaltes im Urin der Erwachsenen nach Geschlecht, Lebensalter und Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen

**Anmerkung:** Die Regressionsfunktion ist gültig für einen Probanden mit Mittlerer Reife, mit einem Body Mass Index von 26, mit 1,4 g/l Creatinin im Urin, dessen letzte Amalgamfüllung 3 Jahre als ist.

**Quelle:** UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Weiner und Nylander (1993) fanden - bei Kontrolle des Amalgamstatus - mit dem Alter deutlich abnehmende Gehalte an Quecksilber in der Nierenrinde. Sie verweisen auf eine Reihe von Studien, die auf eine sinkende Exkretionsrate von Quecksilber mit dem Alter hinweisen, und sie postulieren, daß dies auch für die Akkumulation in der Niere zutrifft. Letzteres bestätigte sich in der Untersuchung von Drasch et al. (1992), die bei Nichtamalgamträgern bis zu einem Alter von ca. 60 Jahren eine Abnahme des Quecksilbergehaltes in der Nierenrinde fanden.

Der Befund verdeutlicht, daß für den bei bivariaten Auswertungen ebenfalls häufig beobachteten Effekt der Abnahme des Quecksilbergehaltes im Urin nicht, wie häufig vermutet, allein die sinkende Zahl von Amalgamfüllungen verantwortlich ist.

### Body Mass Index

Das Verhältnis des Körpergewichts zur Körperoberfläche (Body Mass Index, BMI) ist ein weiterer signifikanter Prädiktor des Modells. Mit jedem zusätzlichen  $\text{kg/m}^2$  reduziert sich der Quecksilbergehalt im Urin etwa um 2,1 % (1,4 bis 2,7 % lt. Konfidenzintervall, Tab. 6.1.2).

Das bedeutet, daß Übergewichtige einen geringeren Quecksilbergehalt im Urin haben als Normalgewichtige. Die in Kapitel 3.1 geäußerte Vermutung, daß der bivariate Zusammenhang zwischen dem BMI und dem Quecksilbergehalt im Urin auf konfundierte Effekte des Lebensalters und Geschlechts zurückzuführen ist, dürfte somit nicht zutreffen. Hier besteht weiterer Forschungsbedarf.

### Schulabschluß

Für die Erwachsenen (25 bis 69 Jahre) ergab sich ein signifikanter Effekt der Schulbildung (zur Codierung vgl. Kap. 5.2). Im Vergleich zu Personen ohne Schulabschluß oder mit Hauptschulabschluß weisen Personen mit Mittlerer Reife etwa 11,5 % und Personen mit Abitur etwa 24,3 % höhere Quecksilbergehalte im Urin auf (Tab. 6.1.2).

Bivariat korrelieren Schulabschluß und Quecksilbergehalt mit  $r = 0,26$ . Wie die Partialkorrelation von  $r = 0,09$  zeigt, bleibt ein - zwar geringerer, aber signifikanter - Effekt des Bildungsstandes auch dann bestehen, wenn alle übrigen im Regressionsmodell enthaltenen Einflußgrößen (z.B. Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen, Body Mass Index) Berücksichtigung gefunden haben.

Da man sich den Schulabschluß nicht als Quelle der Quecksilberexposition vorstellen kann, müssen hier andere, mit dem Bildungsstand korrelierende Einflußgrößen wirksam sein. Unterschiedliche Ernährungsgewohnheiten erscheinen zunächst als plausible Hypothese, dürften sich aber weniger am Quecksilbergehalt im Urin als vielmehr im Blut zeigen, da mit der Nahrung hauptsächlich Methylquecksilber zugeführt wird.

In zusätzlichen Analysen gelang es nicht, die konfundierten Effekte aufzuklären. Unter den hypothesenorientiert ausgewählten potentiellen Prädiktoren (u.a. Fischverzehr) ist der hinter der Schulbil-

zung stehende Wirkungsfaktor nicht zu finden. Auch das Einbeziehen von Wechselwirkungseffekten führte zu keinem klärenden Ergebnis.

## **Geschlecht**

Hypothesengemäß und in Übereinstimmung mit der Literatur (Kap. 3.1) ergeben sich für Männer niedrigere Quecksilbergehalte im Urin als für Frauen - und zwar nach dem Regressionsmodell im Mittel um 30,2 % niedrigere Werte mit einem Konfidenzintervall von 26,0 bis 34,2 % (Tab. 6.1.2).

Die grafische Darstellung der Geschlechtsunterschiede findet man in Abbildung 6.1.5, wo das Zusammenwirken von Geschlecht, Lebensalter und Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen auf die absoluten Quecksilbergehalte im Urin dargestellt ist.

Auch in anderen multivariaten Auswertungen findet sich ein ähnlicher Effekt (Grandjean et al. 1992a), und es wird auf einen möglicherweise unterschiedlichen Metabolismus für Männer und Frauen hingewiesen (Akeson et al. 1991), wobei eine endgültige Klärung jedoch aussteht. Bei Berücksichtigung der Exkretion als 24h-Urin konnten Skare et al. (1990) allerdings keinen Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Quecksilbergehalt im Urin feststellen.

Lie et al. (1982) fanden bei bivariater Auswertung für Männer und Frauen vor dem 15. und nach dem 45. Lebensjahr gleiche Quecksilbergehalte im Morgenurin und weisen auf eine mögliche hormonbedingte Ursache hin.

### **6.1.1.5 Vergleich der Regressionsmodelle für die alten und die neuen Länder**

Bevor ein gemeinsames Regressionsmodell für die Erwachsenen der gesamten Bundesrepublik Deutschland konstruiert werden konnte, wurde sichergestellt, daß sich getrennte Modelle für die alten und die neuen Länder nicht wesentlich unterscheiden.



Die wichtigsten Kennwerte dieser Modelle sind in Tabelle 6.1.3 gegenübergestellt. In beiden Kollektiven sind die gleichen Einflußfaktoren in der gleichen Wirkungsrichtung mit ungefähr den gleichen Effektstärken wirksam wie im Modell für alle deutschen Erwachsenen, die geringen Differenzen können als zufallsbedingt angesehen werden. Auch die durch die 7 Prädiktoren insgesamt erklärte Varianz unterscheidet sich nicht nennenswert in den drei Modellen.

Tab. 6.1.3: Die Regressionsmodelle für den Quecksilbergehalt im Urin der 25- bis 69jährigen Erwachsenen aus den alten Ländern, den neuen Ländern und Deutschland im Vergleich

	Alte Länder (N=2349)	Neue Länder (N=1446)	Deutsch- land (N=3795)
Prädiktoren	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$
x <sub>1</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	14,9%	18,8%	16,2%
x <sub>2</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	13,6%	10,7%	13,0%
x <sub>3</sub> Lebensalter (in Jahren)	7,2%	4,4%	6,3%
x <sub>4</sub> Body Mass Index (in kg/m <sup>2</sup> )	1,9%	2,0%	2,0%
x <sub>5</sub> Schulabschluß (dreistufig)	2,1%	1,7%	1,9%
x <sub>6</sub> Geschlecht	0,8%	3,0%	1,4%
x <sub>7</sub> Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung	1,6%	2,5%	1,2%
Aufgeklärte Varianz R <sup>2</sup> · 100%	42,1%	43,2%	42,0%

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Der Vergleich der für beide Teilstichproben entwickelten Modelle kann in gewissem Sinne auch als Stabilitätsprüfung betrachtet werden. Die gute Übereinstimmung der Modelle ist nur infolge hoher Stabilität der Prädiktoren möglich.

#### 6.1.1.6 Prädiktoren mit kleinen Effekten

Bei der Entwicklung des Modells wurden weitere Prädiktoren gefunden, deren Varianzbeitrag zwischen 0,2 und 1% liegt und die nicht in allen Modellen für die untersuchten Kollektive mindestens auf dem 5%-Niveau signifikant waren.

Solche Prädiktoren mit kleinen Effekten wurden nicht in das Modell aufgenommen, weil die Zielsetzung der multivariaten Auswertungen die Bildung eines sparsamen, leicht zu handhabenden Modells mit möglichst starken und stabilen Effekten war. Diese Prädiktoren sollen hier dennoch genannt werden, da sie z.T. in der Literatur aufgeführte Hypothesen bestätigen und in künftigen Untersuchungen weiter Beachtung finden sollten.

Die im folgenden aufgeführten statistischen Kennwerte gelten für den Fall, daß nur einer der genannten schwachen Prädiktoren zum Modell hinzugefügt wird. Wenn man das Modell um alle im folgenden genannten Prädiktoren erweitern würde, ergäben sich andere Kennwerte. Die Varianzaufklärung des Modells würde sich aber nicht um die Summe der Varianzbeiträge aller hier aufgeführten Prädiktoren erhöhen, da die Prädiktoren z.T. sehr ähnliche Sachverhalte erfassen (z.B. Gewerbe-/Industriebetriebe - Gemeindegrößenklasse - ländliches/städtisches Wohngebiet), also nicht unkorreliert sind.

### **Konsumierte Alkoholmenge**

Der Varianzbeitrag dieses Prädiktors beträgt 0,2 % sowohl im Regressionsmodell für die Gesamtstichprobe als auch in den Modellen für die alten und die neuen Länder. Der Prädiktor ist signifikant im Modell für alle deutschen Erwachsenen und im Modell für die alten Länder ( $p < 0,05$ ), nur im Modell für die neuen Länder wird diese Signifikanzgrenze nicht erreicht.

In allen Modellen gilt: Probanden mit geringerer täglich konsumierter Alkoholmenge weisen höhere Quecksilbergehalte im Urin auf. Wie in Kapitel 3.3 beschrieben, gibt es Hinweise auf einen möglichen Zusammenhang zwischen Alkoholkonsum und korporaler Quecksilberbelastung.

### **Zahnarztbesuch im letzten Monat**

Dieser Einflußfaktor ist nur im Modell für die alten Länder ( $p < 0,01$ ) signifikant, verfehlt im Modell für alle Erwachsenen knapp die Signifikanzgrenze ( $p = 0,07$ ) und erklärt einen Varianzanteil von 0,3 bzw. 0,2 %. Probanden, die im letzten Monat beim Zahnarzt waren, weisen höhere Quecksilbergehalte im Urin auf. Dieser Prädiktor ist wirksam, auch wenn der Einfluß der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen und des Alters der letzten Amalgamfüllung im Modell bereits berücksichtigt wur-

den. Also muß es sich um eine zusätzliche Quecksilberexposition handeln, die nichts mit den zuvor genannten Einflußgrößen zu tun hat. Möglicherweise deutet dieser Prädiktor die Belastung durch Entfernen von Füllungen oder andere zahntechnische Maßnahmen (Polieren etc.) an.

### Selbst eingeschätzte Quecksilber-Exposition am Arbeitsplatz

Unter allen bei der Modellbildung berücksichtigten Merkmalen der beruflichen Quecksilber-Exposition (vgl. Kap. 3.6) gibt es nur eines, das hypothesengemäß einen erwähnenswerten Beitrag zum Regressionsmodell erbringt - und das auch nur mit einem kleinen Effekt und nur in den neuen Ländern.

Im Regressionsmodell für ostdeutsche Erwachsene ist die selbst eingeschätzte Quecksilber-Exposition am Arbeitsplatz ein signifikanter Prädiktor ( $p=0,05$ ) mit einem Varianzbeitrag von 0,4 %. Personen, die im Umweltfragebogen angeben, üblicherweise Quecksilber an ihrem Arbeitsplatz anzutreffen, haben höhere Quecksilbergehalte im Urin als Personen, die diese Frage verneinen oder nicht berufstätig sind.

Daß dieser Effekt nur in den neuen Ländern auftritt, könnte daraufhin deuten, daß die Quecksilberbelastung an den dortigen Arbeitsplätzen größer war als in den alten Ländern. Der Anteil der Probanden, die im Fragebogen angeben, zum Zeitpunkt der Erhebung quecksilberexponiert zu sein, ist jedenfalls in den alten und neuen Ländern gleich und beträgt jeweils etwa 3 %.

Das Fehlen deutlicher berufsbedingter Expositionsquellen im dargestellten Regressionsmodell könnte auf falsche Einschätzungen der Exposition am Arbeitsplatz durch die Probanden und einen zu geringen Anteil stark Exponierter in dieser Stichprobe aus der Allgemeinbevölkerung zurückzuführen sein. Für die zuletzt genannte Annahme spricht das Ergebnis der Beurteilung der Gefahrstoffexposition am Arbeitsplatz, die nur für Probanden aus den neuen Ländern von arbeitsmedizinischen Experten vorgenommen wurde (Bundesanstalt für Arbeitsmedizin 1994): danach waren nur 3 der 25-69jährigen Probanden als am Arbeitsplatz mit Quecksilber belastet einzuschätzen. Gemessen an den WaBoLu-Bewertungskategorien (vgl. Kap. 1, Krause et al. 1987) wiesen diese mit 11,5 µg/l, 6,3 µg/l und 2,3 µg/l z.T. kontrollbedürftige Gehalte der Kategorie II (5 - 20 µg/l) auf (Krause et al. 1996).

### Regionale Merkmale

Nur in den alten Ländern ergeben sich mehrere zweistufige regionale Variablen als signifikante Prädiktoren im Regressionsmodell; diese sind im folgenden mit Varianzbeitrag und Signifikanzniveau aufgelistet:

- Vorhandensein von Industrie- oder Gewerbebetrieben innerhalb eines Radius von 3 km um die Wohnung ( $p = 0,002$ ; Varianzbeitrag 0,4 %);
- Gemeinde mit mindestens 20000 Einwohnern ( $p=0,001$ ; Varianzbeitrag 0,4 %);
- Gemeinde mit mindestens 100000 Einwohnern ( $p<0,01$ ; Varianzbeitrag 0,3 %);
- vorstädtisches oder städtisches Wohngebiet ( $p<0,05$ ; Varianzbeitrag 0,2 %);
- städtisches Wohngebiet ( $p<0,05$ ; Varianzbeitrag 0,3 %).

Hypothesengemäß (Kap. 3.4) haben Probanden höhere Quecksilbergehalte im Urin, die in der Nähe von Industrie- oder Gewerbebetrieben, in einer größeren Gemeinde oder einem städtischen Wohngebiet leben. Niedrigere Quecksilberwerte im Urin finden sich demnach bei solchen Personen, die in kleineren Gemeinden oder ländlichen Wohngebieten oder weit entfernt von Industrie- und Gewerbebetrieben leben.

Der geringe Effekt regionaler Faktoren läßt sich dadurch erklären, daß im Umweltfragebogen nur recht unspezifisch industrielle Emissionen und Siedlungsdichte erhoben wurden. Hätten gezielt Quecksilberemittenten in der Wohnumgebung erfragt oder Quecksilbergehalte gemessen werden können, hätte sich wahrscheinlich ein stärkerer Effekt ergeben - vorausgesetzt, genügend Probanden wären einer entsprechenden Exposition ausgesetzt.

### 6.1.2 Regressionsanalysen, Kinder

Auch für die volumenbezogenen Quecksilbergehalte im Urin der Kinder kann hier ein Modell für alle 6- bis 14jährigen Kinder präsentiert werden, da sich die Prädiktoren in den alten und neuen Ländern nur unwesentlich unterscheiden. Das Modell ist in den Tabellen 6.1.4 und 6.1.5 dargestellt. Im Anhang sind die statistischen Kennwerte (Tab. 10.3.1) und die Interkorrelationen (Tab. 10.3.2) aller Variablen des Modells tabelliert sowie zusätzliche Kennwerte des Regressionsmodells angegeben, die eher für den statistisch versierten Leser interessant sind (Tab. 10.3.3). Alle potentiellen Einflußgrößen, die als Prädiktoren zwar versuchsweise ins Regressionsmodell einbezogen, dann aber z.T. doch eliminiert wurden, sind im Anhang 10.5 aufgeführt.

#### 6.1.2.1 Varianzkomponenten des Regressionsmodells

Mit den 4 Prädiktoren des Regressionsmodells lassen sich 46 % der Varianz der Quecksilbergehalte im Urin aufklären (Abb. 6.1.1 und Tab. 6.1.4), das sind 4 % mehr als beim Modell für die Erwachsenen.

Tab. 6.1.4: Die Varianzkomponenten des Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder (N=716)

Prädiktoren	Varianz-	stand. Re-	Korrelation
	komponente		
	$\beta \cdot r \cdot 100\%$	koeffizient	ln(HgU)
		$\beta$	r
x <sub>1</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	36,2%	0,57	0,63
x <sub>2</sub> Alte Länder / Neue Länder	6,0%	0,17	0,35
x <sub>3</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	2,6%	0,13	0,20
x <sub>4</sub> Städtisches Wohngebiet	1,1%	0,06	0,18
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100\%$	46,0%		
Adjustiertes $R^2 \cdot 100\%$	45,7%		
Multiples R	0,68		

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen hat bei den Kindern einen noch erheblich stärkeren Einfluß auf die Quecksilbergehalte als bei den Erwachsenen. Mit einem Varianzbeitrag von 36,2 % dominiert dieser Prädiktor das Modell. Weiterhin ist Creatinin ein zwar signifikanter Prädiktor, erklärt aber mit 2,6 % einen wesentlich geringeren Varianzanteil als bei den Erwachsenen.

Das Modell der Kinder umfaßt darüber hinaus noch zwei Prädiktoren, die im Erwachsenenmodell nicht vorkommen: alte/neue Länder (6 % erklärte Varianz) und städtisches Wohngebiet (1,1 % erklärte Varianz). Einflußfaktoren der Wohnumgebung oder Region haben demnach nur für den Quecksilbergehalt bei Kindern eine deutliche Bedeutung.

Eine Kreuzvalidierung ergab eine gute Stabilität des Modells, nur das städtische Wohngebiet ließ sich als Prädiktor nicht immer absichern (zur Vorgehensweise und zu den Resultaten vgl. Anhang 10.3, Tab. 10.3.4).

Im Regressionsmodell für die Kinder kommen die Prädiktoren Lebensalter, Geschlecht, Body Mass Index und Alter der letzten Amalgamfüllung, die im Modell der Erwachsenen enthalten sind, nicht vor. Außerdem entfällt der Prädiktor Schulabschluß bei den untersuchten Altersjahrgängen.

In der Literatur finden sich wenig Hinweise auf Studien mit einer ähnlichen Auswertungsstrategie wie in dieser Studie. Zu erwähnen ist die großangelegte japanische Studie von Suzuki et al. (1993). Die Autoren untersuchten ca. 1600 Kinder (Morgenerin, Angaben in  $\mu\text{g/l}$  und  $\mu\text{g/g}$  Creatinin). In ihrem multivariaten Modell mit einer Varianzaufklärung von 17 % war - anders als in der vorliegenden Studie - die Creatininkonzentration der deutlichste Prädiktor, gefolgt vom Lebensalter und der Zahl der Amalgamfüllungen. Geschlecht und Fischverzehr waren schwache Prädiktoren. Die Berücksichtigung der Amalgamoberflächen führte zu keiner höheren Varianzaufklärung.

#### 6.1.2.2 Modellgleichung

Die Parameter der Regressionsgleichung sind in Tabelle 6.1.5 angegeben. Ihre inhaltliche Bedeutung wird weiter unten bei der Beschreibung der einzelnen Prädiktoren erläutert.

Tab. 6.1.5: Die Parameter der Modellgleichung für den Quecksilbergehalt im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder

Prädiktor	Multiplikativer Parameter	Relative Veränderung des Hg-U-Meßwertes bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit (mittlerer Zuwachs an Hg-U mit 95%-Konfidenzintervall)
x <sub>1</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	1,343	34,3% (30,5% bis 38,2%)
x <sub>2</sub> Alte Länder (= 0) / Neue Länder (= 1)	1,558	55,8% (34,3% bis 80,7%)
x <sub>3</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	1,295	29,5% (16,2% bis 44,2%)
x <sub>4</sub> Städtisches Wohngebiet (ländlich oder vorstädtisch = 0; städtisch = 1)	1,190	19,0% (1,6% bis 39,3%)
Konstante	0,169	

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Will man auf Grundlage des Modells den Quecksilbergehalt im Urin eines Kindes (y) (Maßeinheit µg/l) vorhersagen oder schätzen, so ist die Regressionsgleichung zu benutzen:

$$y = 0,169 \cdot 1,343^{x_1} \cdot 1,558^{x_2} \cdot 1,295^{x_3} \cdot 1,190^{x_4}$$

Für den Praktiker wird die Berechnung derart geschätzter Werte an zwei bezüglich der Prädiktoren extremen - aber trotzdem realistischen - Beispielen demonstriert. Die Beispiele verdeutlichen auch die Wirkungsweise der Einflußfaktoren.

#### Beispiele für nach dem Regressionsmodell geschätzte Quecksilbergehalte im Urin von Kindern:

**Kind A:** hat keine Amalgamfüllung (x<sub>1</sub>=0),  
lebt in den alten Bundesländern (x<sub>2</sub>=0),  
hat einen Gehalt von 1,4 g Creatinin / l Urin (x<sub>3</sub>=1,4 g/l; geometrisches Mittel),  
lebt in einem ländlichen oder vorstädtischen Wohngebiet (x<sub>4</sub>=0).

Geschätzter HgU-Wert (y) [Maßeinheit µg/l]:

$$y = 0,169 \cdot 1,343^0 \cdot 1,558^0 \cdot 1,295^{1,4} \cdot 1,190^0$$

$$y = 0,169 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,436 \cdot 1$$

$$y = 0,243$$

**Kind B:** hat 6 Zähne mit Amalgamfüllungen (x<sub>1</sub>=6),  
lebt in den neuen Bundesländern (x<sub>2</sub>=1),  
weist einen Gehalt von 1,4 g Creatinin / l Urin auf (x<sub>3</sub>=1,4 g/l; geometrisches Mittel),  
lebt in einem städtischen Wohngebiet (x<sub>4</sub>=1).

Geschätzter HgU-Wert (y) [Maßeinheit µg/l]:

$$y = 0,169 \cdot 1,343^6 \cdot 1,558^1 \cdot 1,295^{1,4} \cdot 1,190^1$$

$$y = 0,169 \cdot 5,868 \cdot 1,558 \cdot 1,436 \cdot 1,190$$

$$y = 2,640$$

### 6.1.2.3 Prädiktoren mit bedeutsamen Effekten

#### Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen

Ein Zahn mit Amalgamfüllung(en) erhöht den Quecksilbergehalt im Urin von Kindern im Mittel um 34,3 %. Das Konfidenzintervall gibt an, daß die Zunahme mit 95%iger Wahrscheinlichkeit zwischen 30,5% und 38,2% beträgt. Das schmale Konfidenzintervall gibt die recht hohe Genauigkeit des geschätzten Zuwachses wieder. Durch 5 amalgamgefüllte Zähne ist schon mit einer Vervielfachung bis Verfünffachung des Quecksilbergehaltes zu rechnen. Die prozentuale Zunahme der Quecksilberbelastung pro amalgamgefülltem Zahn ist bei Kindern wesentlich stärker als bei Erwachsenen, wie Abbildung 6.1.3 (Kap. 6.1.1.4) zeigt.

Der sehr starke **prozentuale** Anstieg der Quecksilberwerte weckt Befürchtungen, daß bei Kindern bedenkliche Quecksilberbelastungen mit nur wenigen Zahnfüllungen erreicht werden könnten. Es ist aber zu beachten, daß wegen der recht niedrigen Grundbelastung der Kinder die **absoluten** Quecksilbergehalte trotz weniger Füllungen immer noch im unauffälligen Bereich bleiben. Dies soll an den beiden Beispielen verdeutlicht werden, mit denen weiter oben die Anwendung der Regressionsgleichung demonstriert wurde.

Für Kind A wurde ein Quecksilbergehalt von 0,24 µg/l errechnet. Wenn eine Amalgamfüllung hinzukommt, erhöht sich der absolute Quecksilberwert auf 0,33 µg/l, bei einem zweiten Zahn mit Amalgamfüllungen auf 0,44 µg/l. Abbildung 6.1.6 veranschaulicht die Veränderung der absoluten Quecksilbergehalte.

Auch bei Kind B mit 6 Zähnen mit Amalgamfüllungen, das darüber hinaus noch in einer ungünstigen Wohnumgebung lebt, liegt der nach dem Modell errechnete absolute Quecksilbergehalt von 2,64 µg/l noch unter dem diskutierten Orientierungswert von 5 µg/l (in Kategorie I). Wenn man bei diesem Kind aber sicherheitshalber als Zunahmen die oberen Grenzen der Konfidenzintervalle für die Regressionskoeffizienten annimmt, erreicht man einen vorhergesagten Wert von 8 µg/l. Dieser befindet sich schon im kontrollbedürftigen Bereich (oberhalb des Orientierungswertes in Kategorie II; Krause et al. 1987).



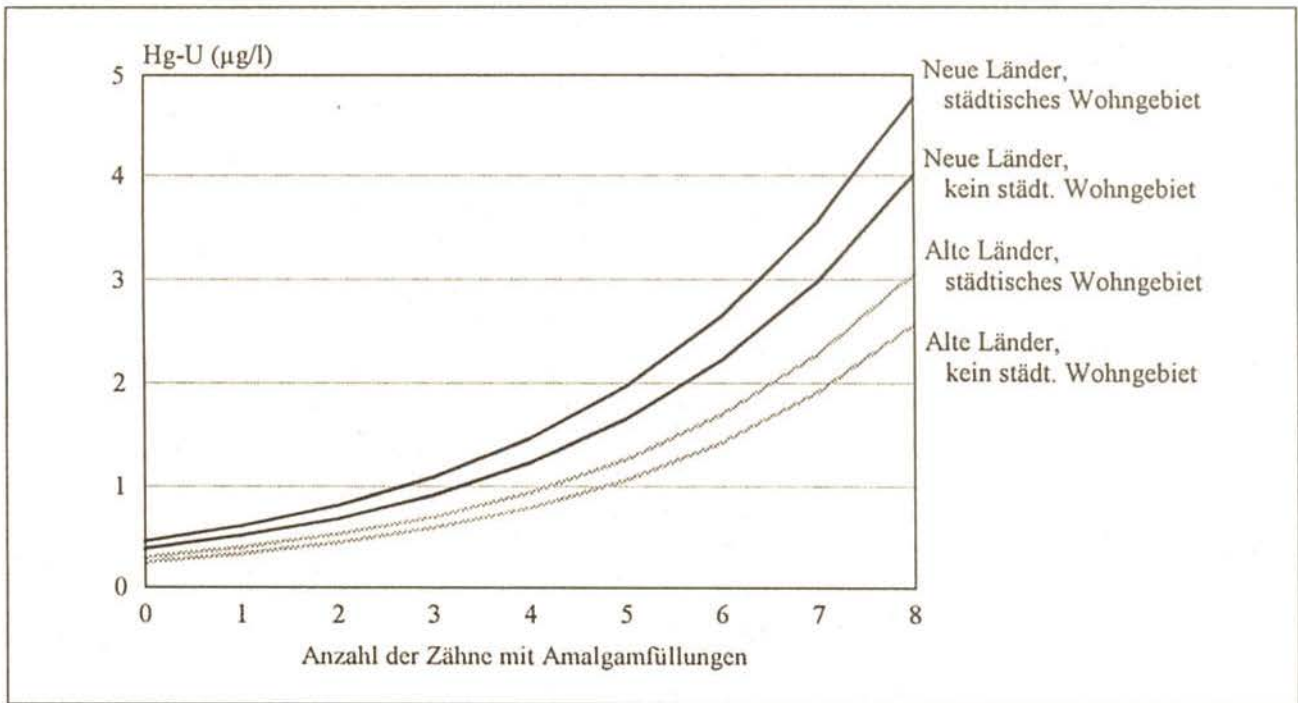


Abb. 6.1.6: Regressionsfunktion des Quecksilbergehaltes im Urin der Kinder nach Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen, alte/neue Länder und Wohngebiet

Anmerkung: Die Regressionsfunktion ist gültig für ein Kind mit 1,4 g Creatinin pro Liter Urin.

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Daß in dieser Studie für die Kinder ein höherer prozentualer Anstieg pro Zahn mit Amalgamfüllung als bei den Erwachsenen resultiert, könnte insofern plausibel sein, als wegen des geringeren Körpergewichts jede Schadstoffexposition für Kinder eine höhere Dosis ist als für Erwachsene. Außerdem ist die Resorptionsrate von Schwermetallen bei Kindern im allgemeinen größer; sie haben eine höhere Atemfrequenz und einen höheren Stoffwechsel. Möglicherweise ist auch die Häufigkeit des Kaugummikauens oder Kauens generell von nicht zu unterschätzender Bedeutung, da es zur Freisetzung von Quecksilber aus den Amalgamen führt (Skare et al. 1990, Björkman und Lind 1992). Zudem ist davon auszugehen, daß bei den Kindern die Zahnfüllungen relativ zu denen der Erwachsenen jünger sind. In der Literatur werden auch bei Kindern signifikante Korrelationen zwischen dem Amalgamstatus der Zähne und dem Quecksilbergehalt im Urin beschrieben (Olstadt et al. 1987, Suzuki et al. 1993).

Das **Alter der letzten Amalgamfüllung** korreliert zwar bei den Kindern bivariat höher als bei den Erwachsenen mit dem Quecksilbergehalt im Urin, dennoch ist es kein bedeutsamer Prädiktor. Dieses Resultat könnte sich damit begründen lassen, daß die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen - die bereits vom Modell kontrolliert ist - bei Kindern erheblich höher mit dem Alter der letzten Füllung korreliert als bei Erwachsenen, so daß der letztgenannte Prädiktor bei Kindern redundant ist.

### **Creatiningehalt des Urins**

Abbildung 6.1.2 (Kap. 6.1.1.4) veranschaulicht die Wirkung dieses Prädiktors nicht nur bei den Kindern, sondern im Vergleich dazu auch bei den Erwachsenen. Bei den Kindern ist der Effekt des Creatinins wesentlich geringer als bei den Erwachsenen (2,6 % Varianzaufklärung im Vergleich zu 16,2 %). Dementsprechend ist die prozentuale Zunahme des Quecksilbergehaltes mit steigendem Creatiningehalt des Urins bei Kindern geringer (29,5 % je Gramm pro Liter). Die Schätzung des Zuwachses ist bei Kindern mit größerer Unsicherheit behaftet, wie das breitere Konfidenzintervall zeigt (16,2 % bis 44,2 %).

In der Literatur findet sich eine Studie mit einem etwas anderen Ergebnis. Suzuki et al. (1993) untersuchten ca. 1600 japanische 3- bis 18jährige Kinder und Jugendliche. Bei multivariater Auswertung mit einer Varianzaufklärung von 17 % war neben der Anzahl der Amalgamfüllungen, dem Geschlecht und dem Lebensalter der Creatiningehalt der wesentlichste Prädiktor. Die Autoren konnten außerdem zeigen, daß die Creatininausscheidung stark vom Alter abhängig ist und daß Jungen mehr Creatinin ausscheiden als Mädchen. Vermutlich ist das Vorhandensein der Korrelation zwischen Creatinin und Alter, nicht aber Geschlecht in der vorliegenden Studie (vgl. Tab. 10.3.2) auf die verschiedenen untersuchten Altersjahrgänge zurückzuführen (Suzuki: 3 bis 18 Jahre; Umwelt-Survey: 6 bis 14 Jahre).

### Alte Länder / Neue Länder

Kinder aus den neuen Ländern haben im Mittel 55,8 % höhere Quecksilbergehalte im Urin als Kinder aus den alten Bundesländern. Das breite Konfidenzintervall von 34,3 % bis 80,7 % weist darauf hin, daß der Effekt der alten/neuen Länder nicht mit derselben Genauigkeit geschätzt werden kann wie z.B. der Effekt der Amalgamfüllungen.

Hier ist anzumerken, daß der Effekt der alten/neuen Länder nicht dadurch zustande gekommen sein kann, daß ostdeutsche Kinder mehr amalgamgefüllte Zähne haben als westdeutsche Kinder, denn der Einfluß des Prädiktors Amalgamfüllungen ist im Modell berücksichtigt.

In dem Gebiet der ehemaligen DDR dürfte von einer höheren ubiquitären Verbreitung von Quecksilber auszugehen sein. Zum Beispiel wurde industriell häufig das Quecksilber-Amalgam-Verfahren eingesetzt, welches mit hohen Quecksilberemissionen einhergeht. Auch waren organische Quecksilberverbindungen als Saatgutbeizmittel zugelassen (Paulus et al. 1992, Hahn et al. 1992). Daß sich der Effekt bei den Quecksilbergehalten im Urin zeigt, dürfte eher für eine Belastung mit anorganischem Quecksilber sprechen. Daß er gerade bei den Kindern deutlich wird, dürfte auf die für Kinder typischen Verhaltensweisen (z.B. häufiger Aufenthalt außerhalb der Wohnung, häufiger Bodenkontakt) und die spezielle Physiologie der Kinder (höherer Stoffwechsel, höhere Resorptionsraten etc.) zurückzuführen sein.

Es sei an dieser Stelle außerdem auf die Ausführungen zur Qualitätskontrolle (Kap. 4.3) verwiesen. Dort wird ausgeführt, daß bei einem Vergleich der Quecksilbergehalte in den alten und den neuen Bundesländern umwelt- und analytisch bedingte Unterschiede gekoppelt auftreten können, die im einzelnen nicht exakt zu trennen und zu quantifizieren sind.

### Städtisches Wohngebiet

Kinder, die in einem städtischen Wohngebiet leben, haben im Mittel um 19 % höhere Quecksilberwerte als Kinder, die in einem vorstädtischen Wohngebiet oder auf dem Land leben. Das Wohnen in der Stadt bewirkt mit 95%iger Wahrscheinlichkeit eine Zunahme der Quecksilbergehalte zwischen 1,6 und 39,3 %. Dieser Prädiktor ist nur auf dem 5%-Niveau signifikant, hat - wie oben schon erwähnt wurde - den kleinsten Effekt, und die Genauigkeit der Schätzungen ist nicht sehr hoch (breites Konfidenzintervall).

Abbildung 6.1.6 veranschaulicht die Veränderung der absoluten Quecksilbergehalte im Urin in Abhängigkeit von den drei wichtigsten Prädiktoren.

Von der EPA (1984) wurde für die städtische Bevölkerung eine 10fach höhere inhalative Aufnahme von Quecksilber geschätzt. Daß der Effekt bei Kindern deutlicher als bei Erwachsenen auftritt, könnte mit der höheren Resorptionsrate, der höheren Dosis bezogen auf das Körpergewicht bei Kindern und der höheren Atemfrequenz bei Kindern erklärt werden.

Auch bei den Erwachsenen läßt sich eine Tendenz zu höheren Quecksilbergehalten im Urin von Bewohnern städtischer Lebensräume feststellen: Die Prädiktoren Gewerbe- oder Industriebetriebe in 3 km Umkreis der Wohnung, die Gemeindegrößenklasse und das Wohngebiet würden bei jeweils getrennter Berücksichtigung im Regressionsmodell Beiträge zur Varianzaufklärung von 0,2 - 0,4 % liefern, allerdings nur in den alten Bundesländern.

#### 6.1.2.4 Vergleich der Regressionsmodelle für die alten und die neuen Länder

Zusätzlich zu einem Regressionsmodell für alle Kinder wurden auch Modelle für ostdeutsche Kinder und für westdeutsche Kinder generiert. Die Varianzkomponenten dieser Modelle sind in Tabelle 6.1.6 angegeben.

Mit dem Modell für westdeutsche Kinder werden 34,2 % der Varianz aufgeklärt, mit dem Modell für die ostdeutschen Kinder sogar 46,2%. Allerdings sind die Prädiktoren in beiden Modellen die glei-

chen. Da mit dem Modell für die neuen Länder insgesamt mehr Varianz aufgeklärt wird, ist auch der Varianzbeitrag jedes einzelnen Prädiktors etwas größer.

Tab. 6.1.6: Die Regressionsmodelle für den Quecksilbergehalt im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder aus den alten Ländern, den neuen Ländern und Deutschland im Vergleich

	Alte Länder (N=448)	Neue Länder (N=268)	Deutsch- land (N=716)
Prädiktoren	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$
x <sub>1</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	32,7%	40,0%	36,2%
x <sub>2</sub> Alte Länder / Neue Länder	-----	-----	6,0%
x <sub>3</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	1,2%	5,2%	2,6%
x <sub>4</sub> Städtisches Wohngebiet	0,2%	1,0%	1,1%
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100\%$	34,2%	46,2%	46,0%

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Problematisch ist der Prädiktor mit dem kleinsten Effekt, das städtische Wohngebiet. Diese Einflußgröße ist nur für das Gesamtmodell signifikant und bei ostdeutschen Kindern bedeutsamer als bei westdeutschen Kindern. Möglicherweise spiegeln sich hier Unterschiede in der Siedlungsstruktur zwischen alten und neuen Ländern wider.

#### 6.1.2.5 Prädiktor mit kleinem Effekt

Die Anzahl der Fischmahlzeiten pro Monat ist eine Einflußgröße, die wegen ihres kleinen Effekts nicht in die zuvor dargestellten Regressionsmodelle für Kinder einbezogen wurde. Wenn man den Fischkonsum im Gesamtmodell für alle Kinder als zusätzlichen Prädiktor verwendet, ist er zwar signifikant ( $p < 0,05$ ), liefert aber nur einen Varianzbeitrag von 0,2 %. Hier zeigen sich Ost-West-Unterschiede. Als zusätzlicher Prädiktor ist der Fischverzehr im Modell der ostdeutschen Kinder ohne Bedeutung, im Modell der westdeutschen Kinder dagegen mit einem Varianzbeitrag von 0,6 % signifikant ( $p < 0,05$ ).

Die Richtung des Effekts entspricht der Hypothese, daß häufiger Fischkonsum die korporale Quecksilberbelastung erhöht (vgl. Kap. 3.3). Auch Suzuki et al. (1993) (Morgenurin,  $\mu\text{g/l}$  und pro g Creatinin) fanden bei ihrer Untersuchung von ca. 1600 japanischen Kindern und Jugendlichen in ihrem multivariaten Modell eine schwache Wirkung der Häufigkeit des Fischverzehr.

### 6.1.3 Ergänzende Auswertungen mit zusätzlichen Prädiktoren

#### Zusatzauswertung: Quecksilbergehalt im Blut als Prädiktor

Der Quecksilbergehalt im Urin korreliert zwar signifikant, aber erwartungsgemäß eher schwach mit dem Quecksilbergehalt im Blut: der bivariate Korrelationskoeffizient beträgt 0,25 für Erwachsene und 0,41 für Kinder.

Daher wurde ergänzend geprüft, ob auch der Quecksilbergehalt im Blut einen bedeutsamen Faktor für den Quecksilbergehalt im Urin darstellt. Der (logarithmierte) Quecksilbergehalt im Blut wurde als Prädiktor zusätzlich zu den bereits ermittelten Prädiktoren (Tab. 6.1.1 und 6.1.3) in das Regressionsmodell für den Quecksilbergehalt im Urin (Kriterium) einbezogen.

Quecksilber im Blut ist sowohl im Modell für die Erwachsenen als auch im Modell für die Kinder ein hochsignifikanter Prädiktor ( $p < 0,001$ ). Bei höheren Quecksilbergehalten im Blut treten auch höhere Quecksilbergehalte im Urin auf.

Die Varianzaufklärung des Modells für Erwachsene erhöht sich um 4 % auf 46 %; der Varianzbeitrag des Quecksilbers im Blut beträgt 5,2 %; die Effekte der übrigen Prädiktoren verändern sich nicht.

Die mit dem Regressionsmodell für Kinder erreichte Varianzaufklärung erhöht sich von 46 % auf 49,6 %. Der Varianzbeitrag des Quecksilbers im Blut beträgt 9,2 %. Die Bedeutung des Einflußfaktors alte/neue Länder verringert sich leicht auf 3,1 %, die Bedeutung der übrigen Prädiktoren ändert sich nicht nennenswert.

Trotz seiner Bedeutung als Prädiktor wurde der Quecksilbergehalt im Blut vor allem deshalb nicht in das endgültige Regressionsmodell für den Quecksilbergehalt im Urin aufgenommen, weil es nicht sehr zweckmäßig erscheint, einen internen Belastungsparameter durch einen anderen zu erklären. Außerdem sind die körpereigenen Mechanismen, die hier wirken, schwer zu erklären. Darüber hinaus kann der Quecksilbergehalt im Blut nicht mit dem Ziel einer Verringerung des Gehaltes im Urin beeinflusst werden. Des weiteren stehen dem Umweltmediziner vor allem bei Kindern nicht immer Blutproben zur Verfügung.

### **Zusatzauswertung: Urinmenge und Retentionszeit als Prädiktoren**

Wie bereits ausgeführt wurde, kann die variierende Konzentration des Urins die Quecksilbermeßwerte als Störgröße mitbestimmen, z.B. werden in einem stark verdünnten Urin geringere Quecksilbergehalte gemessen.

Als Maß für die Konzentration des Urins könnte man als Näherung - neben dem Creatinin - die Urinmenge und die Retentionszeit verwenden. Diese Merkmale sollen daher als zusätzliche Prädiktoren in das Regressionsmodell für die neuen Länder einbezogen werden, um zu untersuchen, ob sich dadurch die Bedeutung des Creatinins verringert.

Während von westdeutschen Probanden nur Morgenurinproben (max. 80 ml) vorliegen, wurde bei den ostdeutschen Probanden die gesamte Morgenurinmenge gefordert. Außerdem wurde die Zeit vom letzten Gang zur Toilette vor der Probenahme (also meistens vor dem Schlafengehen) bis zur Probenahme registriert. Diese Zeit wird im folgenden 'Retentionszeit' genannt.

Das Regressionsmodell für ostdeutsche Erwachsene und Kinder wurde um diese beiden Prädiktoren erweitert. Die 'Retentionszeit' hatte keine Bedeutung. Die Gesamtmenge des Morgenurins erwies sich dagegen als signifikanter Prädiktor ( $p < 0,001$ ), ihr Varianzbeitrag beträgt 3,0 % zum Modell für Erwachsene und 2,6 % zum Modell für Kinder. Je geringer das Urin-Volumen ist, desto höher sind die Quecksilbergehalte ( $r = -0,36$  bei Erwachsenen und  $r = -0,20$  bei Kindern). Die insgesamt aufgeklärte Varianz vergrößert sich so von 43 auf 44 % bei ostdeutschen Erwachsenen und von 46 auf 48 % bei ostdeutschen Kindern. Die Bedeutung der übrigen Prädiktoren ändert sich nur unwesentlich.

Das Ergebnis dieser Zusatzauswertung zeigt, daß das Creatinin als Maß der Konzentration des Urins eigentlich weder durch Retentionszeit noch durch Urinmenge ersetzt werden kann. Es wird aber auch deutlich, daß die Quecksilbergehalte des Urins zusätzlich auch etwas von der Gesamtmenge des Morgenurins bestimmt werden.

Die Urin-Gesamtmenge kann nicht in das diskutierte Regressionsmodell aufgenommen werden, da nur für das ostdeutsche Teilkollektiv Werte vorliegen und die multivariaten Auswertungen auf ein Modell für alle deutschen Probanden zielten.

#### 6.1.4 Regressionsmodelle für den creatininbezogenen Quecksilbergehalt im Urin

Wie zuvor bereits erwähnt wurde, bestimmt auch die variierende Konzentration des Urins als Störgröße die gemessenen Quecksilbergehalte. Um den Effekt unterschiedlicher Konzentrationen bzw. Verdünnungen zu kompensieren, wird oft der Quecksilbergehalt am Creatiningehalt des Urins normiert, so daß die Angabe nicht in  $\mu\text{g Hg pro Liter Urin}$  sondern in  $\mu\text{g Hg pro Gramm Creatinin}$  erfolgt. Ob eine solche Transformation diesen Zweck in geeigneter Weise erfüllt, ist umstritten. Da aber in vielen Studien mit creatininbezogenen Quecksilberwerten gerechnet wird, soll auch hier über ein Regressionsmodell für dieses Kriterium berichtet werden.



Die logarithmierten volumen- und creatininbezogenen Quecksilberwerte sind hoch korreliert ( $r = 0,90$  bei den Erwachsenen und  $r = 0,94$  bei den Kindern des Surveys). Es ist daher zu erwarten, daß weitgehend die gleichen Prädiktoren wirksam sind.

Da sich die Struktur der Einflußfaktoren für Probanden aus den alten und den neuen Ländern - wie zuvor gezeigt wurde - offensichtlich nicht nennenswert unterscheidet, wird für alle Probanden hypothesengeleitet das optimale Regressionsmodell entwickelt. Alle in Kapitel 3 aufgeführten potentiellen Einflußgrößen werden als Prädiktoren zugelassen - nur das Creatinin im Urin entfällt.

Das resultierende Modell für den creatininbezogenen Quecksilbergehalt im Urin umfaßt - mit Ausnahme des Creatinins - die gleichen Prädiktoren wie das Modell für volumenbezogene Kriteriums- werte (Tab. 6.1.7 und Tab. 6.1.8).

Bei Erwachsenen können 26,8 % der Varianz der creatininbezogenen Quecksilberwerte vom Modell erklärt werden. Die aufgeklärte Varianz ist um 13,2 % geringer als beim Modell für volumenbezogene Werte. Der Varianzbeitrag, der auf das Creatinin als Prädiktor im volumenbezogenen Modell zurückgeht, beträgt im Vergleich dazu 16,2 %.

Tab. 6.1.7: Die Regressionsmodelle für den creatininbezogenen und den volumenbezogenen Quecksilbergehalt im Urin der 25- bis 69jährigen Erwachsenen im Vergleich (N=3795)

	Creatinin- bezogenes Hg-U	Volumen- bezogenes Hg-U
Prädiktoren	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$
x <sub>1</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	-----	16,2%
x <sub>2</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	13,5%	13,0%
x <sub>3</sub> Lebensalter (in Jahren)	4,5%	6,3%
x <sub>4</sub> Body Mass Index (in kg/m <sup>2</sup> )	2,1%	2,0%
x <sub>5</sub> Schulabschluß (dreistufig)	1,6%	1,9%
x <sub>6</sub> Geschlecht	3,8%	1,4%
x <sub>7</sub> Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung	1,2%	1,2%
Aufgeklärte Varianz R <sup>2</sup> • 100%	26,8%	42,0%

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Die Effekte der vergleichbaren Prädiktoren sind beim Modell für creatininbezogene und für volumenbezogene Quecksilberwerte äquivalent. Allerdings ist der Effekt des Geschlechts etwas stärker (Varianzbeitrag 3,8 % und 1,4 %). Dieser Befund läßt sich durch die Geschlechtsabhängigkeit der Creatininausscheidung erklären: Da die Creatininwerte der Männer höher sind als die der Frauen, vergrößert sich durch die Normierung am Creatinin der Geschlechtsunterschied.

Bei den Kindern erklärt das Regressionsmodell 40,9 % der Varianz der creatininbezogenen Quecksilberwerte, das sind 5,1 % weniger als bei volumenbezogenen Kriteriumswerten. Das Modell umfaßt die gleichen Prädiktoren (außer Creatinin), ihre Varianzbeiträge sind äquivalent.

Abschließend läßt sich feststellen, daß bei Verwendung des am Creatiningehalt normierten Quecksilbergehaltes im Urin als Kriteriumsvariable kein Regressionsmodell mit besserer Varianzaufklärung erreicht werden kann.

Tab. 6.1.8: Die Regressionsmodelle für den creatininbezogenen und den volumenbezogenen Quecksilbergehalt im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder im Vergleich (N=716)

	Creatinin- bezogenes Hg-U	Volumen- bezogenes Hg-U
Prädiktoren	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$
x <sub>1</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	34,3%	36,2%
x <sub>2</sub> Alte Länder / Neue Länder	5,6%	6,0%
x <sub>3</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	-----	2,6%
x <sub>4</sub> Städtisches Wohngebiet	1,0%	1,1%
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100\%$	40,9%	46,0%

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

### 6.1.5 Vergleich der Modelle für den 1. und 2. Umwelt-Survey (West) - Modelle ohne Amalgam

Im 1. Umwelt-Survey 1985/86 wurden die westdeutschen Erwachsenen nicht nach Zahnfüllungen aus Amalgam gefragt. Die nach dem gegenwärtigen Kenntnisstand wichtigste Expositionsquelle für Quecksilber im Urin wurde vor 10 Jahren noch nicht erfaßt. Deshalb kann aus inhaltlichen Gründen kein überzeugendes Regressionsmodell mit den Daten des 1. Umwelt-Surveys konstruiert werden, und auch eine Analyse der Veränderungen der Bedeutung und Wirkungsweise der Einflußfaktoren von 1985/86 bis 1990/91 erscheint wenig nutzbringend.

Dennoch soll hier kurz aufgezeigt werden, welche Modellgüte ohne Kenntnis der Quecksilber-Exposition durch Amalgamfüllungen mit den Daten des 1. und des 2. Surveys erreicht werden kann (Tab. 6.1.9).

Das Regressionsmodell für den 2. Umwelt-Survey-West klärt ohne Berücksichtigung des Amalgambeitrages 33 % der Gesamtvarianz auf - im Gegensatz zu 42 % mit amalgambezogenen Prädiktoren. Das Lebensalter liefert allerdings mit 12,3 % einen höheren Varianzbeitrag, wenn Amalgamangaben fehlen, als mit 7,2 %, wenn amalgambezogene Prädiktoren berücksichtigt werden. Dies läßt sich leicht erklären: Da Lebensalter und Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen korreliert sind (Kap. 6.1.1.4), ist im Prädiktor Lebensalter außer dem echten Alterseffekt auch ein Teil des Effekts der Amalgamfüllungen enthalten. Die übrigen Prädiktoren haben die gleiche Bedeutung wie beim zuvor präsentierten Modell.

Für die Daten des 1. Surveys (N=2349) ergibt sich ein Regressionsmodell mit 28 % aufgeklärter Varianz und den gleichen Prädiktoren wie beim 2. Survey. Dieses Ergebnis belegt die Stabilität der Prädiktoren.

Tab. 6.1.9: Vergleich der Surveys 85/86 und 90/91 - Regressionsmodelle für den Quecksilbergehalt im Urin ohne Prädiktoren zum Amalgamstatus (25- bis 69jährige Erwachsene aus den alten Ländern)

	Survey 85/86 (N=2349)	Survey 90/91 (N=2469)
Prädiktoren	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$
x <sub>1</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	12,2%	15,2%
x <sub>2</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	-----	-----
x <sub>3</sub> Lebensalter (in Jahren)	8,6%	12,3%
x <sub>4</sub> Body Mass Index (in kg/m <sup>2</sup> )	3,4%	2,3%
x <sub>5</sub> Schulabschluß (dreistufig)	2,5%	2,5%
x <sub>6</sub> Geschlecht	1,6%	0,7%
x <sub>7</sub> Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung	-----	-----
Aufgeklärte Varianz R <sup>2</sup> · 100%	28,2%	33,0%

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Surveys 1985/86 und 1990/91, Bundesrepublik Deutschland

## 6.2 Quecksilber im Blut

Bei der statistischen Analyse des Quecksilbergehaltes im Blut als Kriterium wurde der gleiche Variablensatz wie bei der Analyse des entsprechenden Gehaltes im Urin verwendet (vgl. Anhang 10.5). Wie in Kapitel 5.3 beschrieben, wurden multiple Regressionsmodelle für den Logarithmus des Quecksilbergehaltes im Blut formuliert.

Die aufgeklärte Varianz  $R^2$  der Modelle, die für die alten und neuen Bundesländer (jeweils Erwachsene bzw. Kinder) resultierten, liegt durchgängig unter 10 %. Das bedeutet, daß weniger als 10 % der Varianz des Quecksilbergehaltes im Blut durch die in die Analyse einbezogenen Variablen erklärt werden kann. Deshalb wird auf die Angabe eines Vorhersagemodells für den Quecksilbergehalt im Blut der Allgemeinbevölkerung verzichtet. Dennoch werden im folgenden die wesentlichen Ergebnisse der Auswertungen dargestellt.

Die Bildung eines gemeinsamen Modells für die **alten und neuen Bundesländer** erwies sich weder für die Erwachsenen noch für die Kinder als sinnvoll, da sich - wie im folgenden ausgeführt wird - die Zahl und Art der in die Modelle aufgenommenen Prädiktoren unterscheidet.

Die Matrix der Interkorrelationen der Variablen aus allen Regressionsmodellen für den Quecksilbergehalt im Blut ist im Anhang aufgeführt (Tab. 10.4.1 für Erwachsene, Tab. 10.4.2 für Kinder).

### 6.2.1 Regressionsanalysen, Erwachsene

Durch die Häufigkeit des Fischkonsums können etwa 3 % der Varianz des Quecksilbergehaltes im Blut der Erwachsenen in den **alten Bundesländern** erklärt werden. Die Varianzanteile der zweistufigen Gemeindegrößenklasse sowie des Haushaltseinkommens liegen unter 2 % (Tab. 6.2.1). Wird 1 Tag/Monat häufiger Fisch gegessen, so ist im Mittel ein um 7,3 % höherer Quecksilbergehalt im Blut zu erwarten. Für Gemeinden ab 100 000 Einwohner wird gegenüber kleineren Gemeinden ein um etwa 30 % höherer und für ein 1 000 DM höheres Haushaltseinkommen ein um etwa 8 % höherer Quecksilbergehalt im Blut geschätzt.

Tab. 6.2.1: Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 25- bis 69jährigen **Erwachsenen (alte Bundesländer, N = 2346)**

Prädiktoren	Varianzkomponente $\beta \cdot r \cdot 100 \%$	standard. Regressionskoeffizient $\beta$	Korrelation mit $\ln(\text{HgB})$ $r$
$x_1$ Häufigkeit des Fischkonsums (Tage/Monat)	2,8 %	0,17	0,17
$x_2$ Gemeindegröße ( $x_2=0$ : < 100 000; $x_2=1$ : ab 100 000)	1,8 %	0,13	0,13
$x_3$ Haushaltseinkommen (DM)	1,7 %	0,13	0,14
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100 \%$	6,3 %		
Adjustiertes $R^2 \cdot 100 \%$	6,2 %		
Multiples R	0,25		

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Für die Quecksilbergehalte im Blut der Erwachsenen in den **neuen Bundesländern** wurde nur ein Prädiktor mit einer Varianzkomponente über 1 % gefunden. Durch die Häufigkeit des Fischkonsums können etwa 2 % der Varianz des Quecksilbergehaltes im Blut erklärt werden (Tab. 6.2.2). Wird 1 Tag/Monat häufiger Fisch gegessen, so ist im Mittel ein um 3,5 % höherer Quecksilbergehalt im Blut zu erwarten.

Trotz der relativ geringen Beiträge der einzelnen Prädiktoren sollen sie nachfolgend kurz diskutiert werden.

Tab. 6.2.2: Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 25- bis 69jährigen **Erwachsenen (neue Bundesländer, N = 1485)**

Prädiktoren	Varianzkomponente $\beta \cdot r \cdot 100 \%$	standard. Regressionskoeffizient $\beta$	Korrelation mit $\ln(\text{HgB})$ $r$
$x_1$ Häufigkeit des Fischkonsums (Tage/Monat)	2,2 %	0,15	0,15
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100 \%$	2,2 %		
Adjustiertes $R^2 \cdot 100 \%$	2,2 %		
Multiples R	0,15		

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Die **Häufigkeit des Fischkonsums** ist signifikanter Prädiktor für den Quecksilbergehalt im Blut sowohl bei der Bevölkerung der alten als auch der neuen Bundesländer. Allerdings sind die dadurch aufgeklärten Anteile der Kriteriumsvarianz mit 2,8 % für die neuen Bundesländer und 2,2 % für die alten Bundesländer geringer als zunächst erwartet wurde.

Nach den Erhebungen der VERA-Studie (1987/88) beträgt der mittlere Fischkonsum in der Bundesrepublik Deutschland durchschnittlich 16,4 g/Tag (Heseker et al. 1992). Angaben zu den Quecksilbergehalten der in der Bundesrepublik Deutschland häufig konsumierten Fische des Nordatlantiks bewegen sich im Mittel zwischen 0,1 mg/kg (Krüger 1990) bzw. 0,3 mg/kg (Goetsch et al. 1990). Bei einer Zufuhr von 16 g Fisch pro Tag ergäbe sich so eine tägliche Quecksilberzufuhr von 1,6 bzw. 4,8 µg/Tag durch Fischverzehr. Unter der Annahme eines Einphasenmodells mit „steady state“-Bedingungen, eines Blutvolumens von 5 l, einer Absorption von 95 % und einer Eliminationsrate von 0,01 µg/Tag ergibt sich, daß im Gleichgewicht der Gehalt im Blut 0,95 x der täglichen Zufuhr ist (WHO 1990). Für die oben berechnete mittlere Zufuhr von Quecksilber würde ein Blutgehalt von 1,52 µg/l bzw. 4,8 µg/l resultieren. Diese berechneten Daten liegen ca. um das Zehnfache höher als die tatsächlich ermittelten Gehalte im Blut der bundesdeutschen Bevölkerung (Krause et al. 1996).

Der Grund dafür ist sicherlich zunächst, daß für die Allgemeinbevölkerung nicht von „steady-state“-Bedingungen auszugehen ist. Wahrscheinlich erfolgt der Konsum für die Mehrzahl der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland unregelmäßig und die Fischspezies variiert, wobei eher weniger kontaminierte Spezies dominieren. Das wird auch daran deutlich, daß bezüglich der Kategorien der Häufigkeitsabfrage des Fischkonsums im Rahmen des Umwelt-Surveys ein geringerer Anstieg der Quecksilbergehalte im Blut festgestellt wird als in anderen Studien, z.B. aus Schleswig-Holstein (Heinzow et al. 1989) und aus Grönland, Dänemark sowie Schweden, allerdings bei sehr viel höheren Gehalten (Hansen et al. 1983, Grandjean et al. 1992a, Svensson et al. 1992). Ein ähnliches Ergebnis beschreiben auch Schweinsberg und Kroihner (1994), und sie führen dies auf den im Vergleich zu anderen Studien geringeren Quecksilbergehalt in den verzehrten Fischen zurück.

Bei anderen Studien mit multivariaten Auswertungen bestätigt sich, daß der Fischkonsum ein signifikanter Prädiktor zur Aufklärung der Varianz des Quecksilbergehaltes im Blut ist. Bei Akesson et al. (1991) und Grandjean et al. (1992b) ist er wesentlich, jedoch werden dort keine Angaben zum Anteil der aufgeklärten Varianz gemacht. Langworth et al. (1991) erklärten bei der untersuchten Kontrollgruppe und bei quecksilberexponierten Arbeitern 18 % bzw. 12 % der Varianz durch den Fischkonsum, wobei allerdings, anders als in dieser Studie, die Art des Fisches berücksichtigt wurde und im

Mittel Gehalte im Blut von 3 µg/l vorlagen. Daran wird deutlich, daß durch die Berücksichtigung der Art des Fisches eine Erhöhung der Varianzaufklärung möglich erscheint.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, daß für eine so große Population, die insgesamt gesehen einen relativ geringen Fischkonsum aufweist, die alleinige Abfrage der Häufigkeit des Fischkonsums zur Klärung der Relevanz dieses Expositionspfades nicht ausreichend ist. Die Art des Fisches und die konsumierte Menge sollten mit erfaßt werden.

Die Chance, diese Problematik weiter aufzuklären, ergab sich dadurch, daß im Rahmen des Umwelt-Surveys bei einem westdeutschen Subkollektiv (n=318) eine Diet-History-Befragung durchgeführt wurde (Becker et al. 1996). Für diese Personen stand aus dieser Befragung somit als zusätzlicher potentieller Prädiktor die „Menge des Fischkonsums in den letzten 4 Wochen“ zur Verfügung. Das Ergebnis dieser Auswertung zeigt die Tabelle 6.2.3.

Tab. 6.2.3: Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der Erwachsenen (alte Bundesländer, Unterstichprobe **Diet History**, N = 318)

Prädiktoren	Varianzkomponente $\beta \cdot r \cdot 100 \%$	standard. Regressionskoeffizient $\beta$	Korrelation mit $\ln(\text{HgB})$ $r$
$x_1$ Häufigkeit des Fischkonsums (Tage/Monat)	4,1 %	0,19	0,22
$x_2$ Menge des Fischkonsums der letzten 4 Wochen (g)	3,8 %	0,18	0,21
$x_3$ Gemeindegröße ( $x_3=0$ : < 100 000; $x_3=1$ : ab 100 000)	3,0 %	0,17	0,17
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100 \%$	10,8 %		
Adjustiertes $R^2 \cdot 100 \%$	10,0 %		
Multiples R	0,33		

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Bei diesem Kollektiv würde sich somit ein Modell ergeben, bei dem zusätzlich zur Häufigkeit des Fischkonsums die Variable Menge des Fischkonsums (Diet History) der letzten 4 Wochen einen signifikanten Beitrag von 3,8 % zur Aufklärung der Varianz des Quecksilbergehaltes im Blut leistet. Für 10 g Fisch, die in den letzten 4 Wochen mehr gegessen wurden, wird im Mittel ein um 6,1 % höherer Quecksilbergehalt im Blut geschätzt. Die Anteile der durch die Häufigkeit des Fischkonsums und die



Gemeindegrößenklasse aufgeklärten Varianz sind ähnlich denen, die in Tabelle 6.2.1 angegeben wurden. Ein direkter Vergleich ist aufgrund der unterschiedlichen Stichprobenumfänge nicht möglich.

Der wesentliche Teil der Nahrungserhebung bestand in der Durchführung einer Duplikatstudie. Die Probanden sammelten ein 24h-Duplikat der zugeführten Nahrung einschließlich der Getränke und führten außerdem ein zugehöriges Protokoll. 49 der 318 Probanden hatten Fisch verzehrt, nur bei 11 Probanden konnten allerdings analytisch nachweisbare Quecksilbergehalte gefunden werden. Im Mittel betrug die Zufuhr von Quecksilber für alle Probanden 7 µg/Tag. Ein Zusammenhang zwischen der Zufuhr von Quecksilber mit der Nahrung und dem Quecksilbergehalt im Blut konnte weder für das Gesamtkollektiv noch für die Probanden mit nachweisbaren Quecksilbergehalten im Duplikat festgestellt werden. Auch die Berücksichtigung nur derjenigen Probanden, bei denen eine zeitgleiche Entnahme der Blut- und der Duplikatprobe erfolgte, ließ keinen Zusammenhang erkennen (Becker et al. 1996).

Die **Gemeindegrößenklasse** ist nur für den Quecksilbergehalt im Blut der erwachsenen Bevölkerung der alten Bundesländer ein signifikanter Prädiktor. Personen, die in Gemeinden der alten Bundesländer mit weniger als 100 000 Einwohnern leben, weisen demnach im Vergleich zu Personen größerer Gemeinden einen geringeren Quecksilbergehalt im Blut auf. Grundsätzlich ist in städtischen Lebensräumen und Ballungsgebieten durch die Nähe zu Emittenten von einer höheren Quecksilberimmission auszugehen (Kap. 3.4), andererseits wird in Studien in der Regel nicht von höheren Gehalten im Blut berichtet (Eilers et al. 1984, Grasmik und Huel 1985, Lommel et al. 1992, Möller-Madsen et al. 1988). Auch in dieser Studie ist der Prädiktor mit einem erklärten Anteil von 1,8 % der Gesamtvarianz eher schwach.

Daß sich ein entsprechender Effekt in den neuen Bundesländern nicht zeigt, könnte durch den bis 1990 üblichen Einsatz von quecksilberhaltigen Saatgutbeizmittel (Hahn et al. 1992) bedingt sein, und zwar in dem Sinne, daß sich die Immissionssituationen im städtischen und ländlichen Raum in Ostdeutschland weniger unterscheiden.

Das **Haushaltsnettoeinkommen** ist ebenfalls nur im Modell für die Quecksilbergehalte im Blut der Bevölkerung der alten Bundesländer ein signifikanter Prädiktor. Im Rahmen der deskriptiven Auswertung wurde mit zunehmendem Schulabschluß ein höherer Quecksilbergehalt im Blut beschrieben (Krause et al. 1996). Ein solcher Zusammenhang wurde auch in der VERA-Studie berichtet. Dort

fanden sich außerdem Abhängigkeiten zur Stellung im Beruf und zum Einkommen (Wetzel et al. 1994). Es ist wohl davon auszugehen, daß die Wirkung einer konfundierten Größe beschrieben wird. Die Fischart bzw. die Art der Fischprodukte wurde jedoch im Rahmen dieser Untersuchung nicht abgefragt. Möglicherweise konsumieren, und dies nur in den alten Bundesländern, Personen aus Haushalten mit höherem Einkommen mehr schwermetallbelastete Spezies (z.B. sea-food).

Weiterhin wurde eine statistische Analyse mit den Daten des **Umwelt-Surveys 1985/86**, welche zum damaligen Zeitpunkt nur bei Erwachsenen der alten Bundesländer erhoben wurden, durchgeführt. Es wurde wie in Kapitel 6 beschrieben vorgegangen und ein inhaltlich gleicher Prädiktorensatz wie für den aktuellen Datensatz verwendet. Die dabei gefundenen Effekte (Tab. 6.2.4) stimmen sehr gut mit den Ergebnissen des Umwelt-Surveys 1990/91 überein (Tab. 6.2.1), d.h. die Art und die Stärke der Prädiktoren unterscheidet sich für die Datensätze aus den unterschiedlichen Jahren nicht.

Tab. 6.2.4: Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 25- bis 69jährigen Erwachsenen (**Umwelt-Survey 1985/86**, N = 2120)

Prädiktoren	Varianzkomponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	standard. Regressionskoeffizient $\beta$	Korrelation mit $\ln(\text{HgB})$ $r$
$x_1$ Häufigkeit des Fischkonsums (Tage/Monat)	3,9 %	0,20	0,20
$x_2$ Gemeindegröße ( $x_2=0$ : < 100 000; $x_2=1$ : ab 100 000)	1,2 %	0,10	0,11
$x_3$ Haushaltseinkommen (DM)	1,3 %	0,11	0,12
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100\%$	6,4 %		
Adjustiertes $R^2 \cdot 100\%$	6,2 %		
Multiples R	0,25		

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

### 6.2.2 Regressionsanalysen, Kinder

Für die Quecksilbergehalte im Blut der Kinder in den alten Bundesländern werden 5 Prädiktoren mit aufgeklärten Anteilen an der Kriteriumsvarianz von etwa 1 bis 2 % ermittelt (Tab. 6.2.5). Bei häufiger körperlicher Anstrengung im Freien sind im Mittel etwa 35 % geringere Quecksilbergehalte im Blut zu erwarten. Wird 1 Tag/Monat häufiger Fisch gegessen, so ist ein um 7,8 % höherer Quecksilbergehalt im Blut zu erwarten. Für Jungen werden gegenüber Mädchen 27,5 % höhere und bei Blockbebauung ohne Grün in der Wohnumgebung gegenüber sonstigen Bebauungsarten ca. 44 % höhere Quecksilbergehalte im Blut geschätzt. Durch jeden zusätzlichen Zahn mit Amalgamfüllung wird im Mittel ein um 5 % höherer Quecksilbergehalt im Blut gefunden.

Für die Quecksilbergehalte im Blut der Kinder in den neuen Bundesländern werden 7 % der Varianz durch die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen erklärt und weniger als 2 % durch das Vorhandensein einzeln zu bedienender Öfen (Tab. 6.2.6). Für diese Kinder wird durch jeden zusätzlichen Zahn mit Amalgamfüllung im Mittel ein um 8 % höherer Quecksilbergehalt im Blut geschätzt. Bei einzeln zu bedienenden Öfen wird man etwa 20 % höhere Quecksilbergehalte im Blut finden.

Tab. 6.2.5: Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 6- bis 14jährigen Kinder (alte Bundesländer, N = 438)

Prädiktoren	Varianzkomponente $\beta \cdot r \cdot 100 \%$	standard. Regressionskoeffizient $\beta$	Korrelation mit $\ln(\text{HgB})$ $r$
$x_1$ Körperliche Anstrengung im Freien ( $x_1=0$ : seltener; $x_1=1$ : öfter)	2,2 %	-0,17	-0,13
$x_2$ Häufigkeit des Fischkonsums (Tage/Monat)	2,0 %	0,15	0,13
$x_3$ Geschlecht ( $x_3=0$ : weiblich; $x_3=1$ : männlich)	1,5 %	0,14	0,11
$x_4$ Anzahl Zähne mit Amalgamfüllungen	1,4 %	0,12	0,11
$x_5$ Wohnumgebung ( $x_5=0$ : Blockbebauung ohne Grün; $x_5=1$ : sonst)	1,3 %	-0,12	-0,11
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100 \%$	8,5 %		
Adjustiertes $R^2 \cdot 100 \%$	7,4 %		
Multiples R	0,29		

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Tab. 6.2.6: Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 6- bis 14jährigen **Kinder (neue Bundesländer, N = 261)**

Prädiktoren	Varianzkomponente $\beta \cdot r \cdot 100 \%$	standard. Regressionskoeffizient $\beta$	Korrelation mit $\ln(\text{HgB})$ $r$
$x_1$ Anzahl Zähne mit Amalgamfüllungen	7,1 %	0,27	0,27
$x_2$ Einzeln zu bedienende Öfen ( $x_2=0$ : nicht vorhanden; $x_2=1$ : vorhanden)	1,7 %	0,13	0,13
Aufgeklärte Varianz $R^2 \cdot 100 \%$	8,7 %		
Adjustiertes $R^2 \cdot 100 \%$	8,0 %		
Multiples R	0,30		

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Bei den Kindern in den alten und auch den Erwachsenen in den neuen und alten Bundesländern ist der Zusammenhang zwischen der **Häufigkeit des Fischkonsums** und dem Quecksilbergehalt im Blut deutlich (Abb. 6.2.1). Dabei ist der Effekt bei Erwachsenen und Kindern in den alten Bundesländern etwa gleich. Bei den Erwachsenen in den neuen Bundesländern ist der Effekt dagegen geringer.

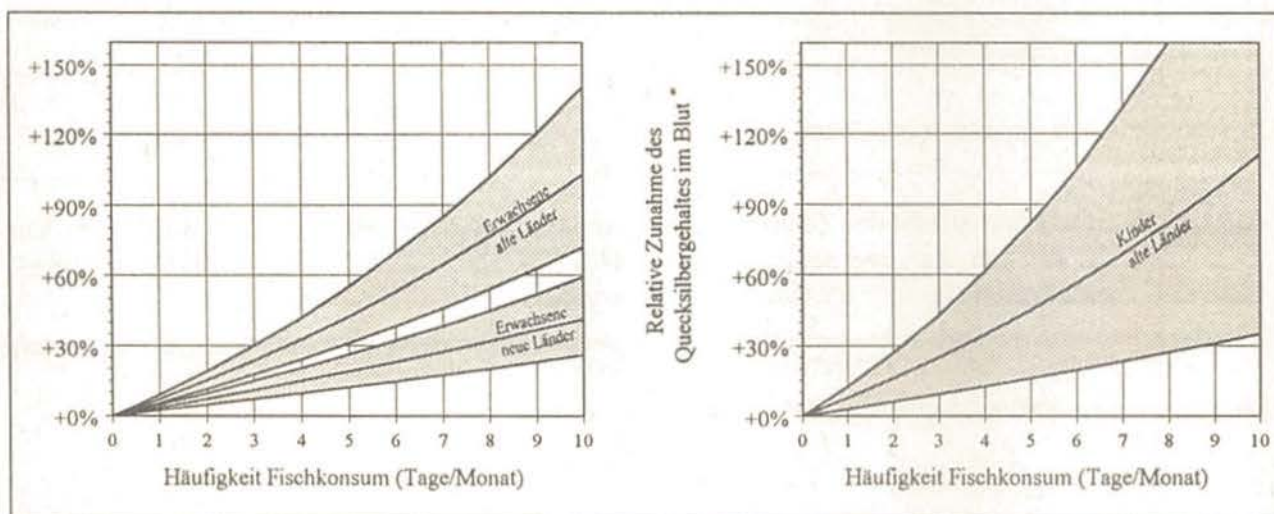


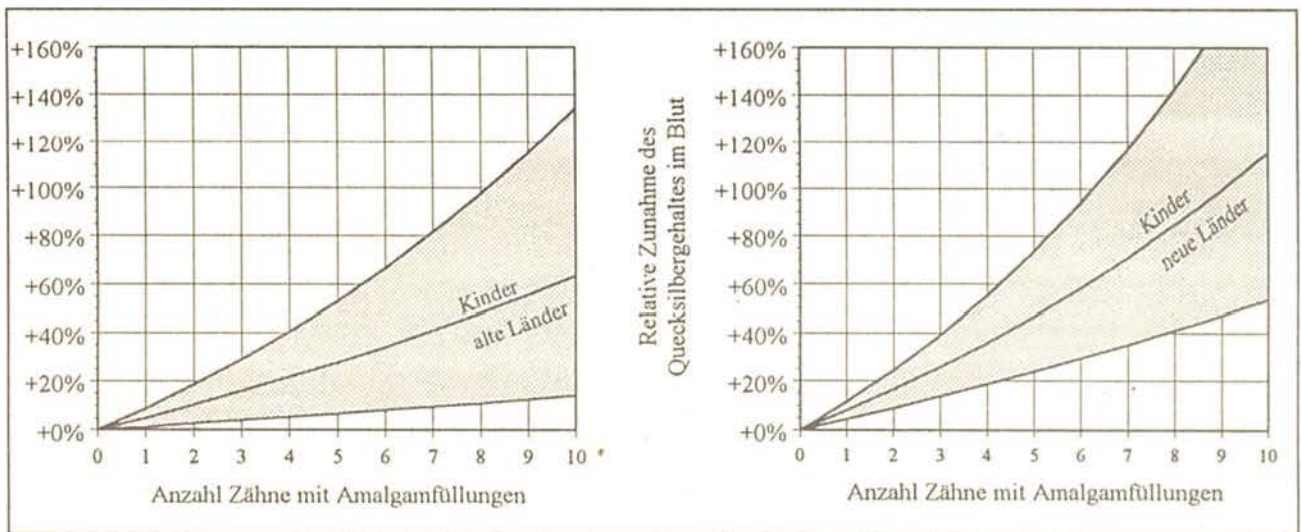
Abb. 6.2.1: Effekt der Häufigkeit des Fischkonsums in den Regressionsmodellen für Erwachsene aus den alten und neuen Bundesländern und Kinder aus den alten Bundesländern (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Blut mit 95%-Konfidenzintervall)

Anmerkung: In der Abbildung sind die relativen Veränderungen des Quecksilbergehaltes im Blut dargestellt, nicht die absoluten Werte. Z.B. bedeutet „+100%“ eine Verdopplung des Quecksilbergehaltes im Blut.

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Weiter erkennt man in der Abbildung 6.2.1, daß das Konfidenzintervall für den relativen Zuwachs bei den Kindern wegen des geringeren Stichprobenumfangs breiter ist. Dies ist möglicherweise auch ein Grund dafür, daß der Effekt bei den Kindern in den neuen Bundesländern nicht erkennbar ist.

Bei den 6- bis 14jährigen Kindern ist sowohl in den alten als auch in den neuen Bundesländern ein signifikanter Zusammenhang zwischen der Anzahl der **Zähne mit Amalgamfüllungen** und dem Quecksilbergehalt im Blut zu erkennen (Abb. 6.2.2). Die relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Blut mit der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen ist dabei in den neuen Bundesländern stärker ausgeprägt.



**Abb. 6.2.2:** Effekt der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen in den Regressionsmodellen für Kinder aus den alten und neuen Bundesländern (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Blut mit 95%-Konfidenzintervall)

**Anmerkung:** In der Abbildung sind die relativen Veränderungen des Quecksilbergehaltes im Blut dargestellt, nicht die absoluten Werte. Z.B. bedeutet „+100%“ eine Verdopplung des Quecksilbergehaltes im Blut.

**Quelle:** UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Daß generell nur für die Kinder eine Wirkung der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen auf den Quecksilbergehalt des Blutes festzustellen ist, kann möglicherweise auf die höhere Resorptionsrate, das höhere Atemvolumen, die höhere Dosis in bezug auf das Körpergewicht usw. zurückzuführen sein. Auch bezüglich der Gehalte im Urin ist im Rahmen dieser Studie ein deutlicher Einfluß der An-

zahl der Zähne mit Amalgamfüllungen bei den Kindern festgestellt und diskutiert worden (Kap. 6.1.2.3).

In den alten Bundesländern ist das **Geschlecht** ein bedeutsamer Prädiktor. Für Jungen liegt ein höherer Quecksilbergehalt im Blut vor als für Mädchen. Gemäß der Ausführungen in Kapitel 3.1 ist in einigen Studien eine Tendenz zu höheren Gehalten bei Frauen festgestellt worden. Untersuchungen zum Vergleich von Jungen und Mädchen liegen nicht vor. Auch die Frage, weshalb der Effekt nur in den alten Bundesländern vorliegt, kann nicht geklärt werden.

Bei Auswertung der Daten nur aus den neuen Bundesländern tritt das **Vorhandensein von einzeln zu bedienenden Öfen** als signifikanter Prädiktor auf. Wie in Kapitel 3.5 erwähnt, erfolgte die Berücksichtigung dieses potentiellen Prädiktors vor dem Hintergrund, daß die Verbrennung von fossilen Brennstoffen eine wesentliche Emissionsquelle für Quecksilber ist. Daß gerade das Vorhandensein von einzeln zu bedienenden Öfen und nicht die Verwendung von Holz- oder Kohle im Haushalt ein signifikanter Prädiktor ist, kann an dieser Stelle nicht erklärt werden. Wie im Rahmen der Befragungen zum Umwelt-Survey ermittelt wurde, ist in den neuen Bundesländern der Anteil von Haushalten mit einzeln zu bedienenden Öfen mit 38,7 % deutlich höher als in den alten Bundesländern. Signifikante Interkorrelationen zu anderen Prädiktoren des Modells für Kinder aus den neuen Ländern treten nicht auf.

Bei Blockbebauung ohne Grün wird im Vergleich zu den anderen **Bebauungsarten** in den alten Bundesländern ein höherer Quecksilbergehalt im Blut festgestellt. Eine Blockbebauung ohne Grün dürfte häufiger in industrienahen Bereichen anzutreffen sein, so daß für diesen Befund die entsprechende Wirkung von Emittenten von ursächlicher Bedeutung sein könnte. Andererseits gibt es bezüglich weiterer den Zusammenhang zu Immissionen beschreibenden Prädiktoren keine Hinweise.

Bei häufiger **körperlicher Aktivität im Freien** wird ein geringerer Quecksilbergehalt im Blut der Kinder aus den alten Bundesländern festgestellt. Als Ursache ist vordergründig eine höhere Belastung von Innenräumen (z.B. durch Verbrennung fossiler Brennstoffe oder nicht sachgerecht entsorgte Fieberthermometer) denkbar. Im Rahmen der deskriptiven Auswertung wurde eine relativ starke Assoziation zwischen dem Lebensalter und der körperlichen Aktivität im Freien in Richtung einer Abnahme mit dem Alter beschrieben. In der multivariaten Auswertung war jedoch das Lebensalter kein signifikanter Prädiktor.

## 7 Schlußbemerkungen

Im Rahmen des Umwelt-Surveys 1990/92 ist in einem gesonderten Band über die Quecksilberbelastung der deutschen 25- bis 69jährigen Allgemeinbevölkerung und der untersuchten 6- bis 14jährigen Kinder in Form der Deskription der Gehalte im Blut und im Urin berichtet worden. Die Ergebnisse der nun vorliegenden multivariaten Auswertungen lassen sich im Hinblick auf Vorschläge für zu ergreifende Maßnahmen, auf den zukünftigen Forschungsbedarf und im Hinblick auf den Nutzen der Studie folgendermaßen zusammenfassen.

### Vorschläge für zu ergreifende Maßnahmen:

Die Zahl der Zähne mit **Amalgamfüllungen** ist der wesentliche Prädiktor für die Quecksilbergehalte im Urin der erwachsenen deutschen Allgemeinbevölkerung. Bei den untersuchten Kindern ist dieser Einfluß deutlich ausgeprägter und zeigt sich auch bezüglich der Quecksilbergehalte im Blut. Im Hinblick auf einen vorbeugenden Gesundheitsschutz sollte somit über die Verwendung von Amalgamen bei Kindern neu nachgedacht werden.

Trotz verbesserter Handhabung in den Zahnarztpraxen ist das Legen von neuen Amalgamfüllungen mit einer nachweisbaren Quecksilberbelastung der Patienten verbunden. Auch hier ist zu überlegen, wie dieser Einfluß weiter minimiert werden kann.

Der **Fischkonsum** stellt eine wesentliche Quelle der Belastung des Bundesbürgers mit organisch gebundenem Quecksilber dar. Ein Einfluß des Fischkonsums läßt sich zwar an den Quecksilbergehalten im Blut erkennen, es ist jedoch festzustellen, daß bei der deutschen Allgemeinbevölkerung der Einfluß geringer ist, als zunächst erwartet wurde. Es kommen nach wie vor kaum Quecksilbergehalte im Blut vor, die eine gesundheitliche Gefährdung auf lange Sicht bedeuten. Die gesetzliche Grundlage zur Überwachung der in Fischen vorkommenden Quecksilbergehalte liefert die SHmV (vgl. Kap. 1), durch die ein Schutz der Allgemeinbevölkerung gewährleistet ist. Um einen möglicherweise in Einzelfällen vorkommenden übermäßigen Verzehr von stark quecksilberhaltigen Fischen zu vermeiden, sollte eine entsprechende Aufklärung der Bevölkerung auch weiterhin erfolgen.

Einflußgrößen wie das städtische Wohngebiet, die Gemeindegrößenklasse, die Wohnumgebung und die Region alte bzw. neue Bundesländer geben einen Hinweis darauf, daß für Bewohner von **Balungsgebieten bzw. städtischen Lebensräumen** eine höhere Quecksilberbelastung vorliegen könnte. Hierzu sollten weitere Daten erhoben werden.

#### **Forschungsbedarf:**

In zukünftigen Umwelt-Surveys oder vergleichbaren Studien sollte die Häufigkeit des **Fischkonsums** abgefragt sowie die Art und Menge des konsumierten Fisches und anderer Meerestiere ermittelt werden.

Neben der **Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen** sollte die Anzahl der Amalgamoberflächen und auch die Verwendung von anderen Metallen ermittelt werden. Auch individuelles Verhalten, welches die Freisetzung von Quecksilber aus Amalgamfüllungen beeinflusst, wie z.B. Kaugummikauen, sollte mit erfaßt werden.

Die **städtische Wohnumgebung** stellte sich als bedeutsamer Einflußfaktor für die korporale Quecksilberbelastung heraus. Als Voraussetzung für eine gezielte Herabsetzung der Belastungen ist im Rahmen zukünftiger Forschungsaktivitäten zu prüfen, ob diese Belastungen durch luftgetragene Expositionen, Bodenkontaminationen oder besondere Ernährungsweisen der Stadtbevölkerung zu erklären sind.

Insbesondere für die Einflüsse, die auf der individuellen Ebene liegen, wie **Lebensalter, Body Mass Index, Schulabschluß** und **Geschlecht**, ist ein weiterer Forschungsbedarf gegeben, da die zugrunde liegenden Mechanismen bisher nicht aufgeklärt sind.

Da der **Creatiningehalt des Urins** ein wesentlicher Prädiktor war und die Morgenurinmenge einen nennenswerten zusätzlichen Beitrag für die Erklärung des Quecksilbergehaltes im Urin lieferte, bedarf es einer Studie, die einerseits die Zusammenhänge zwischen Spontanurin, Morgenurin, 24h-Urin und Creatinin quantifiziert und andererseits deren Zusammenhänge mit dem Quecksilbergehalt erfaßt.



Mehr als 90 % der Varianz der Quecksilbergehalte im Blut konnten mit dem Regressionsmodell nicht aufgeklärt werden. Der Forschungsbedarf ist offensichtlich.

Für künftige Studien sollte ein hypothesengeleiteter **Fragebogen** entwickelt werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit ist die Beibehaltung einiger Fragen zu prüfen. Erweitert werden sollte der Fragebogen z.B. durch Fragen zum Kaugummikauen, zum Vorhandensein von Zahnersatz, zur Entsorgung von Fieberthermometern und zu Quecksilberemittenten in der Wohnumgebung. Auch sollte geprüft werden, inwieweit nicht nur die Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen, sondern auch die Zahl der Amalgamoberflächen ermittelt werden kann.

#### **Nutzen der Studie:**

Die deskriptiven Ergebnisse des Umwelt-Surveys liefern repräsentative Daten zur Quecksilberbelastung der Allgemeinbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland. Diese stellen sowohl für staatliche Stellen (Umwelt- und Gesundheitsämter) als auch für die Forschung (umweltmedizinische Erhebungen an ausgewählten Kollektiven) ein überaus wertvolles Material für vergleichende Befundungen dar. Durch die multivariate Auswertung werden die Hauptbelastungspfade (Amalgamfüllungen, Fischkonsum) identifiziert. Hierdurch ist eine wesentliche Grundlage für die Einleitung belastungs-  
verringender Maßnahmen geschaffen.

## 8 Literatur

- Akesson, I., Schutz, A., Attewell, R., Skerfving, S., Glantz, P.-O.: Status of mercury and selenium in dental personnel: Impact of amalgam work and own fillings, *Arch. Environ. Health* 46 (1991) 102-109
- Alessio, L., Berlin, A., Dell'Orto, A., Toffoletto, F., Ghezzi, I.: Reliability of urinary creatinine as a parameter used to adjust values of urinary biological indicators, *Int. Arch. Environ. Health* 55 (1985) 99-106
- Araki, S., Aono, H.: Effects of water restrictions and water loading on daily urinary excretion of heavy metals and organic substances in metal workers, *British J. Industrial. Med.* 46 (1989) 389-392
- Babisch, W., Kovacic, S., Krause, C., Roulet, J.F., Thron, J.L., Hoffmann, M.: Quecksilberkonzentration im Blut und Urin - Vor und nach dem Legen von Amalgamfüllungen, *Zbl. Hyg.* 193 (1992) 175-187
- Beck, E.G., Schmidt, P.: Umweltmedizinische gruppendiagnostische Kinderuntersuchungen 1982-1990. Übersicht, *Zbl. Hyg.* 193 (1993) 395-418
- Becker, K., Nöllke, P., Hermann-Kunz, E., Krause, C., Schenker, D., Schulz, C.: Umwelt-Survey 1990/91 Band III: Zufuhr von Spurenelementen und Schadstoffen mit der Nahrung (Duplikate und Diet History) in den alten Bundesländern, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, WaBoLu-Hefte, 3/1996, im Druck
- Begerow, J., Zander, D., Dunemann, L.: Contribution of dental amalgam to the mercury exposure of the general population, *Umwelthygiene Suppl.* 2, 1st International Congress on Environmental Medicine, Duisburg, 1994
- Björkman, L., Lind, B.: Factors influencing mercury evaporation rate from dental amalgam fillings, *Scand. J. Dent. Res.* 100 (1992) 354-360
- Bloedner, C.D., Reimann, D.O., Schaller, K.H., Welte, D.: Untersuchungen zur internen Cadmium-, Blei- und Quecksilber-Exposition von Beschäftigten eines modernen Müllheizkraftwerkes, *Zbl. Arbeitsmed.* 36 (1986) 322-326
- Bortz, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler. 4. Auflage. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993
- Bundesanstalt für Arbeitsmedizin (Hrsg.): Umweltsurvey 1991/92: Gefahrstoffe am Arbeitsplatz in den neuen Ländern, *Informationen der BAFAM* 1 (1994) 5-7

- Clarkson, T.W., Friberg, L., Hursh, J.B., Nylander, M.: The prediction of intake of mercury vapor from amalgams, in: Clarkson, T.W., Friberg, L., Nordberg, G.F., Sager, P.R.: Biological monitoring of toxic metals, Plenum Press, New York und London, 1988
- Diamond, G.L.: Biological monitoring of urine for exposure to toxic metals, in: Clarkson, T.W., Friberg, L., Nordberg, G.F., Sager, P.R.: Biological monitoring of toxic metals, Plenum Press, New York und London, 1988
- DiGiorgio, J.: Non-protein nitrogenous constituents, in: Henry, R.J., Cannon, D.C., Winkelmann, J.W. (Eds.): Clinical chemistry: Principles and technics, Harper and Row, Hagerstown, Maryland, USA, 2. Auflage, 503-563, 1974
- Drasch, G., Schupp, I., Riedl, G., Günther, G.: Einfluß von Amalgamfüllungen auf die Quecksilberkonzentration in menschlichen Organen, Dtsch. Zahnärztl. Z. 47, 8 (1992) 490-496
- Ehrenberg, R.L., Vogt, R.L., Smith, A.B., Brondum, J., Brightwell, W.S., Hudson, P.J., McManus, K.P., Hannon, W.H., Phipps, F.C.: Effects of elemental mercury exposure at a thermometer plant, Am. J. Ind. Med. 19 (1991) 495-507
- Eikmann, T.: Epidemiologische Untersuchungen über die Quecksilberausscheidung bei älteren Einwohnern in Gebieten mit unterschiedlicher Schadstoffbelastung, Staub-Reinhalt. Luft 42, 4 (1982) 144-146
- Eilers, P., Jessen, H., Kruse, H.: Ergebnisse einer Feldstudie zur Feststellung der Quecksilberbelastung der Normalbevölkerung in Schleswig-Holstein, Öff. Gesundh. Wes. 46 (1984) 41-45
- Eley, B.M., Cox, S.W.: The release, absorption and possible health effects of mercury from dental amalgam: a review of recent findings, Br. Dental J. 175 (1993) 355-362
- Elinder, C.-G., Friberg, L., Kjellström, T., Nordberg, G., Oberdoerster, G.: Biological monitoring of metals, Chemical Safety Monographs, WHO, Genf, 1994
- EPA: Mercury health effects update, EPA-600/8-84-019F, United States Environmental Protection Agency, Research Triangle Park, 1984
- Goetsch, P.-H., Hildebrandt, G., Weiß, H.: Stichprobenpläne zur Durchführung des Probenahmeverfahrens für die Kontrolle des Quecksilbergehaltes von Fischen, Bundesgesundheitsblatt 2 (1990) 47-52
- Goethe, C.J., Langworth, S.: Biological monitoring of exposure to metallic mercury, Clin. Toxicol. 23, 4-6 (1985) 381-389

- Grandjean, P., Nielsen, G.D., Jorgensen, P.J., Horder, M.: Reference intervals for trace elements in blood: significance of risk factors, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.* 52 (1992a) 312-337
- Grandjean, P., Weihe, P., Jorgensen, P.J., Clarkson, T., Cernichiari, E., Videro, T.: Impact of maternal seafood diet on fetal exposure to mercury, selenium, and lead, *Arch. Environ. Health* 47, 3 (1992b) 185-195
- Grasmick, C., Huel, G.: Interindividual variations of blood mercury level according to sex, age and area of residence, *Sci. Total Environ.* 44 (1985) 101-109
- Hahn, E., Hahn, K., Kleinstäuber, G.: Quecksilbergehalte in Wanderfalkenfedern aus Ostdeutschland, Greifvögel und Falknerei (1992) 87-93
- Hansen, J.C.: Mercury and selenium concentrations in Greenland mother-infant blood samples, in: Dillon, H.K., Ho, M.H. (Eds.): *Biological monitoring of exposure to chemicals: Metals*, Wiley & Sons, New York, 11-25, 1991
- Hansen, J.C., Wulf, H.C., Kromann, N., Alboge, K.: Human exposure to heavy metals in east Greenland I. Mercury, *Sci. Total Environ.* 26 (1983) 233-243
- Heinzow, B., Jessen, H., Mohr, S., Benthe, C.: Schadstoffbelastungen der Bevölkerung - ausgewählte Beispiele aus Schleswig-Holstein, *Öff. Gesundh.-Wes.* 51 (1989) 404-408
- Hermann, M., Schweinsberg, F.: Biomonitoring zur Beurteilung einer Quecksilberbelastung aus Amalgamfüllungen: Quecksilberbestimmung im Urin vor und nach oraler Gabe von 2,3-Dimercapto-1-propansulfonsäure (DMPS) und in Haaren, *Zbl. Hyg.* 194 (1993) 271-291
- Heseker, H., Adolf, T., Eberhardt, W., Hartmann, S., Herwig, A., Kübler, W., Matiaske, B., Moch K.J., Schneider R., Zipp, A.: *Lebensmittel- und Nährstoffaufnahme Erwachsener in der Bundesrepublik Deutschland*, VERA-Schriftenreihe Band III, Fleck Verlag, Niederkleen, 1992
- Hoffmann, M.: Quecksilberkonzentrationsmessungen im Blut und im Urin vor und nach Applikation von Amalgamfüllungen, Dissertation am Fachbereich Zahn-, Mund- und Kieferheilkunde der Freien Universität Berlin, 1986
- Hoffmeister, H., Bellach, B-M. (Hrsg.): *Die Gesundheit der Deutschen - Ein Ost-West-Vergleich von Gesundheitsdaten - Auswertung der Daten des Surveys Neue Bundesländer 1991/92 im Vergleich mit den Daten des 3. Durchgangs des Nationalen Gesundheitssurveys der DHP (1990/91)*, Robert Koch-Institut, RKI-Heft 7/1995
- Hoffmeister, H., Thefeld, W., Stolzenberg, H., Schön, D.: *Nationaler Gesundheits-Survey 1984-86. Untersuchungsbefunde und Laborwerte*, Institut für Sozialmedizin und Epidemiologie, Schriftenreihe des Bundesgesundheitsamtes 1, 1992

- Jokstad, A.: Mercury excretion and occupational exposure of dental personnel, *Community, Dentistry and Oral Epidemiology*, 18, 3 (1990) 143-148
- Jokstad, A., Thomassen, Y., Bye, E., Clench-Aas, J., Aaseth, J.: Dental amalgam and mercury, *Pharmacology and Toxicology* 70 (1992) 308-313
- Krause, C. Thron, H.L., Wagner, H.M., Flesch-Janys, D., Schümann, M., 1987: Ergebnisse aus Feldstudien über die Belastung der Bevölkerung mit Schwermetallen durch industrielle Quellen, *Schr.-Reihe Verein WaBoLu* 74 (1987) 105-111
- Krause, C., Chutsch, M., Henke, M., Huber, M., Kliem, C., Schulz, C., Schwarz, E.: Umwelt-Survey Band I: Studienbeschreibung und Humanbiologisches Monitoring. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, *WaBoLu-Hefte* 5/1989
- Krause, C., Babisch, W., Becker, K., Bernigau, W., Hoffmann, K., Nöllke, P., Schulz, C., Schwabe, R., Seiwert, M., Thefeld, W.: Umwelt-Survey 1990/92 Band Ia: Studienbeschreibung und Human-Biomonitoring, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, *WaBoLu-Hefte* 1/1996, im Druck
- Kreuter, H., Klaes, L., Hoffmeister, H., Laaser, U.: Prävention von Herz-Kreislaufkrankheiten, *Juventa-Verlag GmbH, Weinheim*, 1995
- Krüger, K.-E.: Die lebensmittelrechtliche Beurteilung von Umweltchemikalien in Süßwasserfischen, *Dtsch. tierärztl. Wschr.* 97, 7 (1990) 265-304
- Lahmann, E., Jander, K.: Schwermetalle in der Umwelt - umwelthygienische und gesundheitliche Aspekte, *Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene* 74 (1987)
- Länderausschuß für Immissionsschutz: Immissionswerte für Quecksilber/Quecksilberverbindungen, Bericht des Unterausschusses „Wirkungsfragen“ des Länderausschusses für Immissionsschutz, Stand: September 1994
- Langworth, S., Elinder, C.G., Akesson, A.: Mercury exposure from dental fillings, *Swed. Dent. J.* 12 (1988) 69-70
- Langworth, S., Elinder, C.G., Göthe, C.J., Vesterberg, O.: Biological monitoring of environmental and occupational exposure to mercury, *Int. Arch. Occup. Environm. Health* 63 (1991) 161-167
- Lie, A., Gundersen, N., Korsgaard, K.J.: Mercury in urine - sex, age and geographic differences in a reference population, *Scand. J. Work Environ. Health* 8 (1982) 129-133

- Lommel, A., Kruse, H., Müller, E., Wassermann, O.: Organochlorine pesticides, octachlorostyrene, and mercury in blood of Elbe river residents, Germany, Arch. Environ. Contam. Toxicol. 22 (1992) 14-20
- MAGS: Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Sozialordnung Baden-Württemberg (Hrsg.): Gesundheitsrahmenbericht Baden-Württemberg 1996, 1. Gesundheitspolitik 36, Stuttgart, 1996
- Möller-Madsen, B., Hansen, J.C., Kragstrup, J.: Mercury concentrations in blood from Danish dentists, Scand. J. Dent. Res. 96, 1 (1988) 56-59
- Molin, M., Schütz, A., Skerfving, S., Sällsten, G.: Mobilized mercury in subjects with varying exposure to elemental mercury vapour, Int. Arch. Occup. Environ. Health 63 (1991) 187-192
- Molin, M., Bergmann, B., Marklund, L., Schütz, A., Skerfving, S.: Mercury, selenium, and glutathion peroxidase before and after amalgam removal in man, Acta Odontol. Scand. 48, 3 (1990) 189-202
- MURL: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Wirkungskataster zu den Luftreinhalteplänen des Ruhrgebietes 1993, Woeste Verlag, Essen, 1993
- Nilsson, B., Gerhardsson, L., Nordberg, G.F.: Urine mercury levels and associated symptoms in dental personnel, Sci. Total Environ. 94 (1990) 179-185
- Ohnesorge, F.K.: Zur Frage der Toxikologie von Quecksilber aus Amalgamfüllungen, in: Institut der Deutschen Zahnärzte (Hrsg.): Amalgam - Pro und Contra, Deutscher Ärzte Verlag, Köln, 3. Auflage, 1992
- Olstad, M.L., Holland, R.I., Pettersen, A.H.: Effect of placement of amalgam restorations on urinary mercury concentrations, J. Dent. Res. 69, 9 (1990) 1607-1609
- Olstad, M.L., Holland, R.I., Wandel, N., Pettersen, A.H.: Correlation between amalgam restorations and mercury concentrations in urine, J. Dent. Res. 66, 6 (1987) 1179-1182
- Ott, K.H.R., Loh, F., Kröncke, A., Schaller, K.H., Valentin, H., Welte, D.: Zur Quecksilberbelastung durch Amalgamfüllungen, Dtsch. Zahnärztl. Z. 39 (1984) 199-205
- Ott, K.H.R., Vogler, J., Kröncke, A., Schaller, K.H., Valentin, H., Welte, D.: Quecksilberkonzentration in Blut und Urin vor und nach dem Legen von Non-Gamma-2-Amalgamfüllungen, Dtsch. Zahnärztl. Z. 44 (1989) 551-554

- Ott, W.R.: A physical explanation of the lognormality of pollutant concentrations, *J. Air Waste Management Assoc.* 40 (1990) 1378-1383
- Palotti, G., Bencivenga, B., Simonetti, T.: Total mercury levels in whole blood, hair and fingernails for a population Group from Rome and its surroundings, *Sci. Total Environ.* 2 (1979) 67-72
- Paulus, M., Altmeyer, M., Klein, R., Klenke, R., Nentwich, K., Sprengart, J., Stegner, J., Wagner, G.: Zustandsdokumentation der Belastungssituation auf dem Gebiet der ehemaligen DDR durch Umweltproben, Abschlußbericht zum FE-Vorhaben 108 08 011 des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Universität Saarbrücken, 1992
- Rauhut, A.: Eintrag von Blei, Cadmium und Quecksilber in die Umwelt, Bilanzen über Verbrauch und Verbleib, Band 2: Quecksilber, Umweltbundesamt, Forschungsbereich 106 01 047, 1996
- Roels, H., Abdeladim, S., Ceulemans, E., Lauwerys, R.: Relationships between the concentrations of mercury in air and in blood or urine in workers exposed to mercury vapour, *Ann. Occup. Hyg.* 31, 2 (1987) 135-144
- Roels, H., Lauwerys, R., Buchet, J.P., Bernard, A., Barthels, A., Oversteins, M., Gaussin, J.: Comparison of renal function and psychomotor performance in workers exposed to elemental mercury, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 50 (1982) 77-93
- Schaller, K.H., Breininger, M., Schiele, R., Schierling, P.: Der Quecksilberspiegel für Blut und Urin bei Normalpersonen, *Ärztl. Lab.* 29 (1983) 325-334
- Schaller, K.H., Triebig, G., Schiele, R., Valentin, H.: Biological monitoring and health surveillance of workers exposed to mercury, in: Dillon, H.K., Ho, M.H. (Eds.): *Biological monitoring of exposure to chemicals: Metals*, Wiley & Sons, New York, 3-9, 1991
- Schweinsberg, F., Kroihner, A.: Quecksilberbelastung durch Fischkonsum bei Rheinfischern, *Zbl. Hyg.* 195 (1994) 529-543
- Schweinsberg, F., Herrmann, M., Widon, B., Ostertag, A., Pickert, A., Wiethölter, H.: Quecksilberbelastung durch Amalgam und Beruf - Messen und Bewerten, *Forum Städte-Hyg.* 43 (1992) 73-76
- Sherlock, J., Hislop, J., Newton, D., Topping, G., Whittle, K.: Evaluation of mercury in human blood from controlled chronic ingestion of methylmercury in fish, *Human Toxicol.* 3 (1984) 117-131
- Skare, I., Engqvist, A.: Human exposure to mercury and silver released from amalgam restorations, *Arch. Environ. Health* 49, 5 (1994) 384-394

- Skare, I., Eng, L., Bergström, T., Engqvist, A., Weiner, J.A.: Mercury exposure of different origins among dentists and dental nurses, *Scand. J. Work Environ. Health* 16 (1990) 340-347
- Smetana, R., Meisinger, V., Sperr, W., Jahn, O.: Quecksilberkonzentration im Blut bei Zahnärzten, zahnärztlichem Hilfspersonal und Probanden mit Amalgamfüllungen, *Zbl. Arbeitsmed.* 35, 8 (1985) 232-235
- Smetana, R., Sperr, W., Meisinger, V.: Zahnärztliche Verwendung von Amalgam und Blut-Quecksilber-Belastung, *Z. Stomatol.* 83 (1986) 585-589
- Snapp, K.R., Boyer, D.B., Peterson, L.C., Svare, C.W.: The contribution of dental amalgam to mercury in blood, *J. Dent. Res.* 68, 5 (1989) 780-785
- SPSS: SPSS Base System Syntax Reference Guide, Release 6.0, SPSS Inc., 1993
- Suzuki, T., Hongo, T., Abe, T., Matsuo, N., Inoue, N.: Urinary mercury level in Japanese school children: Influence of dental amalgam fillings and fish eating habits, *Sci. Total Environm.* 136 (1993) 213-227
- Svensson, B.G., Björnhalm, A., Schütz, A., Letteval, U., Nilsson, A., Skerfving, S.: Acidic deposition and human exposure to toxic metals, *Sci. Total Environ.* 67 (1987) 105-115
- Svensson, B.G., Schütz, A., Nilsson, A., Akesson, I., Akesson, B., Skerfving, S.: Fish as a source of exposure to mercury and selenium, *Sci. Total Environ.* 126 (1992) 61-74
- Verschoor, M.A., Herber, R.F.M.: Urinary mercury levels and renal function changes in Dentists and dental assistants, *Arch. Toxicol., Suppl.* 12 (1988) 435-437
- Warren, P.J.: Estimation of urinary mercury as an index of occupational exposure in dental surgery staff in Great Britain, *Nutrition Res., Suppl.* 1 (1985) 622-626
- Weiner, J.A., Nylander, M.: The relationship between mercury concentrations in human organs and different predictor variables, *Sci. Total Environ.* 138 (1993) 101-115
- Wetzel, S., Heeschen, W., Reichmuth, J., Stelte, J., Stüber, C., Kübler, W., Eberhardt, W.: Belastung Erwachsener mit persistenten Organochlorverbindungen, toxischen Schwermetallen und Nitrat in der Bundesrepublik Deutschland, VERA-Schriftenreihe Band VI, Fleck Verlag, Niederkleen, 1994
- WHO: Evaluation of certain food additives and contaminants, Technical Report Series TRS 631, World Health Organization, Genf, 1978



- WHO: Evaluation of certain food additives and contaminants, Technical Report Series TRS 776, World Health Organization, Genf, 1989
- WHO: Methylmercury, Environmental Health Criteria, 101, World Health Organization, Genf, 1990
- WHO: Inorganic mercury, Environmental Health Criteria 118, World Health Organization, Genf, 1991
- Zander, D., Ewers, U., Freier, I., Brockhaus, A.: Untersuchungen zur Quecksilberbelastung der Bevölkerung: III. Quecksilbermobilisation durch DMPS bei Personen mit und ohne Amalgamfüllungen, Zbl. Hyg. 192 (1992a) 447-454
- Zander, D., Ewers, U., Freier, I., Brockhaus, A.: Untersuchungen zur Quecksilberbelastung der Bevölkerung: IV. Quecksilberbelastung von Zahnärzten, Zahnärztinnen und Zahnärzthelferinnen, Zbl. Hyg. 193 (1992b) 318-328
- Zander, D., Ewers, U., Freier, I., Jermann, E., Westerweller, S., Brockhaus, A.: Untersuchungen zur Quecksilberbelastung der Bevölkerung: I. Quecksilberkonzentrationen im Urin bei Normalpersonen, Zbl. Hyg. 190 (1990a) 315-324
- Zander, D., Ewers, U., Freier, I., Westerweller, S., Jermann, E., Brockhaus, A.: Untersuchungen zur Quecksilberbelastung der Bevölkerung: II. Quecksilberfreisetzung aus Amalgamfüllungen, Zbl. Hyg. 190 (1990b) 325-334
- Zinke, T.: Gibt es neue Erkenntnisse zur Amalgamproblematik?, Bundesgesundheitsbl. 11 (1994) 459-462

## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Verzeichnis der Abkürzungen

AAS	Atomabsorptionsspektrometrie
Abb	Abbildung
AM	arithmetischer Mittelwert
b	Regressionskoeffizient für Rohdaten
$\beta$	Standardpartialregressionskoeffizient
BG	Bestimmungsgrenze
BGA	Bundesgesundheitsamt
BMI	Body Mass Index
Einw.	Einwohner
DHP	Deutsche Herz-Kreislauf-Präventionsstudie
GGK	Gemeindegrößenklasse
GM	geometrischer Mittelwert
Hg	Quecksilber
Hg-B	Quecksilbergehalt im Blut
Hg-U	Quecksilbergehalt im Urin
Kap	Kapitel
KI	Konfidenzintervall
ln	natürlicher Logarithmus
m	% der Werte kleiner BG
Max	Maximum
MZ	Mikrozensus
n.s.	nicht signifikant
N	Stichprobenumfang
Ost	neue Bundesländer
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
P	Perzentil
Part Korr.	Semipartialkorrelation
Partial Korr.	Partialkorrelation
PTWI	Provisional tolerable weekly intake
r	bivariate Korrelation
R	multiple Korrelation
s	Standardabweichung
SE	Standardfehler
SHmV	Schadstoff-Höchstmengenverordnung
SWA	Sollwertabweichung
Tab	Tabelle

TRGS 410	Technische Regel 410 der Gefahrstoffverordnung
UBA	Umweltbundesamt
vgl.	Vergleich
VK	Variationskoeffizient
WaBoLu	Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
West	alte Bundesländer
WHO	World Health Organisation
x	Prädiktor
$\bar{x}$	arithmetisches Mittel
y	Kriterium

## 9.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 4.3.1	Interne Qualitätskontrolle - Referenzmaterialien .....	23
Tab. 4.3.2	Interne Qualitätskontrolle - Laborstandards .....	24
Tab. 4.3.3	Mittelwertvergleich zwischen Erst- und Wiederholungsmessung des Umwelt-Surveys-West und des Umwelt-Surveys-Ost (Angaben in $\mu\text{g/l}$ ) .....	25
Tab. 6.1.1	Die Varianzkomponenten des Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Urin der 25- bis 69jährigen Erwachsenen (N=3795) .....	37
Tab. 6.1.2	Die Parameter der Modellgleichung für den Quecksilbergehalt im Urin der 25- bis 69jährigen Erwachsenen .....	39
Tab. 6.1.3	Die Regressionsmodelle für den Quecksilbergehalt im Urin der 25- bis 69jährigen Erwachsenen aus den alten Ländern, den neuen Ländern und Deutschland im Vergleich .....	50
Tab. 6.1.4	Die Varianzkomponenten des Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder (N=716) .....	54
Tab. 6.1.5	Die Parameter der Modellgleichung für den Quecksilbergehalt im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder .....	56
Tab. 6.1.6	Die Regressionsmodelle für den Quecksilbergehalt im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder aus den alten Ländern, den neuen Ländern und Deutschland im Vergleich .....	62
Tab. 6.1.7	Die Regressionsmodelle für den creatininbezogenen und den volumenbezogenen Quecksilbergehalt im Urin der 25- bis 69jährigen Erwachsenen im Vergleich .....	66
Tab. 6.1.8	Die Regressionsmodelle für den creatininbezogenen und den volumenbezogenen Quecksilbergehalt im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder im Vergleich .....	67
Tab. 6.1.9	Vergleich der Surveys 85/86 und 90/91 - Regressionsmodelle für den Queck- silbergehalt im Urin ohne Prädiktoren zum Amalgamstatus (25- bis 69jährige Erwachsene aus den alten Ländern) .....	69
Tab. 6.2.1	Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 25- bis 69jährigen Erwachsenen (alte Bundesländer) .....	71
Tab. 6.2.2	Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 25- bis 69jährigen Erwachsenen (neue Bundesländer) .....	71
Tab. 6.2.3	Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der Erwachsenen (alte Bundesländer, Unterstichprobe Diet History) .....	73
Tab. 6.2.4	Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 25- bis 69jährigen Erwachsenen (Umwelt-Survey 1985/86) .....	75

Tab. 6.2.5	Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 6- bis 14jährigen Kinder (alte Bundesländer).....	76
Tab. 6.2.6	Varianzkomponenten eines Regressionsmodells für den Quecksilbergehalt im Blut der 6- bis 14jährigen Kinder (neue Bundesländer).....	77
Tab. 10.1.1	Quecksilber im Urin ( $\mu\text{g/l}$ ) gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells für Erwachsene (25-69 Jahre) - gewichtete Daten.....	98
Tab. 10.1.2	Quecksilber im Urin ( $\mu\text{g/l}$ ) gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells für Kinder (6-14 Jahre) - gewichtete Daten.....	99
Tab. 10.1.3	Quecksilber im Blut ( $\mu\text{g/l}$ ) gegliedert nach den Prädiktoren der Regressionsmodelle für Erwachsene (25-69 Jahre) aus den alten und den neuen Ländern - gewichtete Daten.....	100
Tab. 10.1.4	Quecksilber im Blut ( $\mu\text{g/l}$ ) gegliedert nach den Prädiktoren der Regressionsmodelle für Kinder (6-14 Jahre) aus den alten und den neuen Ländern - gewichtete Daten.....	101
Tab. 10.2.1	Kennwerte der Variablen des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Erwachsenen.....	103
Tab. 10.2.2	Interkorrelationsmatrix der Variablen des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Erwachsenen.....	104
Tab. 10.2.3	Zusätzliche Kennwerte des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Erwachsenen.....	105
Tab. 10.2.4	Kreuzvalidierung des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Erwachsenen.....	105
Tab. 10.3.1	Kennwerte der Variablen des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Kinder.....	106
Tab. 10.3.2	Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für Quecksilber im Urin der Kinder.....	106
Tab. 10.3.3	Zusätzliche Kennwerte des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Kinder.....	107
Tab. 10.3.4	Kreuzvalidierung des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Kinder.....	107
Tab. 10.4.1	Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für Quecksilber im Blut der Erwachsenen.....	108
Tab. 10.4.2	Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für Quecksilber im Blut der Kinder.....	109

### 9.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 6.1.1	Regressionsmodelle für den Quecksilbergehalt im Urin von Erwachsenen und Kindern - Vergleich der Varianzkomponenten .....	35
Abb. 6.1.2	Effekt des Creatinins im Urin in den Regressionsmodellen für Kinder und Erwachsene (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Urin mit 95%-Konfidenzintervall).....	41
Abb. 6.1.3	Effekt der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen in den Regressionsmodellen für Erwachsene und Kinder (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Urin mit 95%-Konfidenzintervall).....	43
Abb. 6.1.4	Effekt des Alters der letzten Amalgamfüllung im Regressionsmodell für Erwachsene (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Urin mit 95%-Konfidenzintervall) .....	43
Abb. 6.1.5	Regressionsfunktion des Quecksilbergehaltes im Urin der Erwachsenen nach Geschlecht, Lebensalter und Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen .....	47
Abb. 6.1.6	Regressionsfunktion des Quecksilbergehaltes im Urin der Kinder nach Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen, alte/neue Länder und Wohngebiet .....	58
Abb. 6.2.1	Effekt der Häufigkeit des Fischkonsums in den Regressionsmodellen für Erwachsene aus den alten und neuen Bundesländern und Kinder aus den alten Bundesländern (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Blut mit 95%-Konfidenzintervall) .....	77
Abb. 6.2.2	Effekt der Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen in den Regressionsmodellen für Kinder aus den alten und neuen Bundesländern (mittlere relative Zunahme des Quecksilbergehaltes im Blut mit 95%-Konfidenzintervall) .....	78

**10 Anhang**

## 10.1 Deskription von Quecksilber im Blut und im Urin der deutschen Allgemeinbevölkerung gegliedert nach den Prädiktoren der Regressionsmodelle - gewichtete Daten

### Erläuterungen zu den Tabellen 10.1.1 bis 10.1.4

- **Datengewichtung**

Abweichungen in der proportionalen Verteilung der Merkmale Alter, Geschlecht, Gemeindegrößenklasse und alte/neue Länder zwischen der realisierten Stichprobe und der Grundgesamtheit werden ausgeglichen, indem die Probanden der Stichprobe gewichtet wurden. Der durch die Gewichtung erzielte Effekt ist vor allem in der „Abwertung“ der in der Stichprobe überrepräsentierten neuen Bundesländer zu sehen, die bei gesamtdeutschen Auswertungen notwendig ist. Zum Beispiel sind unter den 4002 Erwachsenen mit Quecksilbermeßwerten im Urin 1494 aus den neuen Ländern. Durch Gewichtung reduziert sich diese Zahl auf 828 entsprechend dem Anteil Ostdeutscher an der deutschen Bevölkerung des entsprechenden Altersbereichs.

- **Stichprobenumfang**

Differenzen zwischen der Summe der Teilstichprobenumfänge - z.B. der Männer und der Frauen - und dem Gesamtstichprobenumfang treten infolge von Rundungsungenauigkeiten auf oder wenn die entsprechende Frage von mehreren Probanden nicht beantwortet wurde bzw. werden konnte.

- **Stichprobenverteilung**

Zur Beschreibung der Stichprobenverteilung sind fünf Perzentile (10., 50., 90., 95. und 98.) und der Maximalwert tabelliert. Das m-te Perzentil ist so definiert, daß m % der Stichprobenwerte kleiner und (100-m) % der Stichprobenwerte größer sind, wobei m eine natürliche Zahl unter 100 ist. Bei sehr kleinem Stichprobenumfang können obere Perzentile, insbesondere das 98. Perzentil, nicht berechnet werden.

- **Lagemaße**

Zur Beschreibung der „durchschnittlichen Lage“ der Daten werden neben dem Median (50. Perzentil) das arithmetische Mittel und das geometrische Mittel tabelliert. Das arithmetische bzw. geometrische Mittel sind definiert als durch n dividierte Summe der Meßwerte bzw. als n-te Wurzel aus dem Produkt der Meßwerte, wobei n der Stichprobenumfang ist. Von den drei Lagemaßen wird das geometrische Mittel präferiert, da es im Unterschied zum Median alle Meßwerte berücksichtigt und im Unterschied zum arithmetischen Mittel bedeutend robuster gegenüber Ausreißern im Datenmaterial ist.

- **Konfidenzintervall des geometrischen Mittels**

Da das geometrische Mittel der Stichprobe nur einen Schätzwert des geometrischen Mittels der Population darstellt, wird zur Beschreibung des Schätzfehlers ein 95%-Konfidenzintervall angegeben. Es wird nach der Formel  $(GM \cdot SE^{-z}, GM \cdot SE^{+z})$  berechnet. Hierbei ist SE der Standardfehler des geometrischen Mittels und z das 0,975-Quantil der t-Verteilung mit n-1 Freiheitsgraden (n=Stichprobenumfang), welches für großes n etwa dem 0,975-Quantil der standardisierten Normalverteilung, also dem Wert 1,96, entspricht. Die Intervallbreite nimmt mit steigendem Stichprobenumfang ab und spiegelt die Streuung der Meßwerte wider.

- **Zusätzliche Informationen**

Im Band Ia zum Umwelt-Survey 1990/92 (Krause et al. 1996) sind Datengewichtung und statistische Kennwerte genauer beschrieben sowie die Verteilungen der Quecksilberkonzentrationen grafisch dargestellt. Dort sind auch weitere Gliederungsmerkmale tabelliert.



Tab.10.1.1 Quecksilber im Urin ( $\mu\text{g/l}$ ) gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells für Erwachsene (25-69 Jahre) - gewichtete Daten

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI GM
Deutschland	4002	785	<0,2	0,5	2,6	3,9	6,0	53,9	1,11	0,54	0,52 - 0,56
<b>Geschlecht *</b>											
Männer	1955	368	<0,2	0,5	2,3	3,2	5,3	29,9	0,97	0,50	0,48 - 0,53
Frauen	2047	418	<0,2	0,6	3,0	4,4	6,7	53,9	1,24	0,57	0,54 - 0,60
<b>Lebensalter **</b>											
25-29 Jahre	539	26	0,3	1,3	4,8	6,6	9,7	29,9	2,21	1,27	1,16 - 1,40
30-39 Jahre	951	102	<0,2	0,9	3,5	5,3	7,0	20,7	1,52	0,83	0,77 - 0,89
40-49 Jahre	829	121	<0,2	0,6	2,1	2,8	4,0	27,8	0,99	0,57	0,53 - 0,61
50-59 Jahre	943	251	<0,2	0,4	1,4	2,3	3,1	10,1	0,63	0,36	0,34 - 0,39
60-69 Jahre	740	285	<0,2	0,2	0,9	1,4	2,1	53,9	0,54	0,26	0,24 - 0,27
<b>Schulabschluß *</b>											
keiner o. Volks-/Hauptsch.	2220	567	<0,2	0,4	1,8	2,8	4,2	14,5	0,77	0,40	0,38 - 0,42
Realschule, mittl. Reife	972	114	<0,2	0,8	3,2	4,9	7,1	53,9	1,49	0,77	0,71 - 0,83
Fachhochschulreife, Abitur	769	94	<0,2	0,9	3,8	5,6	8,6	29,9	1,64	0,81	0,74 - 0,88
<b>Anzahl Zähne mit Amalgamfüllungen **</b>											
0 Zähne	1303	463	<0,2	0,3	1,0	1,5	2,5	53,9	0,54	0,28	0,26 - 0,29
1-2 Zähne	451	104	<0,2	0,4	1,4	2,2	3,8	10,1	0,69	0,40	0,36 - 0,44
3-4 Zähne	750	107	<0,2	0,6	2,2	3,2	4,8	19,5	0,99	0,58	0,53 - 0,62
5-6 Zähne	605	45	0,2	1,0	3,3	5,0	6,4	29,9	1,58	0,91	0,84 - 0,99
7 und mehr Zähne	722	33	0,3	1,4	5,0	6,4	10,3	26,7	2,22	1,30	1,20 - 1,41
<b>Alter der letzten Amalgamfüllung **</b>											
0-5 Monate	189	10	0,3	1,1	4,8	7,6	14,4	26,7	2,07	1,10	0,93 - 1,29
6-11 Monate	150	12	0,2	0,9	3,5	4,7	7,0	10,5	1,49	0,88	0,73 - 1,04
1 Jahr	353	25	0,2	1,0	3,6	5,3	7,3	10,5	1,57	0,92	0,82 - 1,03
2 Jahre	361	43	<0,2	0,9	3,2	4,9	6,6	27,8	1,50	0,81	0,72 - 0,91
3 Jahre	235	20	0,2	0,7	3,0	4,3	6,6	14,5	1,20	0,68	0,59 - 0,77
4 Jahre	139	20	<0,2	0,7	2,9	4,9	6,0	6,2	1,17	0,66	0,55 - 0,80
mehr als 4 Jahre	631	124	<0,2	0,5	1,9	2,8	4,3	13,3	0,90	0,50	0,46 - 0,54
<b>Body Mass Index **</b>											
unter 24 $\text{kg/m}^2$	1192	163	<0,2	0,9	4,1	5,4	8,3	21,2	1,64	0,82	0,77 - 0,89
24 bis unter 30 $\text{kg/m}^2$	2003	410	<0,2	0,5	2,0	2,9	4,6	53,9	0,95	0,49	0,47 - 0,51
ab 30 $\text{kg/m}^2$	783	212	<0,2	0,3	1,4	2,3	3,9	29,9	0,72	0,35	0,33 - 0,38
<b>Creatinin im Urin **</b>											
unter 1 $\text{g/l}$	982	386	<0,2	0,2	1,1	1,6	2,3	53,9	0,53	0,26	0,25 - 0,28
1 bis unter 1,5 $\text{g/l}$	1112	240	<0,2	0,4	1,8	2,7	3,6	19,5	0,81	0,44	0,41 - 0,47
1,5 bis unter 2 $\text{g/l}$	901	108	<0,2	0,7	2,9	3,7	5,5	10,1	1,18	0,68	0,63 - 0,73
ab 2 $\text{g/l}$	1006	51	0,3	1,1	4,7	6,2	9,7	29,9	1,95	1,09	1,02 - 1,17

**Anmerkungen:** \* = Merkmal als bedeutsamer Prädiktor im Regressionsmodell enthalten;

\*\* = Merkmal in Regressionsanalysen nicht kategorisiert, sondern als metrische Variable verwendet;

N = Stichprobenumfang; n < BG = Anzahl Werte unter Bestimmungsgrenze von 0,2  $\mu\text{g/l}$ ; 10, 50, 90, 95, 98 = Perzentile;

MAX = Maximalwert; AM = arithmetisches Mittel; GM = geometrisches Mittel;

KI GM = approximatives 95%-Konfidenzintervall für GM; Werte unter BG sind als BG/2 berücksichtigt;

**Quelle:** UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Tab. 10.1.2 Quecksilber im Urin ( $\mu\text{g/l}$ ) gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells für Kinder (6-14 Jahre) - gewichtete Daten

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI GM
Deutschland	732	138	<0,2	0,5	2,8	3,9	6,0	60,1	1,24	0,54	0,50 - 0,59
Alte / Neue Länder *											
Alte Länder	525	128	<0,2	0,4	2,1	3,0	4,5	6,4	0,83	0,43	0,39 - 0,47
Neue Länder	208	10	0,2	0,9	4,0	6,3	13,8	60,1	2,28	0,99	0,84 - 1,16
Wohngebiet *											
ländlich, vorstädtisch	541	116	<0,2	0,5	2,5	3,6	5,1	8,5	0,95	0,49	0,44 - 0,54
städtisch	184	20	<0,2	0,7	3,6	6,1	15,8	60,1	2,10	0,76	0,63 - 0,92
Anzahl Zähne mit Amalgamfüllungen **											
0 Zähne	295	95	<0,2	0,3	1,0	1,5	2,1	3,6	0,43	0,27	0,24 - 0,30
1-2 Zähne	174	27	<0,2	0,5	1,7	2,7	6,4	16,1	0,89	0,48	0,41 - 0,56
3-4 Zähne	151	14	0,2	1,1	3,1	4,0	5,5	6,1	1,41	0,91	0,77 - 1,08
ab 5 Zähne	112	2	0,6	2,1	5,9	11,5	33,5	60,1	3,70	2,07	1,72 - 2,50
Creatinin im Urin **											
unter 1 g/l	126	37	<0,2	0,3	2,1	2,8	3,9	6,4	0,75	0,37	0,30 - 0,46
1 bis unter 1,5 g/l	262	51	<0,2	0,5	2,1	3,3	4,4	6,3	0,92	0,51	0,44 - 0,58
1,5 bis unter 2 g/l	185	30	<0,2	0,5	3,4	5,2	12,0	16,1	1,37	0,61	0,51 - 0,73
ab 2 g/l	159	21	<0,2	0,7	3,7	5,7	12,8	60,1	2,02	0,71	0,58 - 0,87

Anmerkungen: \* = Merkmal als bedeutsamer Prädiktor im Regressionsmodell enthalten;

° = Merkmal in Regressionsanalysen nicht kategorisiert, sondern als metrische Variable verwendet;

N = Stichprobenumfang; n < BG = Anzahl Werte unter Bestimmungsgrenze von 0,2  $\mu\text{g/l}$ ; 10, 50, 90, 95, 98 = Perzentile;

MAX = Maximalwert; AM = arithmetisches Mittel; GM = geometrisches Mittel;

KI GM = approximatives 95%-Konfidenzintervall für GM; Werte unter BG sind als BG/2 berücksichtigt.

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Tab.10.1.3: Quecksilber im Blut ( $\mu\text{g/l}$ ) gegliedert nach den Prädiktoren der Regressionsmodelle für Erwachsene (25-69 Jahre) aus den alten und den neuen Ländern - gewichtete Daten

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI GM
<b>Alte/neue Bundesländer</b>											
Alte Bundesländer	3136	592	<0,2	0,5	1,6	2,1	3,1	12,2	0,74	0,46	0,45 - 0,48
Neue Bundesländer	822	40	0,3	0,8	1,6	2,0	2,7	9,1	0,91	0,71	0,67 - 0,75
<b>Häufigkeit des Fischkonsums °</b>											
<b>Alte Bundesländer *</b>											
max. 1 mal / Monat	1028	247	<0,2	0,4	1,2	1,7	2,1	4,3	0,56	0,37	0,35 - 0,39
2-3 mal / Monat	870	157	<0,2	0,5	1,5	1,9	3,3	6,4	0,73	0,47	0,44 - 0,50
min. 1 mal / Woche	1236	189	<0,2	0,6	1,9	2,5	3,7	12,2	0,89	0,56	0,53 - 0,59
<b>Neue Bundesländer *</b>											
max. 1 mal / Monat	175	11	0,2	0,7	1,3	1,6	1,8	3,0	0,73	0,59	0,53 - 0,66
2-3 mal / Monat	254	11	0,3	0,7	1,5	1,7	2,4	6,7	0,84	0,67	0,62 - 0,73
min. 1 mal / Woche	393	17	0,3	0,9	1,8	2,4	3,7	9,1	1,04	0,80	0,74 - 0,86
<b>Haushaltseinkommen °</b>											
<b>Alte Bundesländer *</b>											
unter 2000 DM	566	117	<0,2	0,4	1,4	1,8	2,5	5,0	0,64	0,42	0,39 - 0,45
2000 bis unter 3000 DM	813	175	<0,2	0,5	1,5	1,8	3,0	12,2	0,69	0,43	0,40 - 0,46
3000 bis unter 4000 DM	707	126	<0,2	0,5	1,6	2,1	2,8	6,2	0,71	0,45	0,42 - 0,49
ab 4000 DM	892	136	<0,2	0,6	1,9	2,5	3,8	7,7	0,87	0,55	0,51 - 0,58
<b>Neue Bundesländer</b>											
unter 2000 DM	344	14	0,3	0,7	1,6	1,9	2,9	9,1	0,90	0,70	0,65 - 0,75
2000 bis unter 3000 DM	308	19	0,3	0,8	1,7	2,0	2,5	6,7	0,91	0,71	0,65 - 0,77
3000 bis unter 4000 DM	117	4	0,3	0,8	1,7	2,1	3,7	5,9	0,93	0,72	0,63 - 0,83
ab 4000 DM	45	2	0,3	0,9	1,9	3,1		5,2	1,01	0,78	0,62 - 0,97
<b>Gemeindegrößenklasse</b>											
<b>Alte Bundesländer *</b>											
unter 100 000 Einw.	2117	435	<0,2	0,5	1,5	1,8	2,5	12,2	0,65	0,42	0,40 - 0,44
100 000 und mehr Einw.	1019	158	<0,2	0,6	2,0	2,8	3,9	6,4	0,91	0,57	0,53 - 0,61
<b>Neue Bundesländer</b>											
unter 100 000 Einw.	598	26	0,3	0,8	1,7	1,9	2,6	9,1	0,91	0,72	0,67 - 0,76
100 000 und mehr Einw.	224	13	0,3	0,8	1,6	2,1	3,1	6,7	0,91	0,69	0,63 - 0,77

**Anmerkungen:**

\* = Merkmal als bedeutsamer Prädiktor im Regressionsmodell enthalten;

° = Merkmal in Regressionsanalysen nicht kategorisiert, sondern als metrische (bzw. metrisierte) Variable verwendet;

N = Stichprobenumfang; n < BG = Anzahl Werte unter Bestimmungsgrenze von 0,2  $\mu\text{g/l}$ ; 10, 50, 90, 95, 98 = Perzentile;

MAX = Maximalwert; AM = arithmetisches Mittel; GM = geometrisches Mittel;

KI GM = approximatives 95%-Konfidenzintervall für GM; Werte unter BG sind als BG/2 berücksichtigt.

Bei den Kennwerten des Ost-Surveys ist mit einer Abweichung von 0,2  $\mu\text{g/l}$  nach oben zu rechnen (s. Kap.4.3).

**Quelle:**

UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

**Tab.10.1.4:** Quecksilber im Blut ( $\mu\text{g/l}$ ) gegliedert nach den Prädiktoren der Regressionsmodelle für Kinder (6-14 Jahre) aus den alten und den neuen Ländern - gewichtete Daten

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI GM
<b>Alte / Neue Bundesländer</b>											
Alte Bundesländer	509	205	<0,2	0,3	0,9	1,2	1,6	2,1	0,39	0,26	0,24 - 0,28
Neue Bundesländer	202	15	0,2	0,6	1,3	1,6	2,3	4,5	0,75	0,59	0,54 - 0,65
<b>Geschlecht</b>											
<b>Alte Bundesländer *</b>											
Jungen	262	93	<0,2	0,3	1,0	1,4	1,8	2,1	0,43	0,29	0,26 - 0,32
Mädchen	247	112	<0,2	0,2	0,8	1,0	1,5	1,8	0,35	0,24	0,21 - 0,26
<b>Neue Bundesländer</b>											
Jungen	104	8	0,3	0,6	1,2	1,3	1,7	1,9	0,68	0,57	0,50 - 0,65
Mädchen	98	7	0,3	0,6	1,5	2,3	3,7	4,5	0,82	0,62	0,53 - 0,72
<b>Häufigkeit des Fischkonsums °</b>											
<b>Alte Bundesländer *</b>											
max. 1 mal / Monat	169	83	<0,2	0,2	0,8	1,3	1,7	1,8	0,36	0,23	0,20 - 0,26
2-3 mal / Monat	149	65	<0,2	0,2	0,9	1,5	1,7	2,1	0,38	0,24	0,21 - 0,28
min. 1 mal / Woche	189	56	<0,2	0,3	0,8	1,1	1,5	2,1	0,43	0,30	0,27 - 0,34
<b>Neue Bundesländer</b>											
max. 1 mal / Monat	66	5	0,3	0,6	1,2	1,6	3,5	3,5	0,70	0,549	0,46 - 0,66
2-3 mal / Monat	78	5	0,3	0,6	1,2	1,6	2,8	3,4	0,72	0,593	0,511 - 0,69
mind. 1 mal / Woche	55	5	0,3	0,7	1,4	1,9	4,5	4,5	0,83	0,634	0,516 - 0,78
<b>Anzahl Zähne mit Amalgamfüllungen °</b>											
<b>Alte Bundesländer *</b>											
0 Zähne	239	101	<0,2	0,2	0,8	1,2	1,6	2,1	0,38	0,25	0,22 - 0,28
1-2 Zähne	121	52	<0,2	0,2	0,8	1,0	1,8	2,1	0,36	0,24	0,20 - 0,28
3-4 Zähne	89	31	<0,2	0,3	1,0	1,0	1,4	1,5	0,38	0,27	0,23 - 0,32
ab 5 Zähne	61	20	<0,2	0,4	1,5	1,6	1,8	1,8	0,52	0,33	0,26 - 0,42
<b>Neue Bundesländer *</b>											
0 Zähne	46	5	<0,2	0,6	1,0	1,1	1,7	1,9	0,57	0,46	0,38 - 0,57
1-2 Zähne	50	5	<0,2	0,6	1,2	1,5	4,5	4,5	0,70	0,52	0,42 - 0,65
3-4 Zähne	58	2	0,3	0,7	1,2	1,4	2,2	2,3	0,73	0,63	0,54 - 0,74
ab 5 Zähne	48	2	0,3	0,7	1,7	3,4		3,5	0,99	0,79	0,65 - 0,96

**Anmerkungen:**

\* = Merkmal als bedeutsamer Prädiktor im Regressionsmodell enthalten;

° = Merkmal in Regressionsanalysen nicht kategorisiert, sondern als metrische (bzw. metrisierte) Variable verwendet;

N = Stichprobenumfang; n < BG = Anzahl Werte unter Bestimmungsgrenze von 0,2  $\mu\text{g/l}$ ; 10, 50, 90, 95, 98 = Perzentile;

MAX = Maximalwert; AM = arithmetisches Mittel; GM = geometrisches Mittel;

KI GM = approximatives 95%-Konfidenzintervall für GM; Werte unter BG sind als BG/2 berücksichtigt.

Bei den Kennwerten des Ost-Surveys ist mit einer Abweichung von 0,2  $\mu\text{g/l}$  nach oben zu rechnen (s. Kap.4.3).

**Quelle:**

UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Tab.10.1.4: Fortsetzung

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI GM
<b>Körperliche Betätigung im Freien</b>											
<b>Alte Bundesländer *</b>											
seltener	77	22	<0,2	0,4	0,9	1,5	1,7	1,8	0,49	0,34	0,28 - 0,42
häufiger	432	182	<0,2	0,2	0,8	1,1	1,6	2,1	0,38	0,25	0,23 - 0,27
<b>Neue Bundesländer</b>											
seltener	41	3	0,3	0,6	1,5	2,2		3,4	0,73	0,56	0,45 - 0,70
häufiger	159	12	0,3	0,6	1,2	1,6	3,0	4,5	0,75	0,60	0,53 - 0,67
<b>Einzelne zu bedienende Öfen</b>											
<b>Alte Bundesländer</b>											
nicht vorhanden	396	150	<0,2	0,3	0,8	1,3	1,7	2,1	0,41	0,27	0,25 - 0,30
vorhanden	113	55	<0,2	0,2	0,7	1,0	1,5	1,5	0,34	0,23	0,19 - 0,27
<b>Neue Bundesländer *</b>											
nicht vorhanden	134	12	0,3	0,6	1,2	1,5	1,9	2,3	0,68	0,55	0,49 - 0,62
vorhanden	66	2	0,3	0,7	1,4	3,4	4,3	4,5	0,89	0,69	0,59 - 0,81
<b>Bebauungsart</b>											
<b>Alte Bundesländer *</b>											
Blockbebauung ohne Grün	17	2	<0,2	0,5	1,5			1,8	0,60	0,46	0,31 - 0,67
andere Bebauungsarten	490	200	<0,2	0,3	0,8	1,1	1,6	2,1	0,39	0,26	0,24 - 0,28
<b>Neue Bundesländer</b>											
Blockbebauung ohne Grün	11	0	0,3	0,5	3,5			3,5	0,98	0,65	0,49 - 0,62
andere Bebauungsarten	185	14	0,3	0,6	1,2	1,5	2,2	4,5	0,73	0,59	0,59 - 0,81

Anmerkungen:

\* = Merkmal als bedeutsamer Prädiktor im Regressionsmodell enthalten;

° = Merkmal in Regressionsanalysen nicht kategorisiert, sondern als metrische (bzw. metrisierte) Variable verwendet;

N = Stichprobenumfang; n &lt; BG = Anzahl Werte unter Bestimmungsgrenze von 0,2 µg/l; 10, 50, 90, 95, 98 = Perzentile;

MAX = Maximalwert; AM = arithmetisches Mittel; GM = geometrisches Mittel;

KI GM = approximatives 95%-Konfidenzintervall für GM; Werte unter BG sind als BG/2 berücksichtigt.

Bei den Kennwerten des Ost-Surveys ist mit einer Abweichung von 0,2 µg/l nach oben zu rechnen (s.Kap.4.3).

Quelle:

UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

### Anhang 10.2 Regressionsanalysen für Quecksilber im Urin der Erwachsenen - zusätzliche statistische Kennwerte

Tab. 10.2.1: Kennwerte der Variablen des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Erwachsenen

Variable	N	Min.	10.P	Median	90.P	Max.	AM	s
y Quecksilber im Urin ( $\mu\text{g/l}$ ) *	3795	<0,2	<0,2	0,6	2,7	53,9	1,16	2,01
$x_1$ Creatinin im Urin ( $\text{g/l}$ )	3795	0,1	0,7	1,5	2,6	5,7	1,59	0,73
$x_2$ Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	3795	0	0	3	10	32	4,0	4,1
$x_3$ Lebensalter	3795	25	28	44	62	69	45,0	12,4
$x_4$ Body Mass Index ( $\text{kg/m}^2$ )	3795	15,0	21,5	26,1	32,5	75,5	26,65	4,64
$x_7$ Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung ( $x_7 = 1 / (1 + \text{Alter in Monaten})$ ; $x_7 = 0$ , falls keine Amalgamfüllung)	3795	0	0	0,02	0,14	1,00	0,05	0,10
$x_5$ Schulabschluß: keiner oder Hauptschule (N=2002); Mittlere Reife (N=1091); Abitur (N=702)	3795							
$x_6$ Geschlecht: weiblich (N=1920); männlich (N=1875)	3795							

Anmerkung: \* Die Regressionsanalysen wurden mit logarithmierten Quecksilbermeßwerten durchgeführt; Meßwerte unter der Bestimmungsgrenze von  $0,2 \mu\text{g/l}$  wurden als BG/2 berücksichtigt; N= Stichprobenumfang; 10.P, 90.P = Perzentile; AM = arithmetisches Mittel; s = Standardabweichung.

Tab. 10.2.2: Interkorrelationsmatrix der Variablen des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Erwachsenen

	Teilkollektiv	ln(HgU)	Creatinin	Anzahl Zähne Amalgam	Lebensalter	BMI	Schulabschluss	Geschlecht	Transf. Alter Amalgamfüllung	Städtisches Wohngebiet
x <sub>1</sub> Creatinin im Urin	Deutschland Alte Länder Neue Länder	0,45 0,44 0,48								
x <sub>2</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüll.	Deutschland Alte Länder Neue Länder	0,45 0,46 0,43	0,15 0,14 0,15							
x <sub>3</sub> Lebensalter	Deutschland Alte Länder Neue Länder	-0,43 -0,45 -0,40	-0,35 -0,36 -0,34	-0,36 -0,38 -0,34						
x <sub>4</sub> Body Mass Index	Deutschland Alte Länder Neue Länder	-0,24 -0,26 -0,22	-0,12 -0,13 -0,12	-0,15 -0,17 -0,14	0,28 0,30 0,26					
x <sub>5</sub> Schulabschluss	Deutschland Alte Länder Neue Länder	0,26 0,24 0,30	0,17 0,13 0,24	0,22 0,18 0,29	-0,36 -0,31 -0,46	-0,25 -0,26 -0,24				
x <sub>6</sub> Geschlecht (weibl. - männl.)	Deutschland Alte Länder Neue Länder	-0,09 -0,05 -0,16	0,19 0,23 0,14	-0,02 0,01 -0,06	0,00 -0,01 0,00	0,05 0,08 0,02	0,07 0,09 0,05			
x <sub>7</sub> Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung	Deutschland Alte Länder Neue Länder	0,22 0,24 0,26	0,09 0,10 0,06	0,34 0,34 0,42	-0,17 -0,20 -0,21	-0,05 -0,11 -0,07	0,10 0,08 0,12	-0,01 0,03 -0,03		
-- Städtisches Wohngebiet	Deutschland Alte Länder Neue Länder	0,07 0,09 0,04	0,07 0,04 0,08	0,03 0,03 -0,01	-0,05 -0,07 -0,02	-0,07 -0,07 -0,11	0,14 0,13 0,15	0,02 0,04 -0,01	0,05 0,06 -0,03	
-- Alte/Neue Länder	Deutschland	0,05	0,07	0,07	0,01	0,07	0,04	-0,02	0,34	0,16

Anmerkung: Die Matrix umfaßt auch alle Prädiktoren, die nur im Regressionsmodell der Kinder signifikant sind. Infolgedessen reduziert sich die Anzahl der den Berechnungen zugrunde liegenden vollständigen Datensätze etwas, was sich aber auf die Korrelationskoeffizienten nicht nennenswert auswirkt.

Tab. 10.2.3: Zusätzliche Kennwerte des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Erwachsenen

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	Sign. B	Part. Korr.	Partial Korr.
x <sub>1</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	0,574	0,022	0,531; 0,616	0,0000	0,33	0,40
x <sub>2</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	0,083	0,004	0,075; 0,090	0,0000	0,26	0,32
x <sub>3</sub> Lebensalter (in Jahren)	-0,014	0,001	-0,016; -0,011	0,0000	-0,12	-0,16
x <sub>4</sub> Body Mass Index (in kg/m <sup>2</sup> )	-0,021	0,003	-0,027; -0,014	0,0000	-0,08	-0,10
x <sub>5</sub> Schulabschluß (dreistufig)	0,109	0,021	0,069; 0,149	0,0000	0,07	0,09
x <sub>6</sub> Geschlecht	-0,360	0,030	-0,418; -0,302	0,0000	-0,15	-0,19
x <sub>7</sub> Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung	0,661	0,158	0,350; 0,971	0,0000	0,05	0,07
Konstante	-0,544	0,118	-0,776; -0,312	0,0000		

**Anmerkungen:** B = Regressionsparameter für die Regressionsfunktion von ln(HgU);  
 SE(B) = Standardfehler des Regressionsparameters B;  
 KI(B) = 95%-Konfidenzintervall des Regressionsparameters B;  
 Part. Korr. = Semipartialkorrelationskoeffizient (Korrelation des Kriteriums mit dem Prädiktor, der bezüglich aller übrigen Prädiktoren residualisiert wurde);  
 Partial Korr. = Partialkorrelation (Korrelation von Prädiktor und Kriterium, wenn alle linearen Effekte der übrigen Prädiktoren sowohl aus diesem Prädiktor als auch aus dem Kriterium rechnerisch entfernt wurden).

Tab. 10.2.4: Kreuzvalidierung des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Erwachsenen (N=3795)

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 1905)	Teilstichprobe B (N = 1890)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben</b>	Prädiktoren von Regressionsmodell A: - Creatinin im Urin (signifikant) - Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen (signifikant) - Lebensalter (signifikant) - Body Mass Index (signifikant) - Schulabschluß (signifikant) - Geschlecht (signifikant) - Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung (signifikant)	Prädiktoren von Regressionsmodell B: - Creatinin im Urin (signifikant) - Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen (signifikant) - Lebensalter (signifikant) - Body Mass Index (signifikant) - Schulabschluß (signifikant) - Geschlecht (signifikant) - Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung (signifikant)
	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100\% = 41,7\%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100\% = 42,7\%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100\% = 41,0\%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100\% = 41,9\%$

**Anmerkungen:** Für jede nach dem Zufallsprinzip gebildete Teilstichprobe wurde ein Regressionsmodell berechnet. Die beiden Modelle enthielten die gleichen Prädiktoren. Anschließend wurden die Varianzaufklärungsraten des zur Teilstichprobe A (bzw. B) gehörenden Modells für die Daten der Teilstichprobe B (bzw. A) berechnet (vgl. z.B. Bortz 1993).



### Anhang 10.3 Regressionsanalysen für Quecksilber im Urin der Kinder - zusätzliche statistische Kennwerte

Tab. 10.3.1: Kennwerte der Variablen des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Kinder

Variable	N	Min	10.P	Median	90.P	Max.	AM	s
y Quecksilber im Urin ( $\mu\text{g/l}$ ) *	716	<0,2	<0,2	0,6	3	60,1	1,3	2,83
x <sub>1</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	716	0	0	2	5	12	2,2	2,4
x <sub>3</sub> Creatinin im Urin (g/l)	716	0,1	0,8	1,5	2,3	4,0	1,55	0,62
x <sub>2</sub> Alte / Neue Länder: Alte Länder (N=448); Neue Länder (N=268)	716							
x <sub>4</sub> Städtische Wohngegend: ländlich, vorstädtisch (N=524); städtisch (N=192)	716							

**Anmerkung:** \* Die Regressionsanalysen wurden mit logarithmierten Quecksilbermeßwerten durchgeführt; Meßwerte unter der Bestimmungsgrenze von 0,2  $\mu\text{g/l}$  wurden als BG/2 berücksichtigt; N = Stichprobenumfang; Min. = Minimum; 10.P = 10. Perzentil; 90.P = 90. Perzentil; Max. = Maximum; AM = arithmetisches Mittel; s = Standardabweichung.

Tab. 10.3.2: Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für Quecksilber im Urin der Kinder

	Teil- kollektiv	ln(HgU)	Crea- tinin	Anzahl Zähne Amal- gam	Lebens- alter	BMI	Ge- schlecht	Transf. Alter Amalg- füllung	städti- sches Wohn- gebiet
x <sub>3</sub> Creatinin im Urin	Deutschland Alte Länder Neue Länder	<b>0,19</b> 0,11 0,28							
x <sub>1</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüll.	Deutschland Alte Länder Neue Länder	<b>0,63</b> 0,57 0,65	<b>0,09</b> -0,01 0,19						
-- Lebensalter	Deutschland Alte Länder Neue Länder	<b>0,08</b> 0,04 0,10	<b>0,35</b> 0,36 0,33	<b>0,16</b> 0,16 0,14					
-- Body Mass Index	Deutschland Alte Länder Neue Länder	-0,02 -0,06 0,02	<b>0,11</b> 0,08 0,17	<b>0,09</b> 0,11 0,01	<b>0,45</b> 0,42 0,53				
-- Geschlecht (weiblich - männlich)	Deutschland Alte Länder Neue Länder	-0,09 -0,08 -0,12	<b>0,02</b> 0,03 -0,01	<b>-0,07</b> -0,07 -0,09	<b>0,03</b> 0,08 -0,07	<b>0,01</b> 0,06 -0,10			
-- Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung	Deutschland Alte Länder Neue Länder	<b>0,38</b> 0,37 0,30	<b>0,03</b> 0,01 0,03	<b>0,55</b> 0,59 0,43	<b>0,01</b> 0,01 -0,02	<b>0,01</b> 0,02 -0,03	<b>-0,09</b> -0,09 -0,09		
x <sub>4</sub> Städtisches Wohngebiet	Deutschland Alte Länder Neue Länder	<b>0,17</b> 0,03 0,14	<b>0,03</b> 0,01 0,00	<b>0,09</b> -0,05 0,10	<b>-0,06</b> -0,07 -0,11	<b>-0,10</b> -0,05 -0,23	<b>0,00</b> -0,01 0,00	<b>0,06</b> 0,02 -0,01	
x <sub>2</sub> Alte/Neue Länder	Deutschland	<b>0,34</b>	<b>0,07</b>	<b>0,25</b>	<b>0,06</b>	<b>0,04</b>	<b>0,01</b>	<b>0,19</b>	<b>0,30</b>

**Anmerkung:** Die Matrix umfaßt auch alle Prädiktoren, die nur im Regressionsmodell der Erwachsenen signifikant sind. Infolgedessen reduziert sich die Anzahl der den Berechnungen zugrunde liegenden vollständigen Datensätze etwas, was sich aber auf die Korrelationskoeffizienten nicht nennenswert auswirkt.

Tab. 10.3.3: Zusätzliche Kennwerte des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Kinder

Prädiktor	B	SE(B)	Konfidenzintervall für B	Sign. B	Part. Korr.	Partial Korr.
x <sub>1</sub> Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen	0,295	0,015	0,266; 0,324	0,0000	0,55	0,60
x <sub>2</sub> Alte Länder / Neue Länder	0,443	0,076	0,295; 0,592	0,0000	0,16	0,21
x <sub>3</sub> Creatinin im Urin (in g/l)	0,258	0,055	0,150; 0,366	0,0000	0,13	0,17
x <sub>4</sub> Städtisches Wohngebiet	0,174	0,080	0,016; 0,331	0,0311	0,06	0,08
Konstante	-1,776	0,096	-1,966; -1,587	0,0000		

**Anmerkungen:** B = Regressionsparameter für die Regressionsfunktion von ln(HgU);  
 SE(B) = Standardfehler des Regressionsparameters B;  
 KI(B) = 95%-Konfidenzintervall des Regressionsparameters B;  
 Part. Korr. = Semipartialkorrelationskoeffizient (Korrelation des Kriteriums mit dem Prädiktor, der bezüglich aller übrigen Prädiktoren residualisiert wurde);  
 Partial Korr. = Partialkorrelation (Korrelation von Prädiktor und Kriterium, wenn alle linearen Effekte der übrigen Prädiktoren sowohl aus diesem Prädiktor als auch aus dem Kriterium rechnerisch entfernt wurden).

Tab. 10.3.4: Kreuzvalidierung des Regressionsmodells für Quecksilber im Urin der Kinder (N=716)

Zufällig gebildete Teilstichproben	Teilstichprobe A (N=354)	Teilstichprobe B (N=362)
Regressionsmodelle für die Teilstichproben	Prädiktoren von Regressionsmodell A: - Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen (signifikant) - Alte Länder / Neue Länder (signifikant) - Creatinin im Urin (signifikant) - städtisches Wohngebiet (signifikant) Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100\% = 45,8\%$	Prädiktoren von Regressionsmodell B: - Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen (signifikant) - Alte Länder / Neue Länder (signifikant) - Creatinin im Urin (signifikant) - städtisches Wohngebiet (nicht signifikant) Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100\% = 47,0\%$
Kreuzvalidierung	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100\% = 44,4\%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100\% = 45,6\%$

**Anmerkungen:** Für jede nach dem Zufallsprinzip gebildete Teilstichprobe wurde ein Regressionsmodell berechnet. Die beiden Modelle enthielten die gleichen Prädiktoren, nur der Prädiktor städtisches Wohngebiet war in einem der beiden Modelle nicht signifikant. Anschließend wurden die Varianzaufklärungsrate des zur Teilstichprobe A (bzw. B) gehörenden Modells für die Daten der Teilstichprobe B (bzw. A) berechnet (vgl. z.B. Bortz 1993).

### Anhang 10.4 Regressionsanalysen für Quecksilber im Blut der Erwachsenen und der Kinder - zusätzliche statistische Kennwerte

Tab. 10.4.1 Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für Quecksilber im Blut der Erwachsenen

	Teilkollektiv	ln(HgB)	Häufigkeit Fischkonsum	Anzahl Zähne Amalgam	Haus-h.einkommen	Gemeinde 100000 (n./ja)	Blockbebau. o. Grün (ja/n.)	Einzelne Öfen (n./ja)	Geschlecht (w./m.)
Häufigkeit des Fischkonsums	Alte Länder *	0,17							
	Neue Länder *	0,15							
Anzahl Zähne mit Amalgamfüllungen	Alte Länder	0,10	-0,06						
	Neue Länder	0,07	-0,08						
Haushaltseinkommen	Alte Länder *	0,14	0,00	0,04					
	Neue Länder	0,03	-0,04	0,17					
Gemeindegröße ab 100 000 (nein/ja)	Alte Länder *	0,14	0,04	0,02	0,03				
	Neue Länder	-0,01	-0,05	0,03	0,16				
Blockbebauung ohne Grün (ja/nein)	Alte Länder	-0,02	-0,02	-0,04	0,07	-0,13			
	Neue Länder	0,03	-0,01	-0,02	0,04	-0,11			
Einzelne zu bedienende Öfen (nein/ja)	Alte Länder	-0,06	-0,03	0,02	-0,10	-0,10	-0,04		
	Neue Länder	-0,03	0,04	-0,07	-0,22	-0,13	-0,14		
Geschlecht (w./m.)	Alte Länder	0,03	0,05	-0,01	0,12	0,00	-0,04	0,00	
	Neue Länder	0,04	0,09	-0,08	0,12	-0,01	0,02	-0,02	
Alte / Neue Länder	Deutschland	0,22	0,14	0,07	-0,36	-0,05	-0,02	0,24	-0,02

Anmerkung: \* bedeutsamer Prädiktor im Regressionsmodell für das entsprechende Teilkollektiv.

Die Matrix umfaßt alle Prädiktoren, die in mindestens einem der Regressionsmodelle für Erwachsene oder Kinder aus den alten oder neuen Ländern bedeutsam sind. Infolgedessen reduziert sich die Anzahl der den Berechnungen zugrunde liegenden vollständigen Datensätze (verglichen mit der Fallzahl eines Modells) etwas, was sich aber auf die Korrelationskoeffizienten nicht nennenswert auswirkt.

Tab. 10.4.2 Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für Quecksilber im Blut der Kinder

	Teilkollektiv	ln(HgB)	Häufigkeit Fischkonsum	Anzahl Zähne Amalgam	Haush.einkommen	Gemeinde 100000 (n./ja)	Blockbebau. o. Grün (ja/n.)	Einzelne Öfen (n./ja)	Geschlecht (w./m.)	Körperl. Anstreng.
Häufigkeit des Fischkonsums	Alte Länder *	0,15								
	Neue Länder	0,06								
Anzahl Zähne mit Amalgamfüll.	Alte Länder *	0,12	-0,03							
	Neue Länder *	0,26	-0,05							
Haushaltseinkommen	Alte Länder	0,10	-0,17	-0,01						
	Neue Länder	0,05	-0,03	0,09						
Gemeindegröße ab 100 000 (nein/ja)	Alte Länder	0,06	0,01	-0,09	0,14					
	Neue Länder	-0,03	0,04	0,08	0,22					
Blockbebauung ohne Grün (ja/nein)	Alte Länder *	-0,12	-0,02	-0,01	0,16	0,01				
	Neue Länder	0,03	0,02	0,04	-0,08	-0,20				
Einzelne zu bedienende Öfen (nein/ja)	Alte Länder	-0,09	0,01	0,03	-0,10	-0,10	-0,06			
	Neue Länder *	0,12	-0,04	-0,01	-0,25	-0,05	-0,24			
Geschlecht (w./m.)	Alte Länder *	0,11	0,05	-0,07	0,00	0,01	-0,02	-0,01		
	Neue Länder	-0,06	-0,12	-0,10	-0,02	0,17	0,03	-0,07		
Körperl. Anstreng. im Freien	Alte Länder *	-0,13	0,14	-0,03	-0,20	0,04	-0,08	0,06	0,15	
	Neue Länder	0,04	0,03	-0,09	-0,01	-0,02	0,13	-0,08	0,32	
Alte / Neue Länder	Deutschland	0,43	-0,01	0,24	-0,45	0,02	-0,05	0,08	0,02	-0,09

Anmerkung: \* bedeutsamer Prädiktor im Regressionsmodell für das entsprechende Teilkollektiv.

Die Matrix umfaßt alle Prädiktoren, die in mindestens einem der Regressionsmodelle für Erwachsene oder Kinder aus den alten oder neuen Ländern bedeutsam sind. Infolgedessen reduziert sich die Anzahl der den Berechnungen zugrunde liegenden vollständigen Datensätze (verglichen mit der Fallzahl eines Modells) etwas, was sich aber auf die Korrelationskoeffizienten nicht nennenswert auswirkt.

## Anhang 10.5 Erläuterungen zu allen in den Regressionsanalysen benutzten Variablen

Individuelle Variablen

- 1) *Lebensalter:*  
Ausprägungen: metrisch [Jahre]  
im Modell für: Quecksilber im Urin (Erwachsene)
- 2) *Geschlecht:*  
Ausprägungen: 0: „weiblich“,  
 1: „männlich“  
im Modell für: Quecksilber im Urin (Erwachsene), Quecksilber im Blut (Kinder, alte Länder)
- 3) *Creatinin im Urin:* Creatiningehalt des Urins des Probanden  
Ausprägungen: metrisch [g/l]  
im Modell für: Quecksilber im Urin (Erwachsene, Kinder)
- 4) *Body Mass Index:* Körpergewicht dividiert durch das Quadrat der Körpergröße  
Ausprägungen: metrisch [kg/m<sup>2</sup>]  
im Modell für: Quecksilber im Urin (Erwachsene)

Amalgamfüllungen

- 5) *Anzahl der Zähne mit Amalgamfüllungen:*  
Ausprägungen: metrisch  
im Modell für: Quecksilber im Urin (Erwachsene, Kinder), Quecksilber im Blut (Kinder, alte und neue Länder)
- 6) *Transformiertes Alter der letzten Amalgamfüllung:*  
Ausprägungen: metrisch ( $1 / (1 + \text{Alter der letzten Amalgamfüllung [in Monaten]})$ ) bzw. 0 bei Probanden ohne Amalgamfüllung. Um auch die 11 % der Erwachsenen und 1 % der Kinder mit Quecksilbermeßwerten, die auf die Frage nach dem Alter der letzten Amalgamfüllung „weiß nicht“ geantwortet haben, in die Regressionsanalysen einbeziehen zu können, wurde nach folgender gebräuchlicher Verfahrensweise vorgegangen: Den 'Weiß nicht'-Angaben wurde das mittlere transformierte Alter der letzten Amalgamfüllung des entsprechenden Teilkollektivs (Erwachsene, Kinder, Ost, West) zugeordnet.  
im Modell für: Quecksilber im Urin (Erwachsene)
- 7) *Zahnarztbesuch in letzten 4 Wochen (nur Erwachsene):*  
Ausprägungen: 0: „nein“,  
 1: „ja“

Verhaltensweisen8) *Häufigkeit des Fischkonsums:*Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat]im Modell für: Quecksilber im Blut (Erwachsene, alte und neue Länder; Kinder, alte Länder)9) *Menge des Fischkonsums: (Diet History)*Ausprägungen: metrisch [g]im Modell für: Quecksilber im Blut (Erwachsene, Diet History)10-11) *Rauchstatus (nur Erwachsene):* Proband ist Nieraucher, Exraucher oder RaucherCodierte Variable: 0: „Nieraucher“,

1: „Exraucher oder Raucher“

Codierte Variable: 0: „Nieraucher oder Exraucher“,

1: „Raucher“

12) *Anzahl Zigaretten (nur Erwachsene):* Anzahl täglich gerauchter ZigarettenAusprägungen: metrisch13) *mittlere Alkoholmenge (nur Erwachsene):* mittlere pro Tag konsumierte Alkoholmenge des ProbandenAusprägungen: metrisch [g]14) *Buddeln, Graben, Höhlenbauen (nur Kinder):*Codierte Variable: 0: „nie“,

1: „selten oder (sehr) häufig“

Codierte Variable: 0: „nie oder selten“,

1: „(sehr) häufig“

15) *Aufenthaltsdauer im Grünen (nur Erwachsene):*Ausprägungen: metrisch [Minuten]16-17) *Aufenthalt im Grünen im Sommer (nur Kinder):*Codierte Variable: 0: „nie oder selten“,

1: „häufig oder sehr häufig“

Codierte Variable: 0: „nie oder selten oder häufig“,

1: „sehr häufig“

18) *Sportliche Betätigung (nur Erwachsene):* durchschnittlicher wöchentlicher Zeitaufwand für SportAusprägungen: 0: „bis 2 Stunden pro Woche“,

1: „über 2 Stunden pro Woche“

19) *Anstrengende Betätigung im Freien (nur Kinder):* Häufigkeit der Tätigkeiten Fahrrad, Roller, Skateboard fahren, Rollschuh laufen, Ball spielen, toben, rennen, klettern.Ausprägungen: 0: „seltener“,

1: „häufiger“

### Wohnungsumfeld

20) *Alte/Neue Länder:* Proband lebt in den alten bzw. neuen Bundesländern

Ausprägungen: 0: „Alte Länder“,  
1: „Neue Länder“

im Modell für: Quecksilber im Urin (Kinder)

21) *Küstenland:* Proband wohnt in einem an der Küste gelegenen Bundesland

Ausprägungen: 0: „Binnenland“,  
1: „Küstenland“

22-23) *Gemeindegröße:* Gemeindegrößenklasse der Gemeinde, in der Proband wohnt

Codierte Variable: 0: „unter 20 000 Einwohner“,  
1: „ab 20 000 Einwohner“

Codierte Variable: 0: „unter 100 000 Einwohner“,  
1: „ab 100 000 Einwohner“

im Modell für: Quecksilber im Blut (Erwachsene, alte Länder)

24-25) *Wohngebiet:* ländliches, vorstädtisches oder städtisches Wohngebiet

Codierte Variable: 0: „ländlich“,  
1: „vorstädtisch oder städtisch“

Codierte Variable: 0: „ländlich oder vorstädtisch“,  
1: „städtisch“

im Modell für: Quecksilber im Urin (Kinder)

26-28) *Wohnumgebung/Bebauungsart:*

Codierte Variable: 0: „Blockbebauung ohne Grün“,  
1: „andere Bebauungsarten“

im Modell für: Quecksilber im Blut (Kinder, alte Länder)

Codierte Variable: 0: „Blockbebauung ohne oder mit Grün“,  
1: „andere Bebauungsarten“

Codierte Variable: 0: „Blockbebauung ohne oder mit Grün bzw. aufgelockerte Bebauung“,  
1: „Ein-, Zweifamilienhäuser, Villenviertel“

29-31) *Gewerbe/Industrie in Wohnumgebung*: In 3 km Radius um die Wohnung des Probanden befinden sich Gewerbe- oder Industriebetriebe

Codierte Variable: 0: „kein Gewerbe“,  
1: „fast kein, wenig oder viel Gewerbe“

Codierte Variable: 0 „kein oder fast kein Gewerbe“,  
1: „wenig oder viel Gewerbe“

Codierte Variable: 0: „kein, fast kein oder wenig Gewerbe“,  
1: „viel Gewerbe“

32) *Kläranlagen/Deponien in Wohnumgebung*: In 3 km Radius um die Wohnung des Probanden befinden sich Kläranlagen oder Deponien

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“

33) *Müllverbrennungsanlagen in Wohnumgebung*: In 3 km Radius um die Wohnung des Probanden befinden sich Müllverbrennungsanlagen

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“

34) *Werkstätten max. 10 m vom Haus*: In max. 10 m Entfernung vom Wohnhaus des Probanden befinden sich Werkstätten

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“

35) *Schlechte Luftqualität durch Industrie/Gewerbe*: Einschätzung der Luftqualität in Wohnung und Wohnumgebung im Sommer und in der Heizperiode durch den erwachsenen Probanden

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“

36) *Schlechte Luftqualität durch private Verbraucher (Heizungen, Kamine)*: Einschätzung der Luftqualität in Wohnung und Wohnumgebung im Sommer und in der Heizperiode durch den erwachsenen Probanden

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“

37) *Schlechte Luftqualität durch andere Verbrennungsprozesse (Kraftwerke, Heizwerke, Müllverbrennung)*: Einschätzung der Luftqualität in Wohnung und Wohnumgebung im Sommer und in der Heizperiode durch den erwachsenen Probanden

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“



Häuslicher Bereich

- 38) *Alter des Wohnhauses:* Alter des Wohnhauses, in den der Proband wohnt  
Ausprägungen: metrisch [Jahre]
- 39) *Einzel zu bedienende Öfen:* Proband lebt in Wohnung mit einzeln zu bedienenden Öfen  
Ausprägungen: 0: „nicht vorhanden“,  
1: „vorhanden“  
im Modell für: Quecksilber im Blut (Kinder, neue Länder)
- 40) *Heizen mit Holz und Kohle:* Proband heizt mit Holz und Kohle  
Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“
- 41) *Kochen mit Holz und Kohle:* Proband kocht mit Holz und Kohle  
Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“
- 42) *Warmwasser mit Holz und Kohle:* Proband bereitet warmes Wasser mit Holz und Kohle  
Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“
- 43) *Wohndauer:* Jahre, die der Proband im jetzigen Wohnhaus wohnt  
Ausprägungen: metrisch [Jahre]
- 44) *Aufenthaltsdauer in Wohnräumen (nur Erwachsene):*  
Ausprägungen: metrisch [Minuten]
- 45) *Aufenthaltsdauer in geschlossenen Räumen (nur Kinder):*  
Ausprägungen: metrisch [Stunden]

Arbeitsplatz46) *Berufstätigkeit (nur Erwachsene):*

Ausprägungen: 0: „momentan nicht berufstätig“  
1: „momentan berufstätig“

47) *Berufliche Stellung (nur Erwachsene):* derzeitige berufliche Stellung des Probanden

Ausprägungen: 0: „kein Arbeiter“  
1: „Arbeiter“

48) *Beschäftigter in Land- bzw. Forstwirtschaft (nur Erwachsene):* Proband ist gegenwärtig in der Land- bzw. Forstwirtschaft tätig

Ausprägungen: 0: „nein“  
1: „ja“

49) *Aufenthalt in Werkhallen (nur Erwachsene):* Dauer des Aufenthalts des Probanden in Werkhallen, Garagen usw.

Ausprägungen: metrisch [Minuten]

50) *Quecksilber am Arbeitsplatz (nur Erwachsene):* Proband gibt an, Quecksilber am derzeitigen Arbeitsplatz anzutreffen

Ausprägungen: 0: „nie“  
1: „selten bis immer“

51) *Haushaltseinkommen:* Monatliches Nettoeinkommen des Haushalts, in dem der Proband lebt

Ausprägungen: metrisch [DM]

im Modell für: Quecksilber im Blut (Erwachsene, alte Länder)

52-54) *Schulabschluß (nur Erwachsene):*

Codierte Variable: 0: „kein Abschluß oder Abschluß der 8. Klasse oder Volks-/Hauptschulabschluß“  
1: „Realschulabschluß oder mittlere Reife oder Abschluß der 10. Klasse (Polytechnische Oberschule) oder Fachhochschulreife oder Abitur oder Abschluß einer Fachoberschule“

Codierte Variable: 0: „kein Abschluß oder Abschluß der 8. Klasse oder Volks-/Hauptschulabschluß oder Realschulabschluß oder mittlere Reife oder Abschluß der 10. Klasse (Polytechnische Oberschule)“  
1: „Fachhochschulreife oder Abitur oder Abschluß einer Fachoberschule“

Codierte Variable: 0: „kein Abschluß oder Abschluß der 8. Klasse oder Volks-/Hauptschulabschluß“,  
1: „Realschulabschluß oder mittlere Reife oder Abschluß der 10. Klasse (Polytechnische Oberschule)“  
2: „Fachhochschulreife oder Abitur oder Abschluß einer Fachoberschule“

im Modell für: Quecksilber im Urin (Erwachsene)