

WaBoLu **Hefte**

Institut für
Wasser-,
Boden- und
Lufthygiene

Umwelt
Bundes
Amt

WaBoLu

1
99

ISSN
0175-4211

Umwelt-Survey - 1990/92

Band IX:

**Cadmium -
Zusammenhangsanalyse**

von

**K. Hoffmann, D. Helm, K. Becker,
C. Friedrich, C. Krause, P. Nöllke,
M. Seiwert, B. Seifert**

WaBoLu

1

99

ISSN
0175-4211

Umwelt-Survey - 1990/92

Band IX:

**Cadmium -
Zusammenhangsanalyse**

von

**K. Hoffmann, D. Helm, K. Becker,
C. Friedrich, C. Krause, P. Nölke,
M. Seiwert, B. Seifert**

Die diesem Berichtsband zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Rahmen der 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 20,- 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, Januar 1999

K. Hoffmann, D. Helm, K. Becker, C. Friedrich, C. Krause, P. Nöllke,
M. Seiwert., B. Seifert

Umwelt-Survey 1990/92

Band IX:

Cadmium - Zusammenhangsanalyse

im Auftrag des Bundesministeriums für
Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit

Durchführung: Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes
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. Hoffmann, D. Helm, K. Becker, C. Friedrich, C. Krause, P. Nöllke,
M. Seiwert, B. Seifert

unter weiterer Mitarbeit von: V. Aglaster, W. Bernigau, G. Coan, M. Doberschütz, L. Donner, M. Drews,
C. Englert, N. Englert, C. Fleischer, M. Gabriel, C. Gleue, I. Hahn, M. Heiss,
U. Kortwich, E. Kraubmann, U. Lippold, C. Lusansky, E. Meyer,
M. Müssig-Zufika, B. Nowack, H. Pick-Fuß, B. Raffius, W. Rotard,
W. Schimmelpfennig, R. Schleyer, R. Schwabe, E. Stottmeister, E. Utesch,
I. Vorweg, L. Windmüller, D. Wintermeyer, C. Woodgett,
Feldteams der Gesundheits-Surveys,
Infratest Gesundheitsforschung,
Epidemiologische Forschung Berlin,
Zentrum für Epidemiologie und Gesundheitsforschung,
Bundesanstalt für Arbeitsmedizin und
Hygieneinstitut Sachsen-Anhalt (ehemals Landeshygieneinstitut Magdeburg)

Sachverständige, die dem Projekt begleitend zur Seite gestanden haben:
Prof. Dr. J. Bortz (Institut für Psychologie der TU Berlin)
Dr. D. Eis (Robert Koch-Institut, 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)

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.

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, V und VI 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 Element- und Biozidgehalte im Staub (Staubniederschlag, Konzentrationen im Hausstaub) der Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland

Band VII: Umwelt-Survey 1990/92

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 Band IX 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 Cadmiumbelastung (Blut, Urin und Haar) der Bevölkerung und zur Cadmiumbelastung im häuslichen Bereich (Hausstaub).

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	1
Summary	5
1 Einleitung	9
2 Vorkommen und Wirkungen von Cadmium	11
3 Auswahl der potentiellen Prädiktoren	15
3.1 Cadmium im Blut und im Urin	16
3.2 Cadmium im Kopfhaar	23
3.3 Cadmium im Hausstaub	24
4 Studienbeschreibung	27
4.1 Stichproben	27
4.2 Erhebungsinstrumentarium	28
4.3 Analytik und Qualitätskontrolle	29
5 Statistische Grundlagen	35
5.1 Datenauswertung mittels Regressionsanalyse	35
5.2 Anwendbarkeit der Regressionsanalyse	36
5.3 Aussagekraft des Regressionsmodells	37
5.4 Modellgüte und Modellwahl	38
5.5 Statistische Bewertung der Prädiktoren	39
5.6 Gültigkeitsbereiche der Modelle	40
5.7 Darstellung der Regressionsergebnisse	41
5.8 Methodische Aspekte der Modellierung	42
5.9 Untersuchungen zur Modellstabilität	44
6 Cadmium im Blut	47
6.1 Cadmium im Blut der Erwachsenen	48
6.1.1 Herleitung eines Rauchindikators für Cadmium im Blut	49
6.1.2 Modellangabe und -anwendung	54
6.1.3 Diskussion der im Modell erfaßten Einflußgrößen	56
6.1.4 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale	64
6.1.5 Statistische Untersuchungen zur Modellstabilität	66
6.1.6 Vergleich mit dem Modell des 1. Umwelt-Surveys	68
6.1.7 Spezielle Untersuchungen für Nichtraucher	71
6.2 Cadmium im Blut der Kinder	72
6.2.1 Diskussion der Prädiktoren	73
6.2.2 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale	75

7	Cadmium im Urin	77
7.1	Cadmium im Urin der Erwachsenen	78
7.1.1	Herleitung eines Rauchindikators für Cadmium im Urin	78
7.1.2	Modellangabe und -anwendung	81
7.1.3	Diskussion der im Modell erfaßten Einflußgrößen	83
7.1.4	Diskussion weiterer geprüfter Merkmale	90
7.1.5	Statistische Untersuchungen zur Modellstabilität	93
7.1.6	Vergleich mit dem Modell des 1. Umwelt-Surveys	95
7.1.7	Spezielle Untersuchungen für Nichtraucher	98
7.2	Cadmium im Urin der Kinder	99
7.2.1	Diskussion der Prädiktoren	101
7.2.2	Diskussion weiterer geprüfter Merkmale	103
7.3	Ergebnisse zu creatininbezogenen Cadmiumgehalten	103
8	Cadmium im Haar	107
8.1	Cadmium im Haar der Erwachsene	108
8.1.1	Diskussion der Prädiktoren	110
8.1.2	Diskussion weiterer geprüfter Merkmale	113
8.2	Cadmium im Haar der Kinder	116
8.2.1	Diskussion der Prädiktoren	117
8.2.2	Diskussion weiterer geprüfter Merkmale	119
9	Cadmium im Hausstaub (Staubniederschlag)	121
9.1	Cadmiumniederschlag in den Wohnräumen der Erwachsenen	122
9.1.1	Diskussion der Prädiktoren	124
9.1.2	Diskussion weiterer geprüfter Merkmale	130
9.2	Cadmiumniederschlag in den Wohnräumen der Kinder	132
9.2.1	Diskussion der Prädiktoren	133
9.2.2	Diskussion weiterer geprüfter Merkmale	134
10	Cadmium im Hausstaub (Staubsaugerbeutel)	137
10.1	Diskussion der Prädiktoren	139
10.2	Diskussion weiterer geprüfter Merkmale	142
11	Schlußbemerkungen	143
12	Literatur	147
13	Verzeichnisse	157
13.1	Abkürzungs- und Symbolverzeichnis	157
13.2	Tabellenverzeichnis	158
13.3	Abbildungsverzeichnis	160

14	Anhang	161
14.1	Deskription von Cadmium im Blut, im Urin, im Haar und im Hausstaub, gegliedert nach den Prädiktoren der Regressionsmodelle	161
14.2	Angaben zu WaBoLu-Kategorien und HBM-Wert-Überschreitungen	172
14.3	Ableitung des Rauchindikators mittels Integralberechnung	173
14.4	Erläuterungen zu den in den Regressionsanalysen benutzten Merkmalen	174

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 Cadmiumgehalte in Blut, Urin und Kopfhair untersucht. Ferner wurden Cadmiumkonzentrationen und Cadmiumniederschläge im Hausstaub (Staubsaugerbeutel bzw. Staubsammelbecher) gemessen. Außerdem wurde eine Vielzahl von Informationen zu Soziodemographie, Lebensstil, Verhaltensweisen und Umgebungsbedingungen unterschiedlichster Art mittels mehrerer Fragebögen erfaßt.

Im vorliegenden Berichtsband werden die Ergebnisse multivariater Regressionsanalysen dargestellt, mit denen die maßgeblichen Prädiktoren (Einflußgrößen) für die Cadmiumgehalte in Blut, Urin, Haar und Hausstaub (Zielgrößen) erfaßt und quantifiziert werden. Aufgrund der linksschiefen Verteilungsform der Cadmiumgehalte wurden lineare Regressionsrechnungen mit den logarithmierten Gehalten durchgeführt. Damit ergeben sich nach Rücktransformation multiplikative Modelle für die originalen Cadmiumgehalte. Die Interpretation von Veränderungen der Cadmiumgehalte bei Zu- oder Abnahme der Prädiktorenwerte ist in solchen multiplikativen Modellen stets relativ und erfolgt gewöhnlich durch Angabe prozentualer Zuwächse oder Abnahmen.

Durch die Einbeziehung von 6- bis 14jährigen Kindern in die Untersuchung konnten auch Regressionsmodelle für korporale Cadmiumgehalte bei Kindern angegeben werden. Es zeigen sich teilweise deutliche Unterschiede in Anzahl und Art der Prädiktoren für Cadmium in Blut, Urin und Haar im Vergleich zu den Regressionsmodellen bei Erwachsenen. Die sich auf Blut und Urin beziehenden Modelle der Kinder haben eine wesentlich geringere Varianzaufklärung als die der Erwachsenen, was vor allem auf die untergeordnete Bedeutung des Expositionspfades Rauchen bei den 6- bis 14jährigen Kindern zurückgeht.

Um mögliche Ost-West-Unterschiede in den regionalen Schadstoffbelastungen, Umgebungsbedingungen und expositionsrelevanten Verhaltensweisen nicht von vornherein bei der Modellierung auszuschließen, wurden separate Regressionsrechnungen für die alten und neuen Bundesländer durchgeführt. Da als Ergebnis dieser Untersuchungen in West und Ost im wesentlichen die gleichen Einflußfaktoren für die Cadmiumgehalte in den verschiedenen Medien von Bedeutung sind, wird stets ein zusammengefaßtes, für Deutschland gültiges Modell angegeben.

Das Modell für **Cadmium im Blut der Erwachsenen** enthält vier Prädiktoren, die 54,7 % der Varianz der Cadmiumgehalte erklären. Wesentlicher Prädiktor ist ein Rauchindikator, der aus einem mathematischen Halbwertszeitmodell bestimmt wird und der neben dem aktuellen Rauchverhalten auch das Rauchverhalten in den vorangegangenen Monaten berücksichtigt. Die Einbeziehung des Rauchindikators in das Regressionsmodell ermöglicht u. a. eine Differenzierung zwischen Extrauchern und Nierauchern hinsichtlich der zu erwartenden Cadmiumgehalte. Darüber hinaus ist es möglich, die Abnahme des Cadmiumgehalts im

Blut eines Exrauchers seit Beendigung des Rauchens als Funktion der Zeit darzustellen und zu quantifizieren. Die zum Rauchindikator gehörende Varianzkomponente beträgt 46,3 % und stellt somit den Hauptanteil an der aufgeklärten Varianz dar.

Außer dem Rauchindikator enthält das Modell für Cadmium im Blut der Erwachsenen noch Prädiktoren, die den Langzeiteinfluß des Rauchens und den Einfluß des Lebensalters widerspiegeln. Diese Prädiktoren sind für die Cadmiumgehalte im Blut der Frauen und der Männer von unterschiedlicher Bedeutung. Es zeigt sich, daß unter Ausschluß des Expositionspfades Rauchen der Cadmiumgehalt im Blut bei Frauen mit zunehmendem Alter ansteigt, d. h. auch für Nieraucherinnen ist eine altersbedingte Zunahme des Cadmiumgehalts im Blut statistisch nachweisbar. Im Unterschied dazu kann mit den vorliegenden Regressionsrechnungen für Männer kein vom Rauchen unabhängiger Altersgang belegt werden. Auf der anderen Seite ist der Langzeiteinfluß des Rauchens und die Rauchintensität bei Männern höher. Beide entgegengesetzt wirkenden Effekte sind etwa gleich stark, so daß in dem Gesamtmodell das Geschlecht kein signifikanter Prädiktor für die Cadmiumgehalte im Blut darstellt.

Im Modell für **Cadmium im Urin der Erwachsenen** sind 11 Prädiktoren enthalten, die zusammen 41,1 % der Varianz der Cadmiumgehalte erklären. Stärkster Expositionspfad ist wiederum das Rauchen. Er wird im Modell durch einen mathematisch hergeleiteten Rauchindikator und durch die Anzahl gegenwärtig gerauchter Zigaretten pro Tag erfaßt. Die dem Rauchen zuzuordnende Varianzkomponente ist mit 18,3 % wesentlich kleiner als im Modell für Cadmium im Blut, so daß die relative Bedeutung des Expositionspfades Rauchen für die im Urin gemessene Cadmiumbelastung schwächer ist. Aus dem Modellvergleich ergibt sich ferner als Unterschied, daß der Cadmiumgehalt im Blut wesentlich durch eine Kurzzeitwirkung und nur in geringem Maße durch eine Langzeitwirkung des Rauchens beeinflusst wird, während bei Cadmium im Urin der Langzeiteinfluß des Rauchens stärker ist.

Weitere wesentliche Einflußfaktoren für Cadmium im Urin sind der Creatiningehalt im Urin (Varianzkomponente 13,2 %) und das Lebensalter (Varianzkomponente 7,3 %). Ein Anstieg des Creatiningehalts geht einher mit höheren Schadstoffkonzentrationen, so daß Stärke und Wirkungsrichtung des Prädiktors den Erwartungen entsprechen. Bei Frauen ist der Effekt etwas stärker als bei Männern. Auch der Einfluß des Lebensalters ist für beide Geschlechter unterschiedlich. Zwar ist sowohl für Frauen als auch für Männer mit zunehmendem Alter ein Anstieg des Cadmiumgehalts im Urin zu erwarten, doch ist auf Grundlage des Modells der prognostizierte Anstieg bei Frauen deutlich höher.

Für die **Cadmiumgehalte im Blut und im Urin der Kinder** konnte eine Varianzaufklärung von 13,7 % bzw. 22,9 % erreicht werden. In beiden Modellen ist ein Ost-West-Prädiktor enthalten, dem eine Varianzkomponente von 4,3 % bzw. 6,7 % zugeordnet werden kann. Stärkster Prädiktor im Modell für Cadmium im Urin der Kinder ist der im Urin gemessene Creatiningehalt, der mit 13,4 % einen ähnlich hohen Beitrag zur

Varianzaufklärung der Cadmiumgehalte liefert wie im Modell der Erwachsenen. Eine Modellgleichung für Cadmium im Blut wird wegen der geringen Varianzaufklärung von unter 20 % nicht angegeben.

Als Ergebnis der multivariaten Auswertung der **Cadmiumgehalte im Haar der Erwachsenen** zeigt sich, daß die endogene Inkorporation von Cadmium in das Haar von geringer Bedeutung ist. Im Modell erfaßte Einflußfaktoren, wie der Cadmiumgehalt im Hausstaub und die Aufenthaltsdauer im Freien und in Werkhallen/Werkstätten machen deutlich, daß der Gehalt im Haar eher durch luftgetragenes Cadmium beeinflusst wird. Weiterhin kann eine exogene Anlagerung von im Wasser enthaltenem Cadmium an das Haar, z. B. bei der Haarwäsche oder beim Duschen, angenommen werden, da sich der im häuslichen Trinkwasser gemessene Cadmiumgehalt als signifikanter Prädiktor erweist. Bestimmte Haarmerkmale, wie schütterer Haarwuchs und die chemische Behandlung in Form einer Dauerwelle, sind als expositionsverstärkende Bedingungen von Bedeutung und gehen als weitere Prädiktoren in das Modell ein. Die Varianzaufklärung ist mit insgesamt 15,0 % gering. Auf eine explizite Angabe der Modellgleichung wird im Berichtsband verzichtet.

Bei der regressionsanalytischen Auswertung der **Cadmiumgehalte im Haar der Kinder** ergibt sich ein ähnliches Bild. Auch hier sind keine Prädiktoren im Modell, die eine endogene Inkorporation von Cadmium in das Haar reflektieren. Dagegen erweisen sich die häufige körperliche Betätigung im Freien und häufiges Buddeln, Graben und Höhlenbauen als expositionsrelevante Faktoren, was wiederum für eine exogene Anlagerung von im Boden, im Staub und in der Luft enthaltenem Cadmium an das Haar spricht. Durch die Berücksichtigung des Cadmiumgehalts im häuslichen Trinkwasser als Prädiktor analog zum Modell der Erwachsenen wird der Expositionspfad über Haarwäsche und Duschen erfaßt. Haarmerkmale spielen keine Rolle. Die Varianzaufklärung ist mit 16,5 % etwas höher als im entsprechenden Modell der Erwachsenen. Eine Modellgleichung wird nicht angegeben.

Die multivariate Zusammenhangsanalyse für **Cadmium im Staubbiederschlag** in den Wohnräumen der 25- bis 69jährigen **Erwachsenen** ergibt eine Varianzaufklärung von 17,9 %. Dabei erweist sich das Wohngebiet (Alte/Neue Bundesländer) als der am stärksten wirkende Faktor. Weitere signifikante Einflußgrößen wie z. B. das Heizen mit Kohle/Holz, die Nutzungsintensität wie die Wohndichte und die tägliche Aufenthaltsdauer im beprobten Wohnraum deuten eher auf Innenraumbelastungen als auf einen externen Eintrag hin. Für die Wohnräume der **Kinder** ergibt sich ein ähnliches Bild. Wegen des geringen Anteils an erklärter Varianz werden für den Cadmiumniederschlag keine Modellgleichungen angegeben.

Bei der Analyse der auf die **Cadmiumkonzentration im Staubsaugerstaub** wirkenden Faktoren können mit sieben Prädiktoren lediglich 4,6 % der Varianz erklärt werden, so daß keine Modellgleichung angegeben wird.

Summary

As part of the Environmental Surveys conducted in the Federal Republic of Germany in 1990/92 the cadmium content of human blood, urine and scalp hair was determined. The samples were obtained in the 'old' states (FRG until unification) in 1990/91 and in the 'new' states (G.D.R. until unification) in 1991/92. Besides a representative sample of adults (age 25 to 69 years) from the general population a sample of children (age 6 to 14 years) was available. In addition to the biological samples, house dust (vacuum cleaner bag and annual dust precipitation collected in a standard beaker) was analysed for its cadmium content. In addition, a wide variety of sociodemographic data complemented by information on life-style, behaviour and ambient conditions were generated by way of several questionnaires.

The present report describes the results of multivariate regression analyses carried out to determine and evaluate the importance of the predictors (influencing factors) mainly responsible for the cadmium contents in blood, urine, hair and house dust (criteria) and to quantify their contribution. To compensate for the skewed distribution of the cadmium concentrations, the log values of the concentrations were used for linear regression calculations. Retransformations generate multiplicative models for the original cadmium concentrations. In such multiplicative models, changes in contaminant concentrations due to an increase or decrease of the values of predictors are always interpreted in relative terms and are usually expressed as percent increase or decrease.

The inclusion of children aged 6 to 14 years of age in the study permitted regression models for cadmium body burdens to be developed for children as well. In these models some of the predictors for cadmium in children's blood, urine and hair differ substantially from those identified in the corresponding regression models (blood, urine or hair) for adults. For the blood- and urine-related models for children, explained variance was considerably lower than for the respective models for adults, which is mainly due to the minor role that smoking plays as an exposure pathway for children.

To test for the existence of possible East/West differences in regional pollution levels, ambient conditions and exposure-relevant behaviour separate regression calculations were performed for East and West Germany. These analyses showed that essentially the same factors influence the cadmium concentrations in the various media in both parts of the country. Consequently, one single regression model was formed for the German population in each case.

The model for **cadmium in the blood of adults** comprises four predictors, accounting for 54.7 % of the variance of the cadmium concentrations. The most important predictor is an indicator for smoking habits. This indicator is determined from a mathematical half-life model and takes into account both current smoking habits and smoking in the preceding months. Including the smoking indicator in the regression model allows to differentiate between ex-smokers and never-smokers in terms of the cadmium burdens to be expected. It further permits to express and quantify the decrease in an ex-smoker's blood cadmium level since the time he or she stopped smoking. The smoking indicator was the most important of all predictors contributing 46.3 % to the explained variance.

Besides the indicator for smoking habits, the model for cadmium in the blood of adults includes predictors reflecting the long-term influence of smoking and the influence of age. Differences were found for men and women. If smoking is excluded, blood cadmium levels in women increase with increasing age, i.e. an increase in blood cadmium levels over age could also be shown statistically for women who never smoked. In contrast, regression calculations showed no such effect for men. On the other hand, the long-term influence of smoking and the smoking intensity was higher for men. Since these two effects compensate each other the total model for adults does not include gender as significant predictor with respect to cadmium concentrations in blood.

The model for **cadmium in the urine of adults** includes 11 predictors, all of them together explain 41.1 % of the variance found for this criterion. Again, smoking is the most significant exposure pathway. It is reflected in the model by a mathematically derived indicator for smoking habits and the current number of cigarettes smoked per day. At 18.3 %, the variance component to be allocated to smoking is considerably smaller here than in the model for cadmium in blood. Thus, the relative importance of smoking as an exposure pathway is lower in the case of cadmium in urine. A comparison of the two models points at another difference: while cadmium in blood is significantly influenced by a short-term effect and not so much by a long-term effect of smoking, the long-term effect of smoking is more important for cadmium in urine.

Other important factors influencing cadmium in urine are the creatinine content of urine (13.2 % of the variance) and age (7.3 % of the variance). Elevated creatinine concentrations are accompanied by elevated contaminant concentrations, which means that the effect of this predictor in terms of its magnitude and direction is as expected. The effect is somewhat more pronounced in women than in men. A difference between the two genders was also found with regard to the influence of age. Although cadmium concentrations in the urine of both women and men can be expected to rise with increasing age, the model suggests that the rise is markedly higher for women.

In the case of the models for **cadmium concentrations in the blood and urine of children** it was possible to explain 13.7 % (blood) and 22.9 % (urine) of the variance. Both models include an East/West predictor, which was found to account for 4.3 % and 6.7 %, respectively, of the variance. The most important predictor in the model for cadmium in the urine of children is the creatinine content in urine; at 13.4 %, its contribution to explained variance is about as high as in the model for adults. No model equation is presented for cadmium in blood as only less than 20 % of the variance could be explained.

The results of the multivariate analysis of **cadmium concentrations in the hair of adults** show that endogenous incorporation of cadmium in the hair is of little relevance. Influencing factors included in the model, such as the cadmium concentrations of home dust and time spent outdoors and in factories/workshops, show that it is more probable for the cadmium content in hair to be influenced by airborne cadmium. Furthermore, it can be assumed that exogenous adsorption of cadmium from water onto the hair occurs, e.g. during hair-washing and showering, because the cadmium content in domestic drinking water showed itself to be a significant predictor. Certain hair characteristics such as thin hair or permanent wave chemical treatment

are exposure-enhancing factors and were included into the model as further predictors. Given that only 15 % of the variance can be explained, no modequation is presented in the report.

A similar picture was obtained from the regression analysis concerning **cadmium concentrations in the hair of children**. Here too, the model does not include any predictors which reflect an endogenous incorporation of cadmium in hair. Rather, frequent physical activity outdoors and frequent playing in sand like digging or building of caves proved to be exposure-relevant factors, which in turn suggests an exogenous sorption of cadmium contained in soil, dust and air. As in the model for adults, exposure through hair-washing and showering was taken into account for children's model using the cadmium content in domestic drinking water as predictor. Hair characteristics were found to play no role. At 16.5 %, explained variance was somewhat higher than for the corresponding model for adults. The modequation is not presented in the report.

For **cadmium in precipitated dust** in the living rooms of **adults** 25 to 69 years of age, data treatment by multivariate analysis resulted in an explained variance of 17.9 %. The region (East or West Germany) proved to be the most significant factor here. Other significant predictors, such as heating with coal/wood, number of persons per floor area and time spent per day in the room where the dust sample was taken, seem to indicate that exposure is more indoor- than outdoor-related. The situation is similar for the rooms of **children**. As only a low percentage of the variance could be explained, no modequations are given for cadmium in precipitated dust.

The analysis for factors influencing **cadmium concentrations in dust from vacuum cleaner bags** showed seven predictors explaining only 4.6 % of the variance, so no modequation is presented in the report.

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 Allgemeinbevölkerung (25 bis 69 Jahre und 6 bis 14 Jahre) in der Bundesrepublik Deutschland. Bei den Erwachsenen handelt es sich um eine repräsentative, randomisiert gezogene Stichprobe der 25- bis 69jährigen deutschen Wohnbevölkerung. Die Stichprobe der Kinder umfaßt Kinder im Altersbereich von 6 bis 14 Jahren aus den Haushalten der erwachsenen Probanden. Die Daten der verschiedenen Erhebungsphasen (alte Bundesländer 1985/86¹ und 1990/91¹, neue Bundesländer 1991/92²) 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 für das Human-Biomonitoring, die für umweltmedizinische sowie wohnraum- und trinkwasserhygienische Bewertungen von größter Bedeutung sind.

Das Erhebungsinstrumentarium der Umwelt-Surveys 1990/92 umfaßt neben der Erfassung der Belastung mit lufthygienisch relevanten organischen Verbindungen 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 (Krause et al. 1996a).

Ziel des vorliegenden Bandes ist es, mit Hilfe inferenzstatistischer Methoden den Einfluß von Emissionsquellen, Umgebungsbedingungen und individuellen Verhaltensweisen auf die korporale Cadmiumbelastung zu quantifizieren sowie die wesentlichen Faktoren der Cadmiumbelastung im häuslichen Bereich zu ermitteln. Zur Erfassung der korporalen Belastung wurden Cadmiumgehalte in Vollblutproben, Morgenurinproben und Kopfhhaarproben bestimmt, die im Rahmen der vorgenommenen statistischen Auswertung als Zielgrößen angesehen werden. Als Meßgrößen für die Cadmiumbelastung im häuslichen Bereich dienen der Cadmiumnieder-

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).

schlag im Innenraum (Erfassung mittels normiertem Staubsammelbecher in dem vom Probanden am meisten genutzten Wohnraum) und die Cadmiumkonzentration im Staubsaugerbeutelinhalt.

In dem vorliegenden Berichtsband erfolgt in Kapitel 2 zunächst eine einführende Darstellung zu Vorkommen, Verbreitung und industrieller Verwendung von Cadmium sowie zu den gesundheitlichen Auswirkungen der Cadmiumaufnahme durch den Menschen. Anschließend werden in Kapitel 3 auf der Grundlage der vorhandenen Fachliteratur Hypothesen zur Cadmiumexposition diskutiert. Darauf aufbauend werden Größen mit potentielltem Einfluß auf die Cadmiumbelastung abgeleitet und ihre Operationalisierung im Umwelt-Survey mit den aus den Fragebögen zur Verfügung stehenden Angaben erörtert.

Als statistisches Verfahren zur Ermittlung der Größen, die den wesentlichen Einfluß auf den Cadmiumgehalt im betrachteten biologischen Medium bzw. im Staub haben, wird einheitlich die Regressionsanalyse eingesetzt. Für Leser, die mit regressionsanalytischen Datenauswertungen nicht oder nur wenig vertraut sind, liefert Kapitel 5 einen kurzen Abriß über die Grundlagen der Regressionsanalyse. In diesem Kapitel wird zugleich auf die Besonderheiten der Regressionsmodelle für Elementgehalte und auf die Aussagekraft der erzielbaren Ergebnisse eingegangen.

Die statistische Auswertung der Cadmiumgehalte erfolgt für jedes Medium in einem separaten Kapitel. Innerhalb der Kapitel 6 bis 9 wird eine getrennte Darstellung für die Erwachsenen und Kinder vorgenommen, um eine differenzierte Bewertung der Expositionsponenten für beide Probandengruppen zu ermöglichen.

Die Kapitel, die die statistischen Auswertungen zu den Cadmiumgehalten in Blut, Urin und Haar sowie zu Cadmium im Innenraum-Staub enthalten, sind weitgehend voneinander unabhängig, so daß sie wahlweise und in beliebiger Reihenfolge gelesen werden können. Zur Gewährleistung der Selbständigkeit dieser Kapitel wurden die einzelnen Schritte der Auswertung und der inhaltlichen Einordnung in jedem Kapitel ähnlich und mit gleichbleibender Ausführlichkeit dargestellt. Aus diesem Grund sind teilweise gleichartige Formulierungen in den Kapiteln enthalten.

Im Anhang ist eine deskriptive Auswertung der Cadmiumgehalte enthalten, wobei die in den Regressionsanalysen benutzten Prädiktoren als Gliederungsmerkmale verwendet werden. Darüber hinaus umfaßt der Anhang prozentuale Angaben zu den WaBoLu-Kategorien und den HBM-Wert-Überschreitungen sowie eine Ableitung des Rauchindikators mittels Integralrechnung. Ferner sind im Anhang alle in die Auswertung einbezogenen bzw. in der Phase der Vorauswahl geprüften Merkmale zusammengestellt.

2 Vorkommen und Wirkungen von Cadmium

Cadmium zählt zu den nicht essentiellen Spurenelementen und ist ein ubiquitär verbreitetes toxisches Schwermetall. Cadmium fällt industriell fast ausschließlich als Nebenprodukt der Zinkproduktion und in geringerem Umfang bei der Blei- und Kupfererzeugung an. Weltweit wurden 1984 etwa 19 000 t produziert (World Mineral Statistics 1995). Die wichtigsten Erzeugerländer sind Japan, Kanada, Belgien, Rußland, Mexiko und die Bundesrepublik Deutschland.

In der Bundesrepublik Deutschland wurden im Zeitraum von 1990 bis 1994 zwischen 830 und 1015 t Cadmium für die Herstellung einer Vielzahl von Produkten verbraucht. Der Anteil am Gesamtverbrauch für Batterien weist für diesen Zeitraum eine deutlich steigende Tendenz auf und betrug 1994 immerhin 73 %. Für Stabilisatoren wurden 1994 rund 11 % und für Pigmente, vor allem für Kunststoffe, rund 12 % verwendet. Der Anteil des in der Glasindustrie verwendeten Cadmiums beträgt 2 %, knapp 0,7 % wurde in der Galvanotechnik oder für Legierungen und Lote eingesetzt (Balzer 1996).

Durch die Gefahrstoffverordnung ist die Verwendung von Cadmium und Cadmiumverbindungen für einige der oben genannten Anwendungszwecke seit 1993 stark eingeschränkt. Als Folge davon sind die Herstellung und der Verbrauch von Cadmium in den letzten Jahren stark zurückgegangen. Eine Ausnahme bildet der zunehmende Einsatz von Cadmium für die Herstellung von Nickel/Cadmium-Batterien.

Wesentliche Cadmiumemittenten, durch die eine atmosphärische Belastung resultiert, sind Feuerungsanlagen, die Eisen- und Stahlindustrie, Müllverbrennungsanlagen, die Zement- und die Glasindustrie sowie der Kraftfahrzeugverkehr. Die Sanierung von Anlagen entsprechend der Großfeuerungsanlagenverordnung und die Umsetzung der Vorschriften der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft führten zwischen 1985 und 1995 zu einer erheblichen Minderung der Cadmiumemissionen in die Atmosphäre. Speziell in den neuen Bundesländern ist dies auf die Nachrüstung bzw. Stilllegung von Altanlagen zwischen 1990 und 1995 zurückzuführen. Insgesamt wurden 1995 in der Bundesrepublik noch ca. 11 t Cadmium in die Atmosphäre emittiert (UBA 1997). Die Jahresmittelwerte für Cadmium im Schwebstaub bzw. im Staubniederschlag betragen in Stadt- und Ballungsgebieten $0,5 - 5 \text{ ng/m}^3$ bzw. $0,5 - 1 \text{ } \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ (Lahmann 1993). In ländlichen Gebieten liegen die Cadmiumkonzentrationen der Luft deutlich unter 1 ng/m^3 (UBA 1997).

Die Aufbringung von Klärschlamm und Kompost aus Siedlungsabfall, die Deponierung von Abfällen und die Anwendung phosphathaltiger Düngemittel tragen zur Verbreitung von Cadmium in den Umweltmedien Wasser und Boden bei.

Bezogen auf die Cadmiumbelastung beruflich nicht exponierter Personen stellt das Rauchen und damit die inhalative Aufnahme den wesentlichsten Belastungspfad für den Menschen dar. Tabakpflanzen nehmen

Cadmium aus dem Boden auf. Die Cadmiumgehalte im Tabak liegen bei 0,5 - 2,0 µg/g, so daß Raucher mit jeder Zigarette etwa 0,1 - 0,2 µg Cadmium aufnehmen (Elinder et al. 1983b, Watanabe et al. 1987).

Bei Nichtrauchern ist der wesentliche Aufnahmepfad für Cadmium die Nahrung, die zu ca. 80 % an der Gesamtaufnahme beteiligt ist (Christensen 1995). Dies ist dadurch begründet, daß verschiedene zur Ernährung dienende Pflanzen leicht verfügbares Cadmium aus dem Boden akkumulieren. In den meisten Ländern beträgt die Aufnahme von Cadmium mit der Nahrung 10 bis 25 µg/Tag (Elinder et al. 1994). Beim Vergleich mit der Belastung durch Rauchen ist zu berücksichtigen, daß die pulmonale Resorptionsrate einen Wert von 50 % erreichen kann, während die Resorptionsrate im Gastrointestinaltrakt relativ gering ist und bei ungefähr 5 % liegt. Sie ist allerdings bei Eisen-, Protein- und Calciummangel erhöht (WHO 1992).

Im menschlichen Organismus wird Cadmium durch das Blut zu den Hauptspeicherorganen, der Leber und der Niere, transportiert. Die biologische Halbwertszeit beträgt dort zwischen 7 und 30 Jahren. Die Plazenta ist eine relativ wirksame Barriere, kann jedoch Cadmium wahrscheinlich nicht vollständig vom Fötus fernhalten (Ewers 1995). Nur ein kleiner Teil des aufgenommenen Cadmiums wird über den Urin und in geringerem Umfang über die Fäzes wieder ausgeschieden.

Die Niere ist das kritische Organ für die Wirkung von Cadmium. Das erste Zeichen einer cadmiuminduzierten Nierenschädigung ist eine tubuläre Proteinurie mit einer Erhöhung der Exkretion von niedermolekularen Proteinen, Aminen und anderen niedermolekularen Substanzen. In der weiteren Entwicklung kann die glomeruläre Filtrationsrate beeinflusst werden. Diese Nierenschäden sind irreversibel. Bedeutsam ist außerdem das kanzerogene Potential inhalierter Cadmiumverbindungen. In den letzten Jahren wurde ein Zusammenhang zwischen einer beruflichen Cadmiumbelastung und dem Auftreten von Lungenkrebs festgestellt, der sich durch Tierexperimente bestätigen ließ (Elinder et al. 1994). Cadmium und viele seiner Verbindungen sind daher von der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe der DFG als krebserzeugend eingestuft. Im Tierexperiment wurde auch eine blutdrucksteigernde Wirkung von Cadmium nachgewiesen, die Ergebnisse epidemiologischer Studien hierzu sind jedoch widersprüchlich. Wirkungen auf das Knochensystem, wie sie bei der Itai-Itai-Krankheit in Japan beobachtet wurden, werden heute auf die Kombination zwischen einer erhöhten Cadmiumaufnahme und einer schlechten Ernährungssituation zurückgeführt (Ewers 1995).

Zur Abschätzung der korporalen Belastung des Menschen mit Cadmium hat sich die Analyse der Konzentrationen in Blut und Urin bewährt. Der Cadmiumgehalt im **Blut** reflektiert hauptsächlich die aktuelle Belastung und in einem gewissen, aber nicht genauer bekannten Umfang, die Freisetzung von Cadmium aus anderen Kompartimenten des menschlichen Körpers. Die Halbwertszeit von Cadmium im Blut wird auf ca. 3 Monate geschätzt (WHO 1992).

Der Cadmiumspiegel im **Urin** wird eher durch die Körperlast als durch die aktuelle Exposition beeinflusst und ermöglicht eine Abschätzung für die während des Lebens im Körper, insbesondere in der Niere, akkumulierte

Cadmiummenge. Buchet et al. (1990) beschrieben einen engen Zusammenhang zwischen der Konzentration in der Niere und der Konzentration im Urin. Ein Cadmiumgehalt von 5 µg/g Creatinin im Urin entspricht demnach einem Gehalt in der Niere von ca. 150 µg/g. Die kritische Konzentration im Urin, bei deren Überschreitung von Nierenschäden auszugehen ist, liegt bei ca. 10 - 15 µg/g Creatinin (Christensen et al. 1995). Eine cadmiuminduzierte Nephropathie geht mit einer erhöhten Cadmiumausscheidung einher.

Kopfhaare stellen ein leicht zugängliches Untersuchungsmaterial dar. Es ist nicht möglich, die endogenen und exogenen Cadmiumanteile genau zu quantifizieren. Da bisher kein Zusammenhang zwischen dem Cadmiumgehalt im Haar und der Körperlast festgestellt werden konnte, ist anzunehmen, daß die Cadmiumgehalte im Kopfhaar zu einem erheblichen Anteil durch exogene Einflüsse, wie den Kontakt mit Luftstaub oder Wasser beeinflusst sind. Die Analyse von Kopfhaar ist nicht für eine individuelle Diagnose geeignet, kann jedoch als „screening“-Instrument oftmals sinnvoll eingesetzt werden (Chutsch und Krause 1987).

Eine Möglichkeit, die Exposition in der häuslichen Wohnumgebung abzuschätzen, ist die Analyse von **Hausstaub**. Dieser kann ingestiv, unter Umständen auch inhalativ, aufgenommen werden. In empirischen Studien werden am häufigsten Staubproben vom Inhalt des Staubsaugerbeutels genommen, wobei sich bislang keine standardisierte Technik durchgesetzt hat. Neben dieser Probenart wurden im Umwelt-Survey Proben der im Verlaufe eines Jahres im Wohnraum sedimentierten Staubmenge untersucht. Hierbei handelt es sich um eine einfache, preiswerte und leicht zu handhabende Methode, die sich in früheren Untersuchungen (Aurand et al. 1983, Seifert und Drews 1985) und im Rahmen des 1. Umwelt-Surveys 1985/86 (Krause et al. 1989), bewährt hat.

Die mittlere Cadmiumniederschlagsrate in den Wohnräumen der Probanden des Umwelt-Surveys betrug 11,7 ng/(m²·Tag) (Friedrich et al. 1997) und liegt damit deutlich unter den entsprechenden Niederschlagsraten, die für die Außenluft angegeben werden (Lahmann 1993). Die mittlere Konzentration im Staubsaugerbeutel von 0,86 µg/g liegt in einer Größenordnung, wie sie für Böden großstädtischer Ballungsgebiete gefunden werden. König (1990) gibt z. B. für Großstädte einen durchschnittlichen Cadmiumgehalt im Bereich von 0,5 bis 1,5 µg/g Trockensubstanz an.

3 Auswahl der potentiellen Prädiktoren

Zur Bestimmung und Quantifizierung von Einflußgrößen der korporalen Cadmiumbelastung der deutschen Allgemeinbevölkerung und von Einflußgrößen auf die Belastung im häuslichen Bereich durch Hausstaub wurden im Vorfeld der multivariaten Analysen potentielle Prädiktoren (Begriffsdefinition siehe Kapitel 5) hypothesenorientiert ausgewählt. Auf der Grundlage des im Umwelt-Survey vorliegenden Datenmaterials wurden diese so gut wie möglich operationalisiert, woraus sich die im Anhang (Abschnitt 14.4) aufgeführten Merkmale ergeben, die bei der Herleitung der Regressionsmodelle berücksichtigt wurden.

Im Rahmen des Umwelt-Surveys konnten zur Expositionsabschätzung nicht nur mehrere Fragebögen, sondern auch in relevanten Medien gemessene Gehalte verschiedener Substanzen (darunter auch Cadmium) herangezogen werden. So stehen der in der Außenluft der Gemeinde ermittelte Cadmiumniederschlag als potentieller Prädiktor für den Cadmiumgehalt im Blut, im Urin, im Kopfhaar und im Hausstaub sowie der Cadmiumgehalt im häuslichen Trinkwasser als potentieller Prädiktor für den Cadmiumgehalt im Blut, im Urin und im Kopfhaar zur Verfügung.

Die im Anhang (Abschnitt 14.4) aufgeführten potentiellen Prädiktoren wurden inhaltlich in Gruppen zusammengefaßt, die sich z. B. auf medizinische Meßgrößen, Rauchen, Ernährung und Umgebungsbedingungen (Wohnungsumfeld, häuslicher Bereich, Arbeitsplatz) beziehen.

Die zu berücksichtigenden Variablensätze überschneiden sich für die unterschiedlichen Medien (Blut, Urin, Haare, Hausstaub), so daß einige Merkmale bei der Auswertung mehrmals berücksichtigt wurden. Im folgenden wird zunächst die Auswahl der Prädiktoren für die Analyse der Blut- und Urindaten vorgestellt. Obwohl durch den Gehalt im Blut eher die kurzzeitige Belastung und durch den Gehalt im Urin eher die chronische Belastung abgebildet wird, war es zunächst naheliegend, für beide Medien einen ähnlichen Merkmalsatz zu verwenden.

Soweit inhaltlich sinnvoll und aufgrund der vorhandenen Informationen möglich, wurde die Liste der potentiellen Prädiktoren auch zur Auswertung der die Kinder betreffenden Datensätze herangezogen. Auf einige nur für die Kinder zutreffende Merkmale wird in der folgenden Darstellung an entsprechender Stelle und im Anhang (Abschnitt 14.4) hingewiesen.

In jedem Fall wurden diejenigen Merkmale, die sich entweder bei der deskriptiven Auswertung der Daten des 2. Umwelt-Surveys 1990/92 (Krause et al. 1996a) oder der multivariaten Auswertung der Daten des 1. Umwelt-Surveys 1985/86 (Schwarz et al. 1993) als signifikant erwiesen hatten, im Rahmen der Prädiktorenauswahl berücksichtigt.

3.1 Cadmium im Blut und im Urin

Im folgenden werden potentielle Prädiktoren, soweit sie sich aus den zur Verfügung stehenden Informationen, z. B. den Fragebogenangaben generieren ließen, zusammenfassend dargestellt. Zugrunde gelegt wurde u. a. eine Sichtung der Literatur. Da davon auszugehen ist, daß vor dem Beginn der 80er Jahre z. T. erhebliche analytische Schwierigkeiten bestanden (Friberg und Vahter 1983, Herber et al. 1990), wurden im wesentlichen nur später durchgeführte Studien berücksichtigt. Der Schwerpunkt liegt dabei auf größeren, die Exposition der Allgemeinbevölkerung beschreibenden Arbeiten.

Bei der bisher vorliegenden bivariaten Auswertung der Daten des 2. Umwelt-Surveys 1990/92 (Krause et al. 1996a) erwiesen sich für die Erwachsenen und Kinder eine Reihe von Merkmalen signifikant, die deshalb in die Liste der potentiellen Prädiktoren aufgenommen wurden. Für den Cadmiumgehalt im Blut waren dies: das Geschlecht, der Schulabschluß, der Rauchstatus; die tägliche Zigarettenzahl, die Dauer des Nichtrauchens bei Extrauchern, die konsumierte Alkoholmenge, der Cadmiumniederschlag in der Außenluft und das Vorhandensein einer Ofenheizung mit Holz oder Kohle. Bei den Kindern war zudem die regionale Zuordnung zu den alten bzw. neuen Bundesländern ein signifikantes Gliederungsmerkmal, außerdem in den neuen Bundesländern die Gemeindegrößenklasse.

Zur Deskription der Cadmiumgehalte im Urin (entweder volumen- oder creatininbezogen) der Erwachsenen wurden zur Deskription die folgenden Gliederungsmerkmale herangezogen: das Geschlecht, das Lebensalter, der Schulabschluß, die Berufstätigkeit, der Body-Mass-Index, der Rauchstatus; die tägliche Zigarettenzahl, die Rauchdauer von Extrauchern, die Rauchdauer der aktuellen Raucher, das Passivrauchen der Nichtraucher, die Häufigkeit der sportlichen Betätigung, die konsumierte Alkoholmenge, die Häufigkeit des Konsums von Wein/Sekt/Obstwein, die Häufigkeit des Konsums von Bier, die Häufigkeit des Konsums von rohem Gemüse, die Gemeindegrößenklasse, der Cadmiumniederschlag in der Außenluft und die Ofenheizung mit Holz oder Kohle. Bei den Kindern war neben dem Geschlecht die regionale Zuordnung zu den alten bzw. neuen Bundesländern ein signifikantes Gliederungsmerkmal.

Rauchen

Für die Erwachsenen stellt das Rauchen den wesentlichsten Expositionspfad dar. Aus diesem Grund und weil bei den Betrachtungen über andere potentielle Prädiktoren häufig auf das Rauchen zurückzuführende Confoundereffekte zu berücksichtigen sind, sei dieser Einflußfaktor vorangestellt.

Wie bereits in Kapitel 2 festgestellt, spiegelt der Cadmiumgehalt im **Blut** eher die aktuelle Belastung wider. Dies bedeutet, daß sich der aktuelle Rauchstatus deutlich am Gehalt im Blut erkennen läßt und eine hohe Korrelation zwischen der Anzahl der zum Zeitpunkt der Erhebung täglich gerauchten Zigaretten und dem Gehalt

im Blut zu erwarten ist. In vielen Studien ist dieser Zusammenhang deskriptiv belegt worden (Alessio et al. 1990 und 1993, Ducoffre et al. 1992, Ewers 1990, Ewers et al. 1993, Friberg und Vahter 1983, Grasmick et al. 1985, Pocock et al. 1988, Wetzel et al. 1994, Willers et al. 1992). In Studien mit einer multivariaten statistischen Auswertung sind Rauchmerkmale immer die wesentlichsten (Alessio et al. 1994, Sartor et al. 1992, Staessen et al. 1990) oder sogar die einzigen Prädiktoren (Brockhaus et al. 1983, Elinder et al. 1983b, Grandjean et al. 1992).

Auch auf den Cadmiumgehalt im **Urin** hat das Rauchen einen großen Einfluß. In einigen Studien wird deutlich, daß sich die Dauer des Rauchens stärker in den Gehalten im Urin als im Blut widerspiegelt (Ewers et al. 1985, Jessen et al. 1984, Sartor et al. 1992, Svensson et al. 1987, Grasmick 1985). Dies ist vor dem Hintergrund, daß der Gehalt im Urin eher die chronische Exposition und damit den Cadmiumgehalt in der Niere abbildet, plausibel. In vielen Untersuchungen an Autopsiematerial konnte ein Zusammenhang zwischen dem früheren Rauchverhalten und dem Gehalt im Nierengewebe ermittelt werden (Blanusa et al. 1985, Angerer et al. 1988, Drasch et al. 1985, Hahn et al. 1987, Scott et al. 1987, Summer et al. 1986, Thürauf et al. 1986).

Ein Einfluß des Passivrauchens auf den Cadmiumgehalt in Blut/Urin von Erwachsenen oder Kindern konnte bisher nicht belegt werden (z. B. Hofstetter et al. 1990, Weishoff-Houben et al. 1992, Willers et al. 1988 und 1992).

Für eine mögliche Berücksichtigung als Einflußgrößen bei der multivariaten Auswertung der Cadmiumgehalte im Blut und im Urin kommen aufgrund der vorliegenden Informationen der **Rauchstatus**, die **Zahl der zum Erhebungszeitpunkt täglich gerauchten Zigaretten**, die vorangegangene **Rauchdauer** und der **Thiocyanatgehalt im Serum** in Frage. Ergänzend stehen im Rahmen des Umwelt-Surveys Fragebogenangaben zur **Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens**, zur **Zahl der früher gerauchten Zigaretten** sowie verschiedene Informationen zum **Passivrauchen** zur Verfügung.

Individuelle und medizinische Variablen

Der Einfluß des **Geschlechtes** auf den Cadmiumgehalt im Blut und im Urin wird in der Literatur widersprüchlich beschrieben. In einigen Studien wird von einem bei Männern höheren Cadmiumgehalt im Blut berichtet (Alessio et al. 1990, Grasmick et al. 1985). In der Mehrzahl der Fälle wird entweder ein gleicher Gehalt im Blut für Männer und Frauen oder ein höherer Gehalt für die Frauen beschrieben. Dies gilt im allgemeinen auch dann, wenn nur die Gruppe der Nicht- bzw. Nieraucher betrachtet wird. Es wird angenommen, daß der bei Frauen häufiger vorkommende Eisenmangel und die damit einhergehende höhere Resorption von Cadmium die Ursache darstellt (Elinder 1983b, Ewers 1990).

Bezüglich des Cadmiumgehaltes im Urin wird in der Mehrzahl der Studien von höheren Gehalten bei Frauen berichtet (Kowal und Zirkes 1983, Lauwerys et al. 1991, Sartor et al. 1992). Frauen scheiden in der Regel

weniger Creatinin mit dem Urin aus als Männer, so daß zumindest ein Teil dieses Effektes, durch den Bezug der Cadmiumgehalte im Urin auf das Creatinin verursacht sein könnte. Für den letztgenannten Zusammenhang dürfte sprechen, daß bei der Untersuchung von Nierengewebe häufig kein Effekt des Geschlechtes gefunden wird (Angerer et al. 1988, Cumbrowski 1991, Drasch et al. 1985, Hahn et al. 1987, Lopez-Antigüez et al. 1995). Sator et al. (1992) geben Hinweise darauf, daß Frauen nur vor der Menopause einen höheren Gehalt als Männer aufweisen.

Brockhaus et al. (1988) berichten im Rahmen einer großangelegten Studie an 4000 Kindern im Alter von 4 bis 11 Jahren in Nordrhein-Westfalen (NRW), daß Mädchen auch ohne Creatininbezug eine höhere Cadmiumausscheidung mit dem Urin aufweisen als Jungen, weisen aber darauf hin, daß sich die Eisenreserven der Kinder in dieser Altersgruppe nicht unterscheiden dürften. 1991 wurde die Untersuchung auf die neuen Bundesländer ausgedehnt. Bei der Untersuchung von 6jährigen Kindern konnte kein Einfluß des Geschlechtes auf den Cadmiumgehalt im Blut festgestellt werden (Begerow et al. 1994). Gleiches gilt für die Studien von Willers et al. (1988 und 1992).

Im Rahmen der deskriptiven Auswertung der Ergebnisse des Umwelt-Surveys 1990/92 (Krause et al. 1996a) hatte sich für Männer und Frauen kein signifikant unterschiedlicher Cadmiumgehalt im Blut oder im Urin ergeben. Bei nach dem Rauchstatus differenzierter Betrachtung wiesen jedoch Nieraucherinnen im Vergleich zu Nierauchern einen deutlich höheren Cadmiumgehalt im Blut auf (0,23 µg/l gegenüber 0,16 µg/l). Der Cadmiumgehalt im Urin der Nieraucher betrug entsprechend bei Frauen 0,26 µg/l und bei Männern 0,16 µg/l. Die 6- bis 14jährigen Mädchen und Jungen wiesen keinen unterschiedlichen Gehalt im Blut auf, jedoch war die Konzentration im Urin bei den Mädchen höher (Krause et al. 1996a).

Nur in wenigen Studien wird eine Zunahme des Cadmiumgehaltes im Blut mit zunehmendem **Lebensalter** beschrieben. Ewers (1990) berichtet von einer signifikanten Korrelation zwischen dem Lebensalter und dem Cadmiumgehalt im Blut der Nichtraucher eines Kollektives von 531 Männern und Frauen aus Dortmund und stellt fest, daß der Anstieg mit dem Alter offensichtlich die altersabhängige Zunahme der Cadmiumkörperlast reflektiert. Bei den Rauchern konnte keine solche Abhängigkeit gefunden werden. Bei der in der Bundesrepublik durchgeführten VERA-Studie (Verbundstudie Ernährungserhebung und Risikofaktoren Analytik) wurde eine Tendenz zu mit dem Lebensalter abnehmenden Gehalten von Cadmium im Blut beschrieben. In der Gruppe der Nichtraucher zeigte sich jedoch eine gegenläufige Tendenz (Wetzel et al. 1994).

In der Mehrzahl der ausländischen Studien wird ebenfalls kein oder nur ein schwacher Effekt des Alters auf den Cadmiumgehalt im Blut festgestellt. Erwähnt sei hier auch das Ergebnis einer Metastudie, über die Alessio et al. (1994) berichten. Das Lebensalter erwies sich in der multivariaten Auswertung als ein signifikanter Prädiktor, wobei ein positiver Zusammenhang festgestellt wurde.

Ein etwas anderes Bild ergibt die Sichtung der Literatur bezüglich des Einflusses des Lebensalters auf den Cadmiumgehalt im Urin. Fast immer wird von einer Zunahme des Cadmiumgehaltes im Urin in den ersten Lebensjahrzehnten berichtet. Daran anschließend wird sehr häufig eine Abnahme der Gehalte gefunden, wobei der Zeitpunkt der Umkehrung der Tendenz zwischen dem ca. 40. (Alessio 1993) und 70. Lebensjahr (Kowal und Zirkes 1983) liegt. Meist wird ein Bereich um das 50. Lebensjahr angenommen (Abe et al. 1986, Sartor et al. 1992). Erklärt werden diese Befunde zum einen damit, daß die Konzentration im Urin die Belastung der Niere und damit die kumulierte Körperlast reflektiert. Waren also die älteren Personen in ihrer Jugend weniger belastet, ist auch ihre Gesamtkörperlast niedriger (Drasch et al. 1985, Ewers 1990). Andererseits wird auch eine altersabhängige Ausscheidung von Cadmium, die mit der Funktionstüchtigkeit der Niere in Zusammenhang stehen kann, nicht ausgeschlossen (Mai und Alsen-Hinrichs 1997).

Brockhaus et al. (1988) stellten bei ihren Untersuchungen an 4- bis 11jährigen Kindern aus NRW einen leichten Anstieg der Cadmiumgehalte im Blut - nicht jedoch im Urin - mit dem Lebensalter fest.

Im Rahmen der deskriptiven Auswertung der Daten des Umwelt-Surveys 1990/92 (Krause et al. 1996a) wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Cadmiumgehalt im Urin und dem Lebensalter festgestellt. Der Cadmiumgehalt im Blut zeigte jedoch keinen signifikanten Zusammenhang mit dem Lebensalter. Für die untersuchten 6- bis 14jährigen Kinder konnte ein signifikanter Effekt des Lebensalters weder auf den Cadmiumgehalt im Blut noch auf den Cadmiumgehalt im Urin festgestellt werden (Krause et al. 1996a).

Ernährung

Für Nichtraucher stellt die Nahrung den wesentlichsten Aufnahmepfad von Cadmium dar. Eine Zuordnung zu bestimmten Lebensmitteln oder Lebensmittelgruppen als Quellen ist jedoch schwierig, da zum einen der Cadmiumgehalt in dem jeweiligen Lebensmittel zu berücksichtigen ist, zum andern aber auch die Verzehrshäufigkeit. Lebensmittel wie Innereien und Wildpilze können zwar wesentlich zur Aufnahme von Cadmium mit der Nahrung beitragen, werden aber nicht in erheblichem Umfang konsumiert. Weizen, Kartoffeln und Reis dagegen können wegen der relativ hohen Verzehrshäufigkeit erheblich zur oralen Cadmiumaufnahme beitragen. Im allgemeinen wird angenommen, daß pflanzliche Nahrung einen höheren Beitrag zur Cadmiumaufnahme leistet als tierische Nahrung. Chutsch et al. (1990) berichten folgerichtig von einer bei Vegetariern vergleichsweise höheren Körperlast, die sich auch für Nichtraucher beim Vergleich der Cadmiumgehalte im Blut der Vegetarier und Nicht-Vegetarier zeigte.

Auch in anderen umweltepidemiologischen Studien gelingt es nicht, durch Abfragen der Verzehrshäufigkeiten bestimmter Lebensmittel die Aufnahme von Cadmium mit der Nahrung ausreichend zu erfassen und Zusammenhänge zur Körperlast daraus abzuleiten. Grandjean et al. (1992) fanden z. B. keinen Zusammenhang zu der Verzehrshäufigkeit von Innereien. Paulsen et al. (1996) und Wetzal et al. (1994) erfragten - ohne erkennbare

Zusammenhänge aufzeigen zu können - die Verzehrshäufigkeiten einer Vielzahl von Lebensmitteln, und Strehlow und Barltrop (1988) konnten im Rahmen einer 7-Tage-Duplikatstudie keinen Zusammenhang zwischen der Aufnahme von Cadmium und dem Gehalt im Urin erkennen.

In den meisten Studien wird kein Zusammenhang zwischen dem **Konsum von Alkohol** und der korporalen Cadmiumbelastung aufgezeigt oder es wird ausdrücklich auf die Störvariable des Rauchens hingewiesen (Alessio 1993, Pocock et al. 1988, Elinder et al. 1983b, Staessen et al. 1990, Wetzel et al. 1994). Nur Grasmick et al. (1985), die in Frankreich ca. 6500 Personen untersuchten, stellten unabhängig vom Rauchverhalten eine Abnahme des Cadmiumgehaltes im Blut mit zunehmendem Alkoholkonsum fest. Eine biologische Hypothese zur Erklärung wurde aber von ihnen nicht angeboten.

Im Rahmen der Auswertungen des Umwelt-Surveys 1990/92 wurde ein signifikanter Zusammenhang zwischen der täglich konsumierten Alkoholmenge (berechnet aus den Angaben zum Konsum von Wein/Sekt/Obstwein, von Bier und hochprozentigen alkoholischen Getränken) und dem Cadmiumgehalt im Blut aufgezeigt. Es wurde darauf hingewiesen, daß Störgrößen wie der Rauchstatus und das Geschlecht wirken könnten. Der Zusammenhang zur Häufigkeit des Konsums von bestimmten alkoholischen Getränken (Bier, Wein, Schnaps) war nicht signifikant.

Auch bezogen auf den Cadmiumgehalt im Urin wurde ein Zusammenhang zur konsumierten Alkoholmenge festgestellt. Hier waren die Merkmale **Häufigkeit des Konsums von Wein/Sekt/Obstwein** und **Häufigkeit des Konsums von Bier** signifikant. Die Signifikanz war auch in der Gruppe der Nieraucher nachweisbar (Krause et al. 1996a).

Aufenthaltszeiten

Aus der Sicht der Definition der Exposition als Produkt der Konzentration einwirkender Schadstoffe und der Einwirkzeit erlangen die Aufenthaltszeiten in den verschiedenen Lebensbereichen eine wichtige Bedeutung. Im Rahmen der Befragung wurden Erwachsene und Kinder nach verschiedenen Aufenthaltszeiten in Wohnräumen sowie außerhalb geschlossener Räume, im Freien und im Grünen, befragt. Die Zeiten wurden getrennt nach warmer und kalter Jahreszeit erhoben.

Tätigkeiten

Besonders bei Kindern kann der Kontakt mit Erdboden einen möglichen Expositionspfad bzgl. des Cadmiums darstellen. Daher wurden die **Häufigkeit von Buddeln/Graben/Höhlenbauen** und die Häufigkeit der **körperlichen Betätigung im Freien** als potentielle Prädiktoren berücksichtigt. Es wurde auch nach **Hobbies** gefragt, die einen Kontakt mit cadmiumhaltigen Materialien vermuten lassen (Löten, Töpfern mit farbigen Glasuren, Malen mit gelben und roten Farben).

Krankheiten und Medikamentengebrauch

In der Literatur finden sich Hinweise, daß die Einnahme von Medikamenten oder das Vorhandensein einer infektiösen Krankheit einen Einfluß auf die Ausscheidung von Cadmium mit dem Urin hat (Goyer 1989, Herber 1992, Lopez-Antigüez et al. 1995). Im Rahmen des Gesundheitssurveys wurde die Häufigkeit der Einnahme diverser Medikamente abgefragt. Diese Angaben werden entsprechend berücksichtigt.

Region und Wohnungsumfeld

Die in dieser Gruppe zusammengefaßten potentiellen Prädiktoren beschreiben im wesentlichen den direkten oder indirekten Einfluß von Immissionen. In Ballungsgebieten, industrialisierten Regionen und Regionen mit hohem Verkehrsaufkommen liegen höhere Cadmiumimmissionen vor (Lahmann 1993).

In einigen Studien konnte ein Zusammenhang zwischen einer eher ländlichen oder eher städtischen Wohnumgebung und der korporalen Cadmiumbelastung aufgezeigt werden (Alessio et al. 1994, MURL 1993, Weishoff-Houben et al. 1992). Es scheint allerdings, daß dieser Zusammenhang sich deutlicher in Bezug auf den Cadmiumgehalt im Urin zeigt als in Bezug auf den Cadmiumgehalt im Blut. Bei Studien, die den Cadmiumgehalt im Blut zugrunde legen, gelingt es seltener, einen entsprechenden Zusammenhang aufzuzeigen (Brockhaus et al. 1983, Grandjean et al. 1992, Wetzal et al. 1994, Willers et al. 1988).

Außerdem wurden Studien durchgeführt, die eine erhöhte Belastung mit Cadmium in der Umgebung von speziellen Cadmiumemittenten oder in Regionen mit spezieller Cadmiumbelastung durch Industrieansiedlungen zeigen konnten (Brockhaus et al. 1988, Ewers 1990, Ewers et al. 1988, Sartor et al. 1992).

Für die multivariate Auswertung im Rahmen der vorliegenden Arbeit werden Merkmale wie die **Gemeindegrößenklasse**, das **Wohngebiet** (ländlich, vorstädtisch, städtisch) oder die **Bebauungsart** des Wohngebietes (z. B. Blockbebauung mit und ohne Grün) als potentielle Prädiktoren berücksichtigt. Der **Cadmiumnieder-**

schlag in der Außenluft wurde im Rahmen des Umwelt-Surveys analytisch erfaßt und gleichfalls in die Liste der potentiellen Prädiktoren aufgenommen.

Die direkte Beeinflussung durch potentielle Emittenten in der Wohnumgebung ist z. B. durch die Frage nach **Gewerbe, Kläranlagen, Müllverbrennungsanlagen** oder **Werkstätten im Umkreis von 3 km** zur Wohnung einbeziehbar. Dies gilt auch für die Fragen nach den **Verursachern einer schlechten Luftqualität** (Industrie/Gewerbe, private Verbraucher, Kraftwerke).

Die mögliche Exposition durch den Straßenverkehr wurde durch die Frage nach der **Aufenthaltszeit in motorisierten Fahrzeugen** erfaßt. Außerdem standen für den Bereich der Wohnumgebung die Fragen nach Werkstätten, Fahrstraßen, Landwirtschaftsflächen und Gärten in Hausnähe (bis 10 m Entfernung) zur Verfügung. Die ausführliche Aufstellung der berücksichtigten Merkmale der Wohnumgebung findet sich im Anhang (Abschnitt 14.4).

Häuslicher Bereich

Expositionen im häuslichen Bereich können durch interne Quellen (Heizungssysteme, häusliche Aktivitäten wie Hobbys, Renovierungstätigkeiten etc.) oder entsprechende Einträge von außen (Kleidung, Fenster, Türen) verursacht sein.

Im häuslichen Wohnbereich wurden im Rahmen des Umwelt-Surveys unter anderem **der Cadmiumgehalt im häuslichen Staubbiederschlag** und der **Cadmiumgehalt im Staubsaugerbeutel** bestimmt. Diese werden als potentielle Prädiktoren für den Cadmiumgehalt im Blut und im Urin berücksichtigt.

Das **Alter des Wohnhauses** und die Wohndauer wird wegen der möglicherweise länger zurückliegenden Verwendung von cadmiumhaltigen Baumaterialien einbezogen. Unterschiedliche **Energieträger für Koch- und Heizzwecke** führen zu einer unterschiedlichen Staubbelastung in der Wohnung und könnten daher auch für die korporale Belastung von Bedeutung sein. Bei der deskriptiven Auswertung der Daten des Umwelt-Surveys 1990/92 wurde bei Vorhandensein einer Ofenheizung mit Holz oder Kohle ein höherer mittlerer Cadmiumgehalt im Blut und im Urin der Erwachsenen geschätzt, der allerdings nur in den neuen Bundesländern signifikant höher war (Krause et al. 1996a).

Ähnlich wie in den Studien von Begerow et al. (1994) und Weishoff-Houben et al. (1992) konnte im Rahmen der deskriptiven Auswertung der Daten des Umwelt-Surveys 1990/92 für die untersuchten Kinder kein Zusammenhang zum vorhandenen Heizsystem oder zum Bualter des Wohnhauses festgestellt werden (Krause et al. 1996a).

Arbeitsplatz und soziale Stellung

In vielen der bisher durchgeführten Studien zur Belastung der Allgemeinbevölkerung werden Probanden mit erhöhter beruflicher Belastung häufig von vornherein von der Untersuchung ausgeschlossen. In nicht restriktiven Bevölkerungsstichproben, wie z. B. in der vorliegenden Studie, ist eine konkrete Belastung am Arbeitsplatz relativ sehr selten gegeben. Im Rahmen des Umwelt-Surveys 1990/92 gaben nur 21 Probanden, d. h. 0,5 % der Stichprobe, an, häufig bzw. sehr häufig am Arbeitsplatz einer Cadmiumexposition ausgesetzt zu sein.

In speziellen Untersuchungen im Umfeld der cadmiumverarbeitenden Industrie wurden Zusammenhänge zur korporalen Cadmiumbelastung aufgedeckt (Alessio et al. 1990, Karakaya et al. 1993, Kawada et al. 1990, Sartor et al. 1992). Brockhaus et al. (1988) beschrieben z. B. höhere Cadmiumgehalte im Blut und im Urin bei Kindern von Bleiarbeitern, und Ewers et al. (1985) fanden höhere Gehalte im Urin von Frauen, deren Ehemänner in der Zink- bzw. Bleiindustrie beschäftigt waren.

In diversen Studien wurde ein möglicher Zusammenhang zwischen der **beruflichen Stellung** (Arbeiter, Angestellter, Beamter, Selbständiger) und der korporalen Cadmiumbelastung bei der Auswertung berücksichtigt. Pocock et al. (1988) und Wetzal et al. (1994) berichten über einen höheren Cadmiumgehalt im Blut bei Arbeitern bzw. „Handarbeitern“, der auch nach der Berücksichtigung des Rauchstatus zumindest als Tendenz erhalten blieb. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, daß Störgrößen, die dem Lebensstil oder der Ernährung zuzuordnen sind, nicht auszuschließen sind (Herber et al. 1992).

Für die Auswertung der Daten des Umwelt-Surveys 1990/92 wurden eine Vielzahl von potentiellen Prädiktoren zur Beschreibung der Exposition am Arbeitsplatz herangezogen. Diese beinhalten Fragen wie das Vorfinden von **Cadmium am Arbeitsplatz** und die **Berufstätigkeit in einer potentiell belasteten Branche**. Die vollständige Auflistung findet sich im Anhang (Abschnitt 14.4).

Die Fragen nach der **Berufstätigkeit** (ja/nein), der **beruflichen Stellung**, dem **Haushaltseinkommen** und der **Schulbildung** wurden ebenfalls in die Liste der potentiellen Prädiktoren aufgenommen. Im Rahmen der multivariaten Auswertung wird sich zeigen, inwieweit diese Merkmale als Confounder einer Rauch- oder Arbeitsplatzbelastung anzusehen sind oder darüber hinausgehende Belastungen reflektieren.

3.2 Cadmium im Kopfhhaar

Die Grundlage der multivariaten Auswertung des Cadmiumgehaltes im Kopfhhaar bildet der bei den Auswertungen zum Cadmiumgehalt in Blut und Urin herangezogene Variablensatz. Dieser wird allerdings um einige speziell für die Analyse der Gehalte in den Kopfhhaaren relevante haarspezifische Faktoren erweitert. Dies sind

die **natürliche Haarfarbe**, die **Haarlänge** und der **Haarwuchs**, die chemische Haarbehandlung in Form einer **Dauerwelle** oder einer **Färbung/Tönung** und die **Zeit seit der letzten Haarwäsche**.

Im Rahmen der bivariaten Auswertung der Daten des 2. Umwelt-Surveys 1990/92 (Krause et al. 1996b) zeigte sich weder der Cadmiumgehalt in den Haaren der Erwachsenen noch der Kinder von der natürlichen Haarfarbe beeinflusst. Auch der Zeitraum seit der letzten Haarwäsche zeigte keinen Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Haar. Bei Anwendung einer Dauerwelle, nicht aber bei Färbung/Tönung, lagen höhere Cadmiumgehalte vor.

Außerdem zeigte sich für die Erwachsenen ein Zusammenhang zwischen dem Cadmiumgehalt im Haar und dem **Geschlecht**, dem **Schulabschluß** und dem **Rauchstatus**. Weitere Abhängigkeiten ergaben die Gliederungsmerkmale **Staubbelastung am Arbeitsplatz**, **Cadmiumgehalt im Trinkwasser**, **Ofenheizung mit Holz oder Kohle**, **Cadmiumniederschlag im Innenraum**, **täglicher Aufenthalt außerhalb geschlossener Räume** und die **Jahreszeit**.

Ein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Cadmiumgehalt im Blut bzw. im Urin und dem Gehalt in den Haaren konnte nicht ermittelt werden. Die erwachsene Bevölkerung der neuen Bundesländer wies einen deutlich höheren mittleren Cadmiumgehalt in den Haaren auf als die der alten Bundesländer.

Bei den Kindern wurden das **Geschlecht**, der **Cadmiumgehalt im Trinkwasser**, die **Jahreszeit** und die **Häufigkeit der körperlichen Betätigung im Freien** als Gliederungsmerkmale herangezogen. Die Kinder aus den neuen Bundesländern wiesen ebenso wie die Erwachsenen einen im Vergleich zu denen aus den alten Bundesländern höheren Cadmiumgehalt in den Haaren auf.

3.3 Cadmium im Hausstaub

Cadmium kann durch interne oder externe Quellen in den Hausstaub gelangen. Externe Quellen sind Boden und Staub, der Schuhen oder Kleidung anhaftet, und die Außenluft, die durch Türen und Fenster eingetragen wird. Wohnungsinterne Quellen ergeben sich durch Aktivitäten wie Rauchen, Hausbrand, Renovierungen oder Hobbyaktivitäten.

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchung wurde zum einen der häusliche Cadmiumniederschlag (Staubsammelbecher), zum anderen der Cadmiumgehalt im Staubsaugerbeutelinhalt der Haushalte bestimmt. Zwar kann davon ausgegangen werden, daß der Cadmiumgehalt in den Staubsaugerbeutelinhalt in weit größerem Maß als der Cadmiumniederschlag durch den Eintrag von Boden und Straßenstaub beeinflusst ist, dennoch wird für beide Matrices zunächst der gleiche Satz potentieller Prädiktoren verwendet. Dieser wird für die jeweilige Probenart um bestimmte potentielle Einflußgrößen erweitert.

Als potentielle Prädiktoren werden sämtliche Variablen, die bei der deskriptiven Auswertung der Daten des 2. Umwelt-Surveys 1990/92 als signifikante Gliederungsmerkmale herangezogen wurden, berücksichtigt. Bezogen auf die Erwachsenen sind dies für den Staubbiederschlag (Staubsammelbecher) die Bebauungart in der Wohnumgebung, das Baujahr des Wohnhauses, die Heizungsart, das Halten von Haustieren mit Fell oder Federn, die Zugehörigkeit von Kindern bis 14 Jahre zum Haushalt und die (subjektive) Beurteilung der Luftqualität in der Wohnung. Außerdem wurden in der bivariaten Auswertung signifikante Zusammenhänge mit der Wohndichte, der Anzahl der Raucher, dem Vorhandensein von Pflanzen, der Art des Bodenbelages und der Dichtigkeit der Fenster des Aufstellraumes des Staubsammelbechers festgestellt. Es war zudem von Bedeutung, ob eine Straße vom Raum aus sichtbar ist oder nicht.

Der Cadmiumniederschlag in den Wohnräumen erwies sich bei der deskriptiven Auswertung in den neuen Bundesländern als signifikant höher als in den alten Bundesländern. Dies gilt sowohl für die Erwachsenen als auch für die Kinder. Bei den Kindern war neben diesem Merkmal nur die Wohndichte im Aufstellraum des Staubsammelbechers von Bedeutung (Friedrich et al. in Vorbereitung).

Bei den Proben aus den Staubsaugerbeuteln wurde die Cadmiumkonzentration auf die gesammelte Staubmasse bezogen ($\mu\text{g Cd/g Staub}$). Zur deskriptiven Berichterstattung wurden die Gliederungsmerkmale Gemeindegröße und Haustyp herangezogen. Außerdem erwies es sich für Cadmium als statistisch signifikant, ob mit dem Staubsauger auch außerhalb der Wohnung gesaugt wurde (Friedrich et al. in Vorbereitung).

Zusätzlich zu diesen potentiellen Prädiktoren, die für die deskriptive Auswertung als wesentlich erachtet wurden, erfolgte eine Erweiterung der Merkmale um diejenigen Faktoren, die bereits für die Auswertung der Blut- und Urindaten als relevant erachtet wurden. Bezogen auf die Staubmatrices verlieren jedoch die mehr personenbezogenen Faktoren an Gewicht, und wohnungsspezifische Faktoren sind stärker zu berücksichtigen. Im folgenden seien diese zusammenfassend vorgestellt. Die vollständige Liste findet sich im Anhang (Abschnitt 14.4).

Neben dem Alter des Wohnhauses wird auch die Lage und Art der Wohnung in die Auswertung einbezogen (**Wohngebiet, Typ des Wohnhauses, Wohnbesitz**). Die **Wohndichte im Haushalt, Kleinkinder im Haushalt, die Anzahl der Kinder bis 14 Jahre im Haushalt** und das Halten von **Haustieren** sind potentielle Prädiktoren, welche die Nutzungsintensität der Wohnung beschreiben. Die durch das Rauchen bedingte Cadmiumexposition wird durch die **Anzahl der im selben Haushalt lebenden Raucher** erfaßt. Speziell für die Auswertung des Cadmiumniederschlags wird die **Anzahl der Raucher im Probenahmeraum** und die **Anzahl der im Probenahmeraum gerauchten Zigaretten** als Information berücksichtigt. Die Art der vorhandenen **Fenster** beeinflußt die Höhe des Luftwechsels und hat somit einen Einfluß auf die Schadstoffkonzentration in Wohn-Innenräumen.

Bei der Auswertung der Daten zu den Cadmiumgehalten im Inhalt der Staubsaugerbeutel sind zusätzliche Faktoren, die sich auf die Probenahme beziehen, zu berücksichtigen. Diese betreffen die **Verweildauer des Beutels im Staubsauger**, die Information, ob **auch außerhalb der Wohnung gesaugt** wurde und **die Art der gesaugten Böden**.

Bei der Auswertung der Daten zum Cadmiumniederschlag wurden zusätzlich Merkmale des Probenahmeraumes berücksichtigt. Diese sind im wesentlichen **Art des Raumes, Stockwerk, Bodenbelag, Fensterdichtung, Dichtigkeit der Fenster, Wohndichte im Raum, Pflanzen im Raum und Luftverbesserer im Raum** (vgl. Anhang, Abschnitt 14.4).

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 Kopfhaarproben eine Reihe von Substanzen/Verbindungen bestimmt. Zur Erfassung der Schadstoffbelastung im häuslichen Bereich wurden Trinkwasser- und Hausstaubproben untersucht. In den Gemeinden wurden darüber hinaus Proben aus den Wasserwerken, die die untersuchten Haushalte versorgen, sowie der Niederschlag in der Außenluft analysiert. Mit umfangreichen Fragebögen wurden neben soziodemographischen Daten auch lebensstilbedingte Faktoren mit potentielltem Einfluß auf die Belastung erfaßt. Eine ausführliche Studienbeschreibung findet sich in Band Ia des Umwelt-Surveys 1990/92 (Krause et al. 1996a), so daß an dieser Stelle nur eine kurze zusammenfassende Beschreibung erfolgt. Die Bestimmung von Cadmium erfolgte in den Körperflüssigkeiten Blut und Urin, im Kopfhaar, im Trinkwasser, im Staubbiederschlag in der Außenluft und im Hausstaub (Staubbiederschlag, Staubsaugerbeutelinhalt). Die Studie war multisubstanziell orientiert angelegt und weder im Hinblick auf die durchgeführte Analytik noch im Hinblick auf die Fragebögen zielgerichtet nur auf Cadmium 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. *

*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 Jugendliche im Alter von 15 - 17 Jahren (Krause et al. 1996a). 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 sollte.

In der realisierten gesamtdeutschen Stichprobe der 25- bis 69jährigen Erwachsenen waren Männer mit 49,3 % und Frauen mit 50,7 % etwa ebenso wie in der Grundgesamtheit repräsentiert, wobei als Basis der Mikrozensus 1991 (Statistisches Bundesamt) diente. Gleiches gilt auch bei getrennter Betrachtung der alten und neuen Länder. Die prozentualen Anteile der Männer und Frauen in der Stichprobe der alten Länder betrugen 49,0 % bzw. 51,0 % im Vergleich zu 49,7 % bzw. 50,3 % in der Bevölkerung. In der Stichprobe der neuen Länder sind 48,1 % Männer und 51,9 % Frauen, was nach Mikrozensus 1991 nur gering von den Anteilen in der Bevölkerung mit 48,6 % und 51,4 % abweicht.

Auch die Anteile der Stichprobe, die sich für die einzelnen Zellen in der Kombination von Geschlecht und Lebensaltersklasse sowie von Geschlecht und Gemeindegrößenklasse ergeben, stimmen gut mit den sich aus dem Mikrozensus ergebenden Anteilen der entsprechenden Zellen in der Grundgesamtheit überein. Die Differenzen in den relativen Auftrittshäufigkeiten sind überwiegend kleiner als 2 % (eine ausführliche Erläuterung findet sich bei Krause et al. 1996a).

Von 99 % der 25- bis 69jährigen Erwachsenen in der Stichprobe lagen Blutproben vor, von 100 % Urinproben, von 95 % Kopfhhaarproben, von 82 % Staubsammelbecherproben und von 98 % Staubbeutelinhalt- proben. Bei den Kindern waren die entsprechenden Anteile verfügbarer Proben 97 % (Blut), 99 % (Urin), 86 % (Kopfhhaar) und 81 % (Staubsammelbecher) (Krause et al. 1996a).

4.2 Erhebungsinstrumentarium

Zur Bestimmung der Cadmiumgehalte im Blut wurde unter Verwendung von schwermetalldarmen Vacutainer-röhrchen 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. Die Kopfhhaarproben (ca. 200 mg) wurden kopfhhautnah (4 cm proximal) am Hinterkopf entnommen. Die Hausstaubniederschlagsproben stellen den in einem normierten Polystyrol-Becher (Fa. Froli, Schloß Holte) mit einer Auffangfläche von 54,1 cm² gesammelten Staubbiederschlag dar. Der Staubsammelbecher stand ein Jahr lang in dem vom Probanden meist genutzten Wohnraum. Zur Bestimmung des Cadmiumgehaltes im Staubsaugerbeutel wurde der gesamte Staubsaugerbeutelinhalt (oder eine Probe dessen), wie er zum Zeitpunkt der Befragung im Staubsauger des Haushaltes vorlag, entnommen und bis zur Analyse in einem Vakuumverbundfolienbeutel (Fa. Wolff Walsrode AG, Walsrode) aufbewahrt. Eine ausführliche Beschreibung findet sich in Band Ia des Umwelt-Surveys 1990/92 (Krause et al. 1996a). 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 Selbstausfüllen und ein vom untersuchenden Arzt auszufüllender Anamnesebogen des Gesundheits-Surveys, ein interviewgesteuerter 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. 1996a). Die Fragebögen der Umwelt-Surveys sind in Band IIa (Radoschewski et al. 1997) als Anlage enthalten, die Fragebögen 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

Blut und Urin

Die chemische Analyse der Cadmiumgehalte im Blut (Vollblutprobe) und im Urin (Morgenurinprobe) erfolgte mit Hilfe der elektrothermalen AAS (Gerät Perkin-Elmer 5000 für Blut und Perkin-Elmer Z 3030 für Urin) bei einer Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l (Blut) bzw. von 0,05 µg/l (Urin).

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 und zum 1. Umwelt-Survey 1985/86 zu sichern. Eine detaillierte Beschreibung findet sich in Band Ia des Umwelt-Surveys (Krause et al. 1996a).

Es 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. In den Jahren 1990, 1991 und 1993 erfolgte die Zertifikatvergabe für die Bestimmung von Cadmium im Blut und von Cadmium im Urin. Die Abweichungen vom Sollwert des Ringversuchsmaterials lagen in einem Bereich um 10 %, was als gut zu bewerten ist. 1992 wurden keine Ringversuche durchgeführt.

Zur internen Qualitätskontrolle wurde während der Analyse der Urinproben das Standardmaterial „Seronorm Trace Element“ von Nycomed eingesetzt. Für Cadmium im Blut wurde als Standardmaterial „Kontrollblut für Metalle 1“ der Behring-Werke verwendet. Da dieses bei Blut über einen langen Zeitraum eingesetzte Referenzmaterial zu hohen Variationskoeffizienten und Sollwertabweichungen führte, werden in Tabelle 4.1 gleich-

zeitig die Ergebnisse der internen Qualitätskontrolle angegeben, die mit Hilfe von zusätzlich eingesetzten Standardmaterialien und nativen Bluten von Institutsangehörigen durchgeführt wurde.

Die sich ergebenden Sollwertabweichungen bei „Seronorm Trace Element“ sowie bei den zusätzlich eingesetzten Standardmaterialien für Cadmium im Blut liegen im Bereich $\pm 9\%$ und beschreiben damit einen für das Human-Biomonitoring eher geringen systematischen Meßfehler. Die relativ starke Sollwertabweichung von -38% beim „Kontrollblut für Metalle 1“ der Behring-Werke ist im Zusammenhang mit den andere Ergebnissen der internen Qualitätskontrolle nicht überzubewerten.

Die Variationskoeffizienten, die ein Maß für den zufälligen Fehler darstellen, bewegen sich mit Ausnahme der Meßwertreihen zum „Kontrollblut für Metalle 1“ in einem für die Spurenanalytik üblichen Bereich.

Tab. 4.1: Interne Qualitätskontrolle für die Analyse von Cadmium im Blut und im Urin

Survey	Referenzmaterial	Sollwert ($\mu\text{g/l}$)	n	$\bar{X}$ ($\mu\text{g/l}$)	s ($\mu\text{g/l}$)	VK (%)	SWA (%)
Blut							
Ost	Kontrollblut für Metalle 1	0,5	90	0,35	0,10	28,6	-30,0
West	Kontrollblut für Metalle 1	0,5	86	0,26	0,12	46,2	-48,0
Ost und West	Kontrollblut für Metalle 1	0,5	175	0,31	0,11	35,5	-38,0
-	Standardblut I	8,1	59	7,72	0,71	9,2	-4,7
-	Standardblut II	5,4	33	4,88	0,54	11,1	-9,0
-	Standardblut III	4,8	55	5,12	0,80	15,7	+6,7
-	natives Blut I		34	0,50	0,08	16	
-	natives Blut II		30	0,70	0,10	13,6	
-	natives Blut III		22	0,60	0,09	14,7	
Urin							
Ost	Seronorm Trace Element	3,8	40	4,1	0,5	12,2	+7,9
West	Seronorm Trace Element	3,8	34	3,9	1,0	25,6	+2,6
Ost und West	Seronorm Trace Element	3,8	72	4,0	0,8	20,0	+5,3

Anmerkung: n = Anzahl der Kontrollmessungen; $\bar{X}$ = arithmetisches Mittel; s = Standardabweichung;

VK(%) = Variationskoeffizient in % = $100\% \cdot (s / \bar{X})$;

SWA(%) = Sollwertabweichung in % = $100\% \cdot (\bar{X} - \text{Sollwert}) / \text{Sollwert}$

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

Zur Prüfung der Vergleichbarkeit der in den drei Umwelt-Surveys (1985/86 und 1990/91 in den alten Bundesländern, 1991/92 in den neuen Bundesländern) meßanalytisch gewonnenen Daten wurden 1993 parallele Wiederholungsmessungen durchgeführt. Dazu wurde von jedem der Surveys eine Teilstichprobe von je 200 vorhandenen Blut- und Urinproben zufällig ausgewählt. Das Auswahlverfahren (geschichtete randomisierte Auswahl) wurde so durchgeführt, daß die Anteile der beiden Geschlechter und der fünf Altersklassen (25-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69 Jahre) denen in der Gesamtstichprobe und damit auch in der Grundpopulation entsprachen. Um einer möglichen Verzerrung der Meßwertverteilung durch eine unzureichende Erfassung hoher Meßwerte entgegen zu wirken, wurde zusätzlich sichergestellt, daß der Raucheranteil in der Teilstichprobe mit dem der Gesamtstichprobe übereinstimmt. Ferner wurde die Reihenfolge der Kontrollmessungen so festgelegt, daß eine optimale Durchmischung in der Analysenfolge der Proben aus den drei Surveys erreicht wurde.

In der Tabelle 4.2 sind die geometrischen und arithmetischen Mittel der Erst- und Kontrollmessungen zum Vergleich angegeben. Für die Prüfung auf signifikante Unterschiede beider Meßreihen wurde der t-Test für Stichprobenpaare ohne vorherige logarithmische Transformation angewendet, da für die Differenz zwischen Original- und Wiederholungsmessung eine Normalverteilung angenommen werden kann. Ein signifikanter Unterschied zwischen Erst- und Kontrollmessung zum Signifikanzniveau 1 % liegt vor, wenn der in der letzten Spalte angegebene Fehler 1. Art kleiner oder gleich 0,001 ist, was durch Schraffierung hervorgehoben wird.

Tab. 4.2: Vergleich zwischen Erst- und Wiederholungsmessungen der Umwelt-Surveys bei Cadmium im Blut und im Urin

Probenart	Survey	GM 1. Messung	GM Kontrolle	AM 1. Messung	AM Kontrolle	t-Test Signifikanz
Blut	Umwelt-Survey West 1985/86	0,47	0,57	0,95	0,92	0,521
Blut	Umwelt-Survey West 1990/91	0,36	0,34	0,69	0,63	0,028
Blut	Umwelt-Survey Ost 1991/92	0,36	0,38	0,69	0,68	0,745
Urin	Umwelt-Survey West 1985/86	0,16	0,38	0,36	0,53	0,000
Urin	Umwelt-Survey West 1990/91	0,29	0,31	0,46	0,43	0,526
Urin	Umwelt-Survey Ost 1991/92	0,35	0,33	0,45	0,43	0,119

Anmerkung: GM = geometrischer Mittelwert; AM = arithmetischer Mittelwert; t-Test Signifikanz = sich ergebender Fehler 1. Art des t-Tests für Stichprobenpaare

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1985/86 und 1990/92, Bundesrepublik Deutschland

Für den Cadmiumgehalt im Blut kann generell eine gute Übereinstimmung der Erst- und Wiederholungsmessung festgestellt werden. Auch beim Cadmiumgehalt im Urin zeigen die Wiederholungsmessungen der neueren Umwelt-Surveys 1990/91 und 1991/92 eine hohe Übereinstimmung mit den Erstmessungen. Im Unterschied

dazu belegt die Kontrollmeßserie des 1985/86 durchgeführten 1. Umwelt-Surveys deutliche Unterschiede zu den Originalwerten, die als statistisch signifikant zu bewerten sind. Aus der Sicht der heutigen Meßanalytik ist festzustellen, daß offenbar in der ersten Erhebungsrunde des Umwelt-Surveys um etwa $0,2 \mu\text{g/l}$ zu niedrig gemessen wurde. Eine wohl entscheidende meßanalytische Veränderung war die Umstellung der Kalibrierungstechnik (Krause et al. 1996a).

Während aufgrund der eben dargestellten Ergebnisse der Wiederholungsmessungen offenbar nichts gegen einen Vergleich und eine zusammenfassende multivariate Auswertung der beiden neueren Umwelt-Surveys 1990/91 und 1991/92 bei den Cadmiumgehalten im Blut und im Urin spricht, ist ein Vergleich mit den deskriptiven und regressionsanalytischen Ergebnissen des 1. Umwelt-Surveys für Cadmium im Urin problematisch. Die in diesem Berichtsband vorgenommene Gegenüberstellung der Modelle aus dem 1. und 2. Umwelt-Survey in den alten Ländern für Cadmium im Urin bezieht sich ausschließlich auf den Vergleich der Varianzkomponenten. Ein Vergleich hinsichtlich der Prognose von Belastungen wird nicht vorgenommen. Aufgrund der durchgeführten Wiederholungsmessungen sollte das Modell des 1. Umwelt-Surveys für eine Prognose des Cadmiumgehalts im Urin nicht verwendet werden, da es in der Regel zu niedrige Werte vorhersagt.

Haar

Als Analysemethode zur Bestimmung der Elementgehalte im Haar, darunter auch der Cadmiumgehalte, wurde die ICP-MS (Gerät PQ2+, Fisons) verwendet. Die Bestimmungsgrenze für Cadmium im Haar betrug $0,006 \mu\text{g/g}$.

Das angestrebte Ziel, bei allen Probanden Kopfhhaarproben von möglichst 200 mg zu entnehmen, konnte u. a. durch die fehlende Bereitschaft einiger Probanden nicht erreicht werden, so daß auch Proben mit nur etwa 10 mg Haareinwaage vorlagen. Da die Cadmiumgehalte bei geringer Einwaage häufig überschätzt werden, wurden alle Proben mit einer Einwaage von unter 60 mg (sogenannte Kappungsgrenze) bei der Datenauswertung ausgeschlossen.

Die Haarproben des Umwelt-Surveys West wurden im Zeitraum 1991 bis 1993 und die des Umwelt-Surveys Ost im Zeitraum von 1992 bis 1994 analysiert. Externe Qualitätskontrollen wurden bei Haaren im Unterschied zu Blut und Urin nicht durchgeführt, da es hier keine Ringversuche nach TRGS 410 gibt. Interne Qualitätskontrollen wurden während des gesamten Untersuchungszeitraumes vorgenommen. Zur laufenden Qualitätskontrolle der Haaranalytik kam ein von Shanghai Institute of Nuclear Research Academia Sinica in China präpariertes Haarpulver-Referenzmaterial (GBW 09101) zum Einsatz. Bei einem Sollwert von $0,095 \mu\text{g/g}$ ergab sich als Mittelwert von 278 Messungen $0,078 \mu\text{g/g}$, was einer Sollwertabweichung von -17,9 % ent-

spricht. Der Variationskoeffizient betrug 20,5 %. Neben dem Haarpulver-Referenzmaterial wurden durchgehend weitere nicht zertifizierte Woll-Standards und interne Standards gemessen (Krause et al. 1996b).

Hausstaub

Die Bestimmung von Cadmium im Staubniederschlag und im Inhalt des Staubsaugerbeutels erfolgte durch die elektrothermale AAS (Gerät PE 5000) bei Bestimmungsgrenzen von 0,06 µg/l bzw. 0,05 µg/g. Da für die Substanzbestimmung im Hausstaub kein zertifiziertes Standardreferenzmaterial zur Verfügung stand, wurde zur internen Qualitätskontrolle das kommerziell erhältliche Standardreferenzmaterial NBS 1648 (Urban particulate matter) eingesetzt. Bei 88 Messungen ergab sich ein arithmetisches Mittel von 74,3 µg/g, was einer relativen Abweichung vom Sollwert (75 µg/g) von 0,9 % entspricht. Der Variationskoeffizient der Meßwertreihe betrug 5,7 % (Friedrich et al. in Vorbereitung).

5 Statistische Grundlagen

Im folgenden werden kurz die statistischen Grundlagen für die im vorliegenden Band vorgenommene Datenauswertung beschrieben. Insbesondere wird die zur Auswertung herangezogene Regressionsanalyse beschrieben, ihre Anwendbarkeit auf das vorhandene Datenmaterial diskutiert und die Aussagekraft erzielbarer Resultate erläutert. Die statistischen Berechnungen wurden durchgängig mit der Statistik-Software SPSS für Windows, Version 6.0 (SPSS-Manual, 1993) durchgeführt.

5.1 Datenauswertung mittels Regressionsanalyse

Ziel der im vorliegenden Band durchgeführten statistischen Auswertung ist es, die wichtigsten Einflußfaktoren für die Cadmiumkonzentration im Blut, im Urin, im Haar und im Hausstaub zu bestimmen. Dabei geht es vor allem darum, sowohl die für die Exposition bedeutsamen Emissionsquellen zu identifizieren als auch die individuellen Verhaltensweisen und Umgebungsbedingungen zu ermitteln, die hohe Cadmiumbelastungen begünstigen. Im Unterschied zu den im Rahmen der Deskriptionsbände des 2. Umwelt-Surveys (Krause et al. 1996a, 1996b, Friedrich et al. in Vorbereitung) erfolgten bivariaten statistischen Auswertungen, bei denen nur der Zusammenhang zwischen einer einzelnen potentiellen Einflußgröße und der jeweiligen Cadmiumkonzentration betrachtet wird, wurden in den folgenden Kapiteln Methoden und Verfahren der sogenannten multivariaten Statistik angewendet, um die Verflechtung verschiedener Einflußfaktoren untereinander zu berücksichtigen und die komplexe Wirkung der Einflußfaktoren auf die Cadmiumkonzentration im ausgewählten Medium, d. h. auf eine stetige metrische Zielgröße, zu erfassen.

Zur Untersuchung einer multivariaten (mehrere Variablen betreffenden) Zusammenhangsstruktur im Hinblick auf eine stetige Zielgröße eignet sich die sogenannte Regressionsanalyse, ein statistisches Verfahren, das zu einer Modellierung der Zusammenhangsstruktur führt. Als Ergebnis einer Regressionsanalyse erhält man ein Modell, das die betrachtete Zielgröße Y als Funktion mehrerer Variablen $Z_1, \dots, Z_k$ beschreibt, die durch einen stochastischen (zufälligen) Fehler-Term ε überlagert ist. Bei praktischen Anwendungen wählt man in der Regel eine lineare Funktion als einfachste Funktionsform, da diese mit Hilfe geeigneter Statistik-Software, wie SPSS, SAS oder BMDP unmittelbar bearbeitet werden kann. Das entsprechende lineare (additive) Regressionsmodell läßt sich mathematisch durch

$$Y = b_0 + b_1 \cdot Z_1 + b_2 \cdot Z_2 + \dots + b_k \cdot Z_k + \varepsilon$$

beschreiben. Hierbei sind $b_0, \dots, b_k$ unbekannte Parameter, die auch Regressionskoeffizienten genannt werden und die mit Hilfe der vorhandenen Daten geschätzt werden müssen. Die auf der rechten Seite des Regressionsmodells stehenden Variablen $Z_1, \dots, Z_k$ werden Prädiktoren genannt. Sie können in der Regel als Einflußfak-

toren interpretiert werden, da eine Veränderung ihrer Werte zu einer Änderung von Y führt, die jedoch aufgrund des gleichzeitig wirkenden zufälligen Fehlers nicht genau determiniert werden kann.

5.2 Anwendbarkeit der Regressionsanalyse

Mehrere Test- und Schätzverfahren, die bei der rechentechnischen Umsetzung der Regressionsanalyse benötigt werden, setzen voraus, daß der Fehler-Term ε und damit auch die Zielgröße Y normalverteilt ist. Bei den hier behandelten Zielgrößen handelt es sich ausschließlich um Konzentrationsmerkmale, d. h. Merkmale, deren Meßwerte grundsätzlich positiv sein müssen und deren Dichtefunktion in der Regel stark asymmetrisch ist. Somit stellt die Normalverteilung eine wenig geeignete Approximation für die Meßwertverteilung eines Konzentrationsmerkmals dar. Ott (1990) hat gezeigt, daß Konzentrationen besser durch logarithmische Normalverteilungen beschrieben werden können, und dafür auch eine meßtheoretische Begründung angegeben. In neueren Publikationen aus der Medizin, Biologie, Ökologie, Chemie und angrenzenden Gebieten wird überwiegend auf die logarithmische Normalverteilung zurückgegriffen, wenn es um die Auswertung von Konzentrationsdaten geht. Es ist deshalb naheliegend, bei der Cadmiumkonzentration im Blut, im Urin, im Haar und im Hausstaub ebenfalls von einer logarithmischen Normalverteilung auszugehen. Unter Nutzung der vorhandenen Meßdaten wurde die Hypothese der Log-Normalität mit Hilfe des χ^2 -Anpassungstests für jede Zielgröße geprüft. Die Prüfung führte in keinem Fall zur signifikanten Ablehnung der Hypothese. Auch graphische Darstellungen in Form von Histogrammen zeigen deutliche "Lognormal-Konturen".

Um eine Regressionsanalyse für eine logarithmisch normalverteilte Zielgröße Y durchzuführen, ist es zweckmäßig, zunächst die logarithmierte Variable $\ln(Y)$ zu betrachten. Wenn Y logarithmisch normalverteilt ist, dann ist $\ln(Y)$ normalverteilt, so daß für ein entsprechendes lineares Modell

$$\ln(Y) = b_0 + b_1 \cdot Z_1 + b_2 \cdot Z_2 + \dots + b_k \cdot Z_k + \varepsilon$$

die Verteilungsvoraussetzung erfüllt ist. Bei Vernachlässigung des Fehler-Terms erhält man für $\ln(Y)$ die (nichtstochastische) Regressionsgleichung

$$\ln(Y) = b_0 + b_1 \cdot Z_1 + b_2 \cdot Z_2 + \dots + b_k \cdot Z_k ,$$

die zur Vorhersage von $\ln(Y)$ geeignet ist. Wenn man beide Seiten obiger Gleichung exponiert (delogarithmiert), ergibt sich eine Regressionsgleichung für die eigentlich interessierende Zielgröße Y , nämlich

$$Y = a_0 \cdot a_1^{Z_1} \cdot a_2^{Z_2} \cdot \dots \cdot a_k^{Z_k}, \quad (*)$$

wobei zur Vereinfachung $a_i = \exp(b_i)$ als neue Parameter gewählt wurden. Man erhält somit ein einfaches multiplikatives Regressionsmodell für Y , das in den folgenden Kapiteln zur Bestimmung der wesentlichen

Einflußfaktoren für die Cadmiumkonzentration im Blut, im Urin, im Haar und im Hausstaub eingesetzt wird. Es sei darauf hingewiesen, daß auch in der neueren Literatur überwiegend multiplikative Regressionsmodelle der Form (*) für Schadstoffkonzentrationen vorgeschlagen werden (vgl. z. B. Arnetz und Nicolich 1990 (NHANES II - Studie), Begerow et al. 1994, Morisi et al. 1992, Suzuki et al. 1993, Wietlisbach et al. 1995 (MONICA-Projekt)).

5.3 Aussagekraft des Regressionsmodells

Während in dem traditionellen linearen Regressionsmodell die Zu- oder Abnahme von Prädiktorenwerten zu absoluten Veränderungen der Zielgröße führen, ist die Interpretation wertmäßiger Veränderungen in einer multiplikativen Modellgleichung der Form (*) stets relativ. Zur Illustration betrachten wir die Wertänderung des Prädiktors Z_1 von 0 auf 1. Sie bewirkt die Multiplikation des ursprünglichen Wertes von Y mit a_1 und damit eine relative Veränderung der Zielgröße um $(a_1 - 1) \cdot 100\%$.

In den multiplikativen Modellen der folgenden Kapitel werden die Prädiktoren $Z_1, \dots, Z_k$ stets so definiert, daß ihre wertmäßige Zunahme zu einem Anstieg der Zielgröße Y , d. h. zu einem Anstieg der betrachteten Cadmiumkonzentration, führt. Dies ist gleichbedeutend damit, daß die Parameter $a_1, \dots, a_k$ in (*) positive Werte annehmen. Darüber hinaus werden die Prädiktoren im folgenden einheitlich so festgelegt, daß sie minimal den Wert Null annehmen. Aufgrund dieser Festlegungen erhält die Modellkonstante a_0 in (*) eine anschauliche Bedeutung. Sie stellt nämlich den kleinstmöglichen Zielgrößenwert, d. h. die kleinstmögliche Cadmiumkonzentration, dar, die durch die Regressionsgleichung vorhersagbar ist. Ist die Modellkonstante a_0 unterhalb oder nur geringfügig oberhalb der Bestimmungsgrenze der betrachteten Cadmiumkonzentration, so spricht dies für eine gute Erfassung des unteren Meßwertbereichs durch das Modell. Eine Modellkonstante a_0 , die deutlich größer als die Bestimmungsgrenze ist, läßt vermuten, daß noch weitere wesentliche, nicht im Modell erfaßte Einflußgrößen existieren.

Mit einem Regressionsmodell kann man den Wert der Zielgröße Y vorhersagen, wenn die Werte aller Prädiktoren bekannt sind. Hat man beispielsweise nur die beiden Prädiktoren „Geschlecht“ (Männer = 0, Frauen = 1) und „Alte/Neue Bundesländer“ (alte Länder = 0, neue Länder = 1), so läßt sich das Modell unmittelbar auf die in den alten Ländern lebenden Männer anwenden, indem beide Prädiktoren gleich 1 gesetzt werden. Die Modellprognose ist eigentlich eine Vorhersage für den mittleren Zielgrößenwert der Personengruppe aller in den alten Ländern lebenden Männer. Die gleiche Prognose kann aber auch zur Vorhersage des Y -Wertes für einen bestimmten Mann aus den alten Ländern verwendet werden. Der zufällige Fehler ist allerdings bei der Individualprognose weitaus größer als bei der Gruppenprognose.

5.4 Modellgüte und Modellwahl

Zur Bewertung der Modellgüte wird in der Regressionsanalyse üblicherweise das Bestimmtheitsmaß R^2 verwendet. Mathematisch handelt es sich hierbei um das Quadrat der Korrelation zwischen der beobachteten Zielgröße Y und der Modellvorhersage Y^* . Das Maß R^2 liegt wertmäßig immer zwischen 0 und 1. Je besser das Modell ist, desto höher werden Zielgröße Y und Modellvorhersage Y^* korrelieren, d. h. desto stärker wird sich R^2 dem Maximalwert 1 nähern.

Eine andere Interpretation für R^2 ergibt sich aus der Quadratsummenzerlegung der linearen Regression. Formal kann man R^2 als den Anteil an der Varianz (Variation) von Y auffassen, der durch das Modell erklärt werden kann. Wenn man anschaulich die Zielgröße Y durch ihre Vorhersage Y^* anpassen würde, dann würde nur noch eine Variation von $(1-R^2) \cdot 100\%$ verbleiben. Diese Restvariation umfaßt alle zufälligen Meßwertschwankungen der Zielgröße und alle weiteren Störgrößen, die auf den untersuchten Zusammenhang wirken, im Modell jedoch nicht erfaßt werden. Eine hohe Restvariation spricht dafür, daß wesentliche im Modell nicht enthaltene Einflußfaktoren existieren.

In der Regressionsanalyse kommt es darauf an, ein Modell für die Zielgröße Y herzuleiten, das ein hohes Bestimmtheitsmaß R^2 aufweist. Ist R^2 groß, so sind Zielgröße Y und Modellvorhersage Y^* hoch korreliert und die Variation der Y -Werte wird weitgehend durch die Variation der Y^* -Werte erfaßt. Allgemein kann man zeigen, daß R^2 umso größer wird, je mehr Prädiktoren das Modell enthält. Dies entspricht der Erwartung, da die Hinzunahme eines Prädiktors stets auch einen Zugewinn an Information darstellt, den man zur Verbesserung der Vorhersage von Y nutzen kann. Allerdings gibt es auch einen negativen Effekt, der mit der uneingeschränkten Modellvergrößerung verbunden ist. Je mehr Prädiktoren im Modell sind, desto mehr Regressionsparameter sind zu schätzen, was bei gleichbleibendem Stichprobenumfang zwangsläufig zu einer Minderung der Schätzgenauigkeit führt. Zusammenfassend läßt sich konstatieren, daß das Modell so gewählt werden sollte, daß es eine hohe Modellgüte, gemessen an R^2 , hat und dabei auf möglichst wenige Prädiktoren zurückgreift, um geringe Schätzfehler zu sichern.

Wenn das Verhältnis von Prädiktorenzahl zu Stichprobenumfang ansteigt, kommt es zudem zu einer Überschätzung der in der Population zu erwartenden Varianzaufklärung durch das Modell. Zur Korrektur dieses Fehlers wird das sogenannte adjustierte Bestimmtheitsmaß berechnet. In den Modellen dieser Studie ist der Quotient aus Prädiktorenzahl und Stichprobenumfang stets so klein, daß sich die Korrektur nicht nennenswert auswirkt.

Die Frage nach der geeigneten Modellgröße ist nur ein Aspekt der Modellwahl. Noch wichtiger ist die Frage, welche Prädiktoren in das Modell aufzunehmen sind. Als Prädiktoren kommen zunächst alle im Rahmen des Umwelt-Surveys erhobenen Fragebogen- und Meßmerkmale mit Ausnahme der Zielgröße selbst in Frage. Damit stehen etwa 2000 Merkmale zur Verfügung. Aus diesen Ausgangsmerkmalen lassen sich noch weitere Merkmale durch Merkmalstransformation, durch Merkmalsvergrößerung infolge der Zusammenfassung von Ausprägungen sowie durch Verknüpfung mehrerer Variablen herleiten. Um ein effektives Vorgehen bei der Prädiktorenherleitung zu sichern, wurde vorab eine Vorauswahl von rund 100 potentiellen Prädiktoren getroffen, die im Anhang (Abschnitt 14.4) aufgeführt sind. Die Vorauswahl erfolgte unter inhaltlichen Gesichtspunkten unter Berücksichtigung der aus der Literatur bekannten Ergebnisse und vermuteter expositionsrelevanter Einflüsse. Ferner wurden solche Merkmale ausgewählt, die sich im Rahmen der deskriptiven Auswertung als signifikante Gliederungsmerkmale erwiesen hatten und solche, die bei der regressionsanalytischen Auswertung des 1. Umwelt-Surveys von Bedeutung waren. Diesem hypothesengeleiteten Vorgehen schlossen sich statistische Vorstudien zur Bestimmung geeigneter Merkmalstransformationen, -vergrößerungen und -verknüpfungen an.

Bei der rechentechnischen Umsetzung der Prädiktorenwahl unterscheidet man zwischen drei verschiedenen Verfahren: dem Aufwärtsverfahren, dem Abwärtsverfahren und der schrittweisen Regression. In den folgenden Regressionsrechnungen wird ausnahmslos die schrittweise Regression verwendet, da sie die Vorteile des Aufwärtsverfahrens (geringer Speicherbedarf, kurze Rechenzeit) mit dem Vorteil des Abwärtsverfahrens (Ausschluß unwesentlicher Prädiktoren) verbindet und deshalb auch als meistverwendetes Auswahlverfahren gilt. Beim Verfahren der schrittweisen Regression wird in jeder Iterationsphase geprüft, welcher der bislang unberücksichtigten potentiellen Prädiktoren zu einer maximalen Vergrößerung von R^2 führt, ob die Verbesserung statistisch signifikant ist und ob der hinzugekommene Regressionsparameter signifikant von Null abweicht (möglicher Vorwärtsschritt). Zwischen zwei Iterationsphasen wird zusätzlich getestet, ob auf einen bereits im Modell vorhandenen Prädiktor verzichtet werden kann. Es kommt zu einem Rückwärtsschritt, falls der entsprechende Regressionsparameter des erweiterten Modells nicht mehr signifikant von Null abweicht. Als Signifikanzniveaus werden die in SPSS festgelegten Standardeinstellungen $P_{in} = 0,05$ (Vorwärtsschritt) und $P_{out} = 0,1$ (Rückwärtsschritt) gewählt, die eine Konvergenz des Verfahrens sichern.

5.5 Statistische Bewertung der Prädiktoren

Wenn man die Zusammenhangsstärke zwischen einem Prädiktor Z_i und der Zielgröße Y ohne Bezugnahme auf das Modell beschreiben möchte, kann man die einfache bivariate Korrelation r_i als Maß verwenden. Sie variiert betragsmäßig zwischen 0 und 1. Je größer der Betrag der Korrelation ist, desto stärker ist der bivariate Zusammenhang zu bewerten. Ein positives Vorzeichen der Korrelation weist darauf hin, daß Prädiktor und Zielgröße gleichgerichtet sind, ein negatives Vorzeichen zeigt Gegenläufigkeit beider Variablen an.

Möchte man die Zusammenhangsstärke zwischen einem Prädiktor Z_i und der Zielgröße Y im Modell beschreiben und dabei die Abhängigkeitsstruktur zu den anderen Prädiktoren berücksichtigen, so würde sich zunächst der entsprechende Regressionskoeffizient b_i (lineares Modell) bzw. a_i (multiplikatives Modell) anbieten, da dieser Parameter den unmittelbaren absoluten bzw. relativen Modelleffekt der Veränderung der Zielgröße bei Erhöhung des Prädiktors um eine Einheit beschreibt. Da jedoch die Maßeinheiten der Prädiktoren in der Regel verschieden sind, sind die Regressionskoeffizienten untereinander nicht direkt vergleichbar. Durch eine Standardisierung kann eine Vergleichbarkeit der Parameterwerte und eine Unabhängigkeit von der gewählten Maßeinheit erreicht werden. Die standardisierten Regressionskoeffizienten werden im folgenden mit β_i bezeichnet.

Wenn die Prädiktoren eines Regressionsmodells voneinander kaum abhängen, d. h. geringe Korrelationen aufweisen, so ist die Zusammenhangsstärke zwischen einem Prädiktor Z_i und der Zielgröße Y im Modell etwa die gleiche wie bei bivariater Betrachtung. Die Kennwerte r_i und β_i weichen nur gering voneinander ab (im Grenzfall linearer Unabhängigkeit der Prädiktoren stimmen sie sogar überein). Bei hohen Korrelationen zwischen Prädiktoren, einem Problem, das in Kapitel 5.9 näher betrachtet wird, kann es zu größeren Abweichungen zwischen r_i und β_i kommen. Um die Bedeutung eines Prädiktors Z_i für die Zielgröße zu beschreiben, eignet sich ein Maß, das beide Kennwerte r_i und β_i in gleichem Grade berücksichtigt. Ein solches Maß ist das Produkt $r_i * \beta_i$.

Das zur Bewertung des Prädiktors Z_i vorgeschlagene Produkt $r_i * \beta_i$ hat eine sehr anschauliche Bedeutung. Wenn man nämlich die berechneten Produkte aller Prädiktoren summiert, ergibt sich das Bestimmtheitsmaß R^2 , d. h. es gilt die Beziehung

$$R^2 = r_1 \cdot \beta_1 + r_2 \cdot \beta_2 + \dots + r_k \cdot \beta_k \quad .$$

Die summierten Produkte ergeben also den durch das Modell aufgeklärten Anteil an der Varianz von Y . Das Produkt $r_i * \beta_i$ kann man nun als den Beitrag zur Varianzaufklärung auffassen, der auf den Prädiktor Z_i zurückzuführen ist. Man spricht auch von der i -ten Varianzkomponente. Je größer die Varianzkomponente, desto bedeutsamer ist der Prädiktor.

5.6 Gültigkeitsbereiche der Modelle

Im Rahmen des 2. Umwelt-Surveys wurde eine repräsentative Personenstichprobe von Erwachsenen im Alter von 25 bis 69 Jahren aus allen 16 Bundesländern Deutschlands gezogen, die auch als Grundlage für die inferenzstatistische Auswertung des vorliegenden Bandes dient. Ferner wurde bundesweit eine zweite Stichprobe von 6- bis 14jährigen Kindern in die Untersuchung einbezogen. Ziel ist es, Regressionsmodelle sowohl für die Erwachsenen als auch für die Kinder herzuleiten. Eine Zusammenführung beider Modelle ist nicht beabsichtigt,

da methodische Gesichtspunkte, wie der nicht überdeckte Altersbereich von 15 bis 24 Jahren sowie große Unterschiede in den erhobenen Fragebogendaten, dagegen sprechen. Darüber hinaus ist zu erwarten, daß für Kinder zum Teil andere Einflußfaktoren bedeutsam sind als für Erwachsene.

In der bisher vorgenommenen deskriptiven Auswertung der Survey-Daten haben sich teilweise deutliche Ost-West-Unterschiede gezeigt, die auf unterschiedliche Schadstoffbelastungen, Umgebungsbedingungen und expositionsrelevante Verhaltensweisen schließen lassen. Um Unterschiede in den Einflußfaktoren zwischen Ost und West nicht von vornherein bei den regressionsanalytischen Untersuchungen auszuschließen, werden zunächst getrennte Regressionsrechnungen für die alten und neuen Länder durchgeführt. Wenn sich hierbei zwei Modelle ergeben, die im Wesentlichen die gleichen Prädiktoren besitzen, so wird anschließend ein gemeinsames Regressionsmodell hergeleitet. Dieses sogenannte „Gesamtmodell“ kann gegebenenfalls durch den Prädiktor „Alte/Neue Länder“ erweitert worden sein. Der regionale Gültigkeitsbereich des Gesamtmodells ist Deutschland, der altersbezogene Gültigkeitsbereich ist 25 bis 69 Jahre (Modell für Erwachsene) bzw. 6 bis 14 Jahre (Modell für Kinder). Anwendungen der Modelle außerhalb der Gültigkeitsbereiche sind unzulässig.

5.7 Darstellung der Regressionsergebnisse

Es werden generell keine geschlossenen SPSS-Ausdrucke in die Darstellung der Regressionsergebnisse übernommen, da diese redundante und für den Nichtstatistiker unwichtige Informationen enthalten. Insbesondere wird in der Ergebnisdarstellung auf die Angabe von Werten verschiedener Teststatistiken, der beobachteten Irrtumswahrscheinlichkeiten, der Bestandteile der Quadratsummenzerlegung und der Freiheitsgrade verzichtet. In SPSS verwendete Variablennamen, die wegen der Beschränkung auf acht Zeichen die Variablen nur unzureichend beschreiben, werden durch ausführliche Erläuterungen ersetzt. Die Nachkommastellenzahl von in SPSS berechneten Werten wird nicht übernommen. Eine stärkere Rundung der Zahlen soll der vorgetäuschten hohen Genauigkeit von Schätzwerten entgegenwirken und zugleich die Lesbarkeit der tabellarischen Übersichten erhöhen.

Mit Hilfe der Regressionsanalyse kann man zwei sich etwas unterscheidende Aufgabenstellungen bearbeiten. Die erste und wohl auch klassische ist die Herleitung eines Modells, das zur Vorhersage, Interpolation oder Simulation eingesetzt werden kann (vgl. Kapitel 5.3). Die zweite besteht in der Quantifizierung der Einflußstärke der einzelnen Prädiktoren durch Bestimmung der Varianzkomponenten (vgl. Kapitel 5.4). Beide Aufgabenstellungen sind im Rahmen der inferenzstatistischen Auswertung der Cadmiumbelastung von Interesse, bedingen allerdings unterschiedliche Formen der Ergebnisdarstellung.

Die erste Zielsetzung erfordert eine hinreichend hohe Modellgüte. Ein Modell, das beispielsweise ein Bestimmtheitsmaß R^2 von 0,1 hat, klärt die Variation der Zielgröße nur zu 10 % auf und wird in der Regel Vorhersagen liefern, die nur geringfügig um die Trivialprognose (Stichprobenmittelwert) schwanken. Der Wert

einer derartigen Modellprognose ist zweifelhaft, zumal keine Wahrscheinlichkeitsbewertung in Form eines Prognoseintervalls mit vorgegebener Überdeckungswahrscheinlichkeit erfolgt. Andererseits enthält dieses Modell die Information über die größten aus den vorliegenden Daten bestimmbaren Einflußgrößen und kann somit der zweiten Zielsetzung durchaus gerecht werden. Werden die Varianzkomponenten der wichtigsten Einflußgrößen mit einem Modell von angegebener Güte $R^2 = 0,1$ bestimmt, so zeigt der hohe Anteil an nicht aufgeklärter Varianz anschaulich, wie unvollständig die derzeitigen Kenntnisse ist.

Die Darstellung der Regressionsergebnisse im Berichtsband wird in Abhängigkeit von der erzielten Modellgüte vorgenommen. In jedem Fall werden die Prädiktoren des Regressionsmodells sowie ihre bivariate Korrelation r_i zur Zielgröße, der entsprechende standardisierte Regressionskoeffizient β_i und die Varianzkomponente $r_i * \beta_i$ angegeben (vgl. Kapitel 5.5). Damit können entsprechend der zweiten Zielstellung die Einflußstärken der einzelnen Prädiktoren quantifiziert werden. Neben einer tabellarischen Übersicht der Kennwerte erfolgt in den Kapiteln 6 bis 9 eine graphische Darstellung der Varianzaufklärung mit Hilfe von Kreisdiagrammen.

Ist eine hinreichende Modellgüte vorhanden, wobei im Rahmen der vorliegenden Auswertung ein Bestimmtheitsmaß von mindestens 0,2 gefordert wird, so wird zusätzlich zu der eben beschriebenen Ergebnisform die Regressionsgleichung explizit angegeben. Gemäß der eingangs genannten traditionellen Zielstellung lassen sich mit Hilfe der dargestellten Modellgleichung Vorhersagen für den Cadmiumgehalt im betreffenden Medium ableiten, sofern alle Prädiktoren bekannt sind. Zur Illustration des Modells wird die Modellgleichung exemplarisch auf einen fiktiven Probanden angewendet. Außerdem wird die Veränderung der Zielgröße in Abhängigkeit von ausgewählten Prädiktoren diskutiert, graphisch dargestellt und mit entsprechenden Resultaten aus der Literatur verglichen.

5.8 Methodische Aspekte der Modellierung

Zur Herleitung der Regressionsmodelle werden durchgängig ungewichtete Daten herangezogen. Auf eine Datengewichtung, wie sie häufig vor einer deskriptiven Datenauswertung zum Ausgleich von Disproportionen in der Stichprobe vorgenommen wird, wird bei Regressionsanalysen verzichtet, da diese zu Verzerrungen (Bias) der geschätzten Effekte und der bestimmten Varianzkomponenten führen kann. Durch die randomisierte Ziehung der Ausgangsstichprobe (vgl. Krause et al. 1996a) und den großen Stichprobenumfang (4046 Erwachsene im Alter von 25 bis 69 Jahre und 736 Kinder im Alter von 6 bis 14 Jahren) ist sichergestellt, daß die Stichprobe ein hinreichend gutes Abbild der deutschen Allgemeinbevölkerung in den angegebenen Altersbereichen darstellt.

In die Regressionsrechnungen werden nur Personen mit vollständigen Datensätzen einbezogen. Personen, bei denen mindestens ein Prädiktor wertmäßig unbekannt ist, werden ausgeschlossen (missing listwise). Daraus ergibt sich, daß Merkmale, die eine größere Anzahl fehlender Werte aufweisen, als Prädiktoren wenig geeignet

sind. Durch den Verzicht auf derartige Prädiktoren in den nachfolgenden Rechnungen konnte abgesichert werden, daß die Anzahl der in die Modellbildung einbezogenen Datensätze mindestens 90 % der jeweiligen Ausgangsdatenbasis darstellt. Damit ist eine Verzerrung (Bias) der Teilstichprobe, die durch die Beschränkung auf alle vollständigen Datensätze denkbar wäre, weitgehend ausgeschlossen.

Die Durchführung einer Regressionsanalyse zur Quantifizierung von Einflußfaktoren kann zu einem Modell führen, das auch schwer zugängliche Prädiktoren enthält, z. B. mit aufwendiger Gerätetechnik gemessene Merkmale oder dem Probanden häufig nicht bekannte sekundär-statistische Informationen über bestimmte Umgebungsbedingungen. Ein solches Modell ist für eine Vorhersage weniger geeignet. Soweit dies inhaltlich vertretbar ist und der Verlust an Varianzaufklärung gering ist, wird im Rahmen der Modellierung ein schwer zugänglicher Prädiktor durch einen besser zugänglichen ersetzt, um die praktische Anwendbarkeit der Modellgleichung zu erhöhen.

Das mit der schrittweisen Regression bestimmte Modell kann noch Prädiktoren enthalten, die etwas instabil sind und nur wenig zur Varianzaufklärung beitragen. Dies liegt daran, daß die Standardeinstellungen von P_{in} und P_{out} (vgl. Kapitel 5.4) in SPSS relativ große Fehlerwahrscheinlichkeiten zulassen. Bei einer solchen Konstellation wird eine Vereinfachung des Modells vorgenommen, indem in einzelnen Rückwärtsschritten schwache Einflußgrößen herausgenommen werden. Im Text erfolgt eine Nennung und Diskussion dieser Merkmale, deren Nichtaufnahme in das Modell mit einer Verringerung von R^2 um 0,003 bis 0,005 verbunden ist.

Es wurde generell vermieden, einen solchen Prädiktor in das Modell aufzunehmen, dessen Wirkungsrichtung im Modell entgegengesetzt zur Wirkungsrichtung ohne Modell ist, d. h. bei dem die bivariate Korrelation r_i zur Zielgröße ein anderes Vorzeichen hat als der entsprechende standardisierte Regressionsparameter β_i . Damit ist gesichert, daß das Produkt $r_i * \beta_i$ stets positiv ist und als Varianzkomponente interpretiert werden kann. Negative Produkte $r_i * \beta_i$ sind zudem ein Anzeichen vorhandener Multikollinearität, so daß im Sinne einer angestrebten Modellstabilität eine Vermeidung dieses Phänomens angebracht ist (vgl. Kapitel 5.9).

Um die Wirkung einer metrischen Einflußgröße, wie z. B. die durchschnittliche Anzahl täglich gerauchter Zigaretten oder das Lebensalter des Probanden, auf die Zielgröße in ihrer funktionalen Form möglichst gut zu erfassen, wird ein entsprechender Prädiktor als „optimale“ Transformation der Einflußgröße bestimmt. Durchgängig geprüfte Transformationen sind quadratische, Wurzel-, logarithmische und Exponentialfunktionen. Die Wahl von zwei oder mehr Transformationen (inklusive Originalmerkmal) und damit die Verwendung mehrerer Prädiktoren zur Widerspiegelung der Wirkung einer betrachteten Einflußgröße wird vermieden, da diese Prädiktoren untereinander hoch korreliert sind und eine Instabilität des Modells verursachen können.

Nicht metrische diskrete Einflußgrößen mit mehr als zwei Ausprägungen, wie sie sich z. B. aus Fragebogen-Items ergeben, bei denen mehr als zwei Antworten möglich sind, werden im Rahmen der Prädiktorenableitung entweder vergrößert oder in mehrere binäre Merkmale zerlegt. Als Illustration sei die Frage nach dem Wohn-

gebiet genannt, für die drei Antwortmöglichkeiten „Land/ ländlich“, „Vorstädtisch“ und „Städtisch“ vorgegeben waren. Als ein geeigneter Prädiktor in einem der folgenden Modelle erweist sich das binäre Merkmal, das durch Zusammenfassung der ersten beiden Antworten entsteht und „Städtisches Wohngebiet“ (nein = 0, ja = 1) genannt wird. Eine Zusammenfassung von zwei anderen Antworten wäre aus methodischer Sicht auch möglich gewesen.

5.9 Untersuchungen zur Modellstabilität

Die Parameterwerte eines Regressionsmodells stellen Schätzungen dar, die wesentlich von der zugrundegelegten Stichprobe abhängen. Ein Modell ist stabil, wenn moderate Änderungen der Stichprobe zu geringen Veränderungen der Parameterwerte führen. Zur Charakterisierung der Modellstabilität eignen sich Konfidenzintervalle für die einzelnen Regressionsparameter. Für die im Band explizit angegebenen Schätzungen der Regressionsparameter werden 95%-Konfidenzintervalle berechnet. Diese Intervalle enthalten den unbekannten Parameterwert mit einer Wahrscheinlichkeit von 95%. Je kleiner die Konfidenzintervalle sind, desto robuster ist das Modell. Zur Beschreibung der Konfidenzintervallgröße eines multiplikativ wirkenden Parameters eignet sich der Quotient aus oberer und unterer Intervallgrenze, der möglichst nahe 1 sein sollte. Je größer der Stichprobenumfang ist, desto kleiner werden die Konfidenzintervalle. Die Prädiktoren des Modells, die einen großen Beitrag zur Varianzaufklärung liefern, haben in der Regel Regressionsparameter, die gut geschätzt werden (kleine Konfidenzintervalle), während bei schwächeren Prädiktoren auch mit einem stärkeren Schätzfehler des zugeordneten Parameters zu rechnen ist.

Die untere Grenze des Konfidenzintervalls hat bei der vorgenommenen Normierung des Prädiktors (vgl. Kapitel 5.3) eine anschauliche Bedeutung. Sie beschreibt den durch den Prädiktor erzielbaren Mindest-Effekt, der mit einer Wahrscheinlichkeit von 97,5 % abgesichert werden kann (neben der Überdeckungswahrscheinlichkeit des Intervalls von 95 % kommt noch die Wahrscheinlichkeit für die Überschreitung der Obergrenze von 2,5 % hinzu).

Eine mögliche Ursache für große Konfidenzintervalle der Regressionsparameter ist eine vorhandene starke lineare Abhängigkeit zwischen einigen Prädiktoren des Modells. Sie führt bei der Berechnung der Kleinsten-Quadrate-Schätzung der Regressionsparameter zu numerischen Instabilitäten (Inversion einer schlecht konditionierten Matrix aufgrund vorhandener kleiner Eigenwerte). Eine starke lineare Abhängigkeit von Prädiktoren untereinander wird häufig auch Multikollinearität genannt. Sie ist meist daran erkennbar, daß einige bivariate Korrelationen zwischen den Prädiktoren nahe 1 sind. Bivariate Korrelationen über 0,9 sollten deshalb möglichst im Rahmen der Modellbildung vermieden werden. Eine gewisse Ausnahme bilden orthogonale Prädiktoren, d. h. Prädiktoren deren Beobachtungsvektoren zueinander orthogonal sind (Hier kann es zu einer orthogonalen Zerlegung der zu invertierenden Matrix kommen, die eine numerische Stabilität sichert). Im Berichtsband

wird die Korrelationsmatrix der Prädiktoren des Modells angegeben und das Problem der Multikollinearität diskutiert.

Eine Möglichkeit zur Überprüfung der Modellstabilität ist die sogenannte Kreuzvalidierung. Hierbei wird die Ausgangsstichprobe randomisiert in zwei Teilstichproben zerlegt, für die zwei getrennte Regressionsrechnungen durchgeführt werden. Das Ausgangsmodell ist dann stabil, wenn beide Regressionsrechnungen zu den gleichen Prädiktoren führen. Ferner kann man die beiden erhaltenen Modelle, die sich in den geschätzten Parameterwerten unterscheiden werden, jeweils auf die Teilstichprobe anwenden, die nicht bei der Modellherleitung zur Verfügung stand. Der dabei entstehende Verlust an Varianzaufklärung spiegelt die Unsicherheit in der Quantifizierung der Modellgüte wider. Der Nachteil der Kreuzvalidierung besteht darin, daß die erzielten numerischen Resultate von der Ziehung der Teilstichproben abhängen und eine Wiederholbarkeit und somit Nachprüfbarkeit der Validierung nicht gegeben ist. Deshalb wird auf eine Kreuzvalidierung im Berichtsband verzichtet.

6 Cadmium im Blut

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der multivariaten statistischen Auswertung für die Cadmiumgehalte im Blut behandelt. Die dabei eingesetzte Regressionsanalyse, insbesondere die bei der Auswahl und Bestimmung eines geeigneten Regressionsmodells verwendeten statistischen Tests und Schätzungen, erfordern die Normalverteilung der Zielgröße. Um diese Voraussetzung zu erfüllen, werden die Cadmiumgehalte logarithmiert. Der Ansatz eines linearen Regressionsmodells für die logarithmierten Gehalte führt nach inverser Transformation (Exponieren) zu einem multiplikativen Modell für die ursprünglichen Cadmiumgehalte (vgl. Kap. 5.2). Die Parameter des somit erhaltenen multiplikativen Modells beschreiben die relative Zu- oder Abnahme des Cadmiumgehalts im Blut in Abhängigkeit von ausgewählten Meß- oder Fragebogenmerkmalen, welche auch Prädiktoren genannt werden.

Es werden getrennte Regressionsanalysen für alle Erwachsenen (25 bis 69 Jahre) und für alle Kinder (6 bis 14 Jahre) des Umwelt-Surveys 1990/92 durchgeführt. Einen Überblick über die mit den Regressionsanalysen erreichten Varianzaufklärungsraten sowie über die Varianzkomponenten der einzelnen Einflußgrößen (Prädiktoren) gibt Abbildung 6.1. Eine genauere Darstellung und Erörterung der multivariaten Zusammenhangsstruktur und -stärke ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

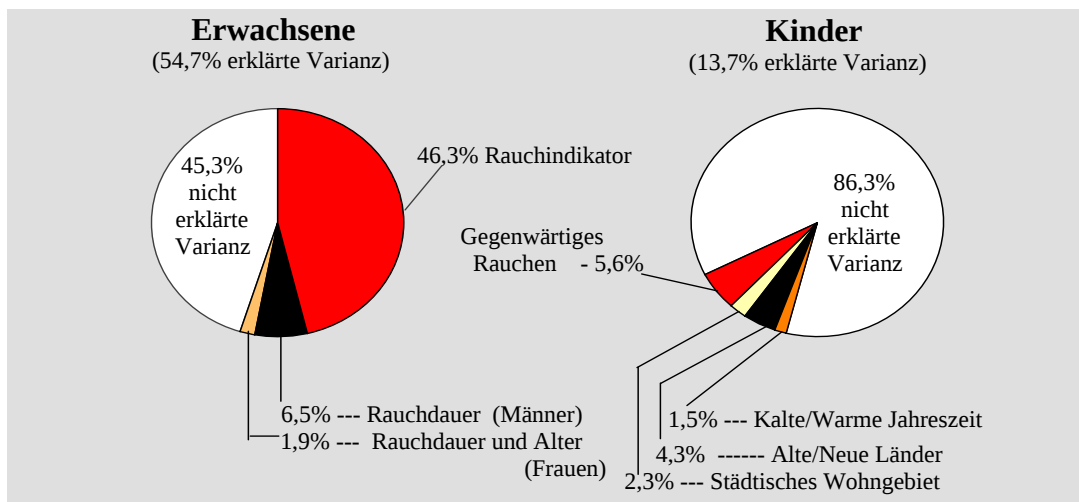


Abb. 6.1: Varianzaufklärung und Varianzkomponenten für Cadmium im Blut - Erwachsene und Kinder

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

6.1 Cadmium im Blut der Erwachsenen

Die multivariate statistische Auswertung für die Cadmiumgehalte im Blut wurde zunächst getrennt für die Erwachsenen der alten und der neuen Bundesländer (jeweils aus dem Altersbereich von 25 bis 69 Jahre) durchgeführt. Von den zirka 2000 im Rahmen des Umwelt-Surveys 1990/92 erhobenen Meß- und Fragebogenmerkmalen wurden hypothesengeleitet etwa 150 ausgewählt (vgl. Anhang, Abschnitt 14.4), die bei der Herleitung der statistischen Modelle zur Verfügung standen. Die nach Durchführung der schrittweisen Regression (vgl. Kapitel 5.4) letztendlich benötigten Merkmale zur Modellformulierung sowie die exakte Definition der Prädiktoren sind in Tabelle 6.1 angegeben.

Tab. 6.1: Prädiktoren für Cadmium im Blut bei Erwachsenen

Benötigte Merkmale Y = Cadmium im Blut in µg/l X₁ = Durchschnittliche Anzahl gegenwärtig (bei Rauchern) bzw. früher (bei Exrauchern) gerauchter Zigaretten (mit Filter, ohne Filter, selbstgedreht) pro Tag (bei Nierauchern: X₁ = 0) X₂ = Gesamtrauchdauer in Jahren (bei Nierauchern: X₂ = 0) X₃ = Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens in Monaten (bei Rauchern: X₃ = 0) X₄ = Lebensalter in Jahren X₅ = Geschlecht (männlich = 0, weiblich = 1) X₆ = Alte/ Neue Bundesländer (Alte Länder = 0, Neue Länder = 1)
Berechnung des Rauchindikators (vgl. Kapitel 6.1.1) $I_B = 0,5^{X_3/3} \cdot (1 - 0,5^{4X_2}) \cdot \ln(X_1 + 1)$
Prädiktoren Z₁ = I_B * (1 - X₆) = Rauchindikator für Personen der alten Bundesländer Z₂ = I_B * X₆ = Rauchindikator für Personen der neuen Bundesländer Z₃ = X₂ * (1 - X₅) = Gesamtrauchdauer in Jahren bei Männern Z₄ = (X₂ + X₄ - 25) * X₅ = Summe von Gesamtrauchdauer und der über 25 gehenden Anzahl von Lebensjahren bei Frauen

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

Da die beiden getrennt durchgeführten Regressionsanalysen für die alten und neuen Bundesländer zu gleichartigen Modellen führten, wird im folgenden ein Regressionsmodell für die Cadmiumgehalte im Blut der deutschen 25- bis 69jährigen Bevölkerung angegeben. Die Prädiktoren dieses zusammenfassenden Modells sind in Tabelle 6.1 definiert.

Die Festlegung der Prädiktoren erfolgte unter dem Gesichtspunkt einer maximalen Varianzaufklärung. Mit den vier Prädiktoren lassen sich 54,7 % der Varianz des Cadmiumgehalts im Blut aufklären. Bei den getrennten Regressionsmodellen für die alten und neuen Bundesländer ergeben sich unter Heranziehung von drei Prädiktoren Varianzaufklärungsraten von 51,3 % bzw. 61,2 % (vgl. Tabelle 6.3). Im Vergleich dazu betrug die Varianzaufklärung des Modells vom Umwelt-Survey 1985/86 in den alten Bundesländern 47,2 % bei acht Prädiktoren (Schwarz et al. 1993). In anderen Studien wurden mit Hilfe von Regressionsanalysen Varianzaufklärungsraten von 47,4 % bzw. 41,4 % (Sartor et al. 1992, bei acht Prädiktoren und getrennter Modellierung für Frauen und Männer), 43,0 % (Ducoffre et al. 1992, bei fünf Prädiktoren), 36,0 % (Staessen et al. 1990, bei zwei Prädiktoren) und 30,8 % (Hovinga et al. 1993, bei vier Prädiktoren) erzielt.

6.1.1 Herleitung eines Rauchindikators für Cadmium im Blut

Im Folgenden wird ein komplexer Indikator für das gegenwärtige und zeitlich zurückliegende Rauchverhalten einer Person hergeleitet. Die Notwendigkeit für die Ableitung eines derartigen Indikators, kurz Rauchindikator genannt, ergibt sich aus dem Erfordernis der gleichzeitigen Berücksichtigung von sehr verschiedenartigen Informationen zum Rauchverhalten in einem Regressionsmodell für Cadmium im Blut. Ohne einen Rauchindikator müßte man die Einzelinformationen zum Rauchen durch mehrere „nebeneinander wirkende“ Prädiktoren im Modell erfassen, womit die Komplexität des Zusammenhangs unzureichend widerspiegelt wird. Bisher publizierte Regressionsmodelle, die keinen vorher abgeleiteten Indikator enthalten, berücksichtigen das zeitlich zurückliegende Rauchverhalten nicht angemessen und sind insbesondere für die Modellierung der Cadmiumbelastung von Extrauchern ungeeignet (vgl. Kapitel 7.1.6).

Der Cadmiumgehalt im Blut eines Erwachsenen wird wesentlich durch die Rauchintensität (Rauchaktivität) der Person selbst bestimmt. Es ist bekannt, daß der für Zigaretten verwendete Tabak hohe Cadmiumkonzentrationen aufweist. Eine grobe Abschätzung für die in den westeuropäischen Ländern vorherrschenden Zigarettenmarken geht von 1 bis 2 µg Cadmium je Zigarette aus, wovon ca. 10 %, d. h. etwa 0,1 bis 0,2 µg je Zigarette, beim Rauchen inhaliert werden (Brockhaus et al. 1983, Elinder et al. 1983a, Watanabe et al. 1987, vgl. Kapitel 2).

Die Rauchintensität läßt sich gut durch die durchschnittliche Anzahl täglich gerauchter Zigaretten (mit Filter, ohne Filter, selbstgedreht), im folgenden kurz Zigarettenzahl genannt, erfassen. Die Einbeziehung der gerauchten Zigarren, Zigarillos und Stumpen bei der Berechnung der Anzahl analog zum Band IVa des Umwelt-Surveys 1985/86 (Schwarz et al. 1993) hat sich aufgrund statistischer Voruntersuchungen als weniger günstig erwiesen (Abnahme der Korrelation zwischen der Anzahlvariablen und dem logarithmierten Cadmiumgehalt). Gleiches gilt für die Einbeziehung der ebenfalls erfragten Anzahl der täglich gerauchten Pfeifen. Das Ergebnis der Voruntersuchung kann möglicherweise damit begründet werden, daß Zigarren-, Zigarillos-, Stumpen- und Pfeifenraucher im Vergleich zu Zigarettensrauchern den Tabakrauch weniger intensiv inhalieren.

Mit der Zigarettenzahl steigt der Cadmiumgehalt im Blut monoton an. Es liegt jedoch kein linearer Zusammenhang vor, da der Anstieg des Cadmiumgehalts mit steigender Zigarettenzahl abnimmt. Am besten läßt sich der Zusammenhang durch eine logarithmische Funktion beschreiben, bei der das Argument, wie bei Anzahl-Variablen üblich, vorher um 1 zu erhöhen ist. Bezeichnet X_1 die Zigarettenzahl, so erweist sich das transformierte Merkmal

$$\ln (X_1+1)$$

im Rahmen einer multivariaten Auswertung als ein geeigneter Prädiktor für den Blutcadmiumgehalt. Es ist Null, wenn die Zigarettenzahl Null ist, und steigt moderat mit zunehmendem X_1 an. Der durch die logarithmische Transformation gebildete Prädiktor liefert im Regressionsmodell eine höhere Varianzaufklärung als die Zigarettenzahl X_1 selbst und sogar eine höhere als die beiden Prädiktoren X_1 und X_1^2 zusammen, welche im Modell des Umwelt-Surveys 1985/86 verwendet wurden (vgl. Schwarz et al. 1993). Die Abflachung des Anstiegs vom Cadmiumgehalt im Blut bei hohen Zigarettenzahlen (über 20) wurde bereits von anderen Autoren festgestellt und u. a. damit begründet, daß Vielraucher die Zigaretten teilweise verglimmen lassen (Watanabe et al. 1983) oder eine beschleunigte Eliminationskinetik für Cadmium beim Überschreiten einer bestimmten Expositionsschwelle einsetzen könnte (Moreau et al. 1983). Eine Umkehr der Wirkung, d. h. eine Abnahme des Cadmiumgehalts ab einer bestimmten Zigarettenzahl, ist aus inhaltlichen Gründen allerdings nicht zu erwarten, so daß entsprechende Modellresultate (Schwarz et al. 1993, S.78), die aus der Verwendung zweier entgegengesetzt wirkenden, die Zigarettenzahl betreffenden Terme (Funktionen) resultieren, auszuschließen sind.

Der bisher diskutierte Prädiktor $\ln (X_1+1)$ erfaßt nur die momentane Rauchaktivität des Probanden. Für den Cadmiumgehalt im Blut ist jedoch auch die Rauchaktivität in den vorangegangenen Monaten (und Jahren) von Bedeutung. Deshalb wird im folgenden ein „verbesserter“ Prädiktor, kurz Rauchindikator genannt, hergeleitet, der auch die in der Vergangenheit gerauchten Zigaretten in ihrer noch andauernden Wirkung auf den gegenwärtigen Cadmiumgehalt im Blut berücksichtigen soll. Der Rauchindikator bezieht sich somit nicht nur auf die Raucher, sondern ebenso auf die Exraucher, d. h. die Personen, die früher geraucht und vor einiger Zeit mit dem Rauchen aufgehört haben.

In der folgenden heuristischen Herleitung bezeichne τ die Halbwertszeit von Cadmium im Blut, angegeben in Monaten. D. h. nach τ Monaten ist der Gehalt im Blut auf die Hälfte des Ausgangsgehalts gesunken, sofern keine weitere Cadmiumzufuhr erfolgt. Den vor τ Monaten gerauchten Zigaretten ist somit ein Wirkungsfaktor von 0,5 zuzuordnen. Allgemein ist der Wirkungsfaktor für die vor i Monaten gerauchten Zigaretten gleich $0,5$ zur Potenz i / τ .

Wir betrachten nun einen Raucher, der seit X_2 Jahren gleichmäßig stark raucht. Zerlegt man die X_2 Jahre in Monate und berechnet für jeden Monat den Wirkungsfaktor der gerauchten Zigaretten auf den heutigen Tag, so läßt sich der Gesamtwirkungsfaktor G durch Summation der auf die Monate bezogenen Faktoren berechnen. Man erhält

$$G = 0,5^{0/\tau} + 0,5^{1/\tau} + \dots + 0,5^{(12 X_2 - 1)/\tau}.$$

Da die Summe offensichtlich eine endliche geometrische Reihe darstellt, läßt sich die entsprechende Summenformel anwenden. Daraus ergibt sich

$$G = [1 - 0,5^{12 X_2 / \tau}] [1 - 0,5^{1/\tau}]^{-1}.$$

Bei einem Exraucher, der X_2 Jahre lang geraucht hat und vor X_3 Monaten mit dem Rauchen aufgehört hat, errechnet sich der Gesamtwirkungsfaktor zu

$$\begin{aligned} G &= 0,5^{X_3/\tau} + \dots + 0,5^{(12 X_2 + X_3 - 1)/\tau} \\ &= 0,5^{X_3/\tau} [0,5^{0/\tau} + \dots + 0,5^{(12 X_2 - 1)/\tau}] \\ &= 0,5^{X_3/\tau} [1 - 0,5^{12 X_2 / \tau}] \cdot [1 - 0,5^{1/\tau}]^{-1}. \end{aligned}$$

Setzt man in der für die Exraucher hergeleiteten Formel $X_3 = 0$, d. h. die Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens betrage Null Monate, so ergibt sich unmittelbar die Formel für die Raucher als Spezialfall, so daß man die zuletzt angegebene Formel als Verallgemeinerung ansehen kann.

Der Rauchindikator wird nun definiert als Produkt des Gesamtwirkungsfaktors G und der Intensität der Exposition, welche, wie bereits diskutiert, am besten durch $\ln(X_1 + 1)$ erfaßt wird. Zur Vereinfachung kann der in G vorkommende Faktor $[1 - 0,5^{1/\tau}]^{-1}$, der nur von der Halbwertszeit τ abhängt, bei der Indikatordefinition vernachlässigt werden. Während X_1 bei Rauchern als durchschnittliche Anzahl gegenwärtig gerauchter Zigaretten pro Tag definiert wurde, ist bei Exrauchern die durchschnittliche tägliche Anzahl früher gerauchter Zigaretten anzusetzen. Bei Nierauchern ist trivialerweise $X_1 = 0$. Zusammenfassend ergibt sich für den Rauchindikator die folgende allgemeine Formel:

$$I = 0,5^{X_3 / \tau} \cdot \left[1 - 0,5^{12 X_2 / \tau} \right] \cdot \ln (X_1 + 1)$$

X_1 = durchschnittliche Anzahl gegenwärtig (bei Rauchern) bzw. früher (bei Exrauchern) gerauchter Zigaretten (mit Filter, ohne Filter, selbstgedreht) pro Tag (bei Nierauchern: $X_1 = 0$)

X_2 = Gesamtrauchdauer in Jahren (bei Nierauchern: $X_2 = 0$)

X_3 = Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens in Monaten (bei Rauchern: $X_3 = 0$)

τ = Halbwertszeit des Elements (Cadmium) in Monaten

Es handelt sich um eine Drei-Faktoren-Formel, bei der jeder Faktor eine separate Information erfaßt. Der linke Faktor kann als Minderungsfaktor für Exraucher interpretiert werden. Während er für Raucher stets den Maximalwert 1 annimmt, wird er bei Exrauchern immer kleiner, je länger der Zeitraum des Nichtrauchens wird. Liegt das Rauchen mehr als $12 \cdot \tau$ Monate (τ Jahre) zurück, so wird der erste Faktor kleiner als 0,0005 und der Rauchindex kann numerisch Null gesetzt werden.

Der mittlere, mit eckigen Klammern versehene, Faktor reflektiert den Einfluß der Rauchdauer. Ähnlich wie der linke Faktor liegt er wertmäßig zwischen Null und Eins. Der Maximalwert 1 wird de facto erreicht, wenn die Rauchdauer mindestens τ Jahre beträgt. Der dritte Faktor spiegelt schließlich den Einfluß der Zigarettenzahl wider. Er variiert zwischen 0 (Nieraucher) und etwa 4,5 (Raucher/Exraucher mit einer Rauchintensität von 90 Zigaretten / Tag).

Die hergeleitete Formel gilt allgemein für beliebige Elemente und für verschiedene Kompartimente und Körperflüssigkeiten des Menschen, sofern eine Halbwertszeit bestimmbar ist. Anstelle der vorangegangenen heuristischen Formelableitung, die auf eine etwas willkürliche Zerlegung der Zeit des Rauchens in Monate aufbaut, läßt sich auch eine streng mathematische Herleitung für die Formel finden, welche die Zeit als kontinuierliche Variable beläßt und den Gesamtwirkungsfaktor als bestimmtes Integral über eine exponentielle Abklingfunktion einbezieht. Dieser „zweite Lösungsweg“ ist im Anhang (Abschnitt 14.3) dargestellt. Die Formel soll nun auf den Cadmiumgehalt im Blut angewendet werden.

Langzeituntersuchungen von Järup et al. (1983) bei beruflich cadmiumexponierten Personen haben gezeigt, daß der Rückgang der Cadmiumkonzentration im Blut durch zwei sich überlagernde Komponenten, eine Langzeit- und eine Kurzzeitkomponente, modelliert werden kann. Für die dominierende Kurzzeitkomponente wurde dabei eine Halbwertszeit von ca. 3 Monaten (zwischen 75 und 128 Tagen) ermittelt. Dieses Resultat soll im folgenden an den Daten des 2. Umwelt-Surveys empirisch überprüft werden.

Wenn eine dominierende Kurzzeitkomponente mit einer Halbwertszeit von etwa 3 Monaten existiert, so ist davon auszugehen, daß die maximale Zusammenhangsstärke zwischen dem Cadmiumgehalt im Blut und dem oben definierten Rauchindikator für einen Parameterwert nahe $\tau = 3$ gefunden wird. Als Maß für die Zusammenhangsstärke wird die bivariate Korrelation zwischen dem logarithmierten Cadmiumgehalt und dem Rauchindikator gewählt. Im Rahmen einer Simulation wird nun der Parameter τ von 1 beginnend stufenweise erhöht. Die Simulationsergebnisse sind in Tabelle 6.2 dargestellt. Es zeigt sich, daß das Optimum bei drei Monaten liegt, was das Untersuchungsergebnis von Järup et al. (1983) bestätigt.

Tab. 6.2: Simulationsergebnisse zur Bestimmung der optimalen Halbwertszeit von Cadmium im Blut (n = 3791 Erwachsene im Alter von 25 bis 69 Jahren)

Veränderung des Parameters τ des Rauchindikators										
1 Monat	2 Monate	3 Monate	4 Monate	5 Monate	6 Monate	1 Jahr	2 Jahre	5 Jahre	10 Jahre	30 Jahre
0,7084	0,7105	0,7110	0,7109	0,7106	0,7102	0,7078	0,7037	0,6884	0,6595	0,5980
Korrelation zwischen Rauchindikator und logarithmiertem Cadmiumgehalt										

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

Aufgrund der Untersuchung von Järup et al. (1983) und der Simulationsergebnisse wird für den Halbwertszeitparameter τ von Cadmium im Blut bei der folgenden statistischen Auswertung ein Wert von drei Monaten angenommen. Damit ergibt sich der Rauchindikator für Cadmium im Blut nach der allgemeinen Formel

$$I_B = 0,5^{X_3/3} \cdot (1 - 0,5^{4X_2}) \cdot \ln(X_1 + 1).$$

Bereits jetzt kann festgestellt werden, daß der Rauchindikator I_B bei der folgenden multivariaten Auswertung ein starker Prädiktor für Cadmium im Blut sein wird. Die sehr hohe bivariate Korrelation von 0,711 (vgl. Tabelle 6.2) zwischen I_B und dem logarithmierten Cadmiumgehalt sichert eine Varianzaufklärung von mindestens $(0,711)^2 \cdot 100\% = 50,6\%$.

Es sei noch bemerkt, daß die Simulationsstudie auch einen Nachweis der Robustheit des Rauchindikators I_B gegenüber geringfügigen Abweichungen von der Halbwertszeit von 3 Monaten erbracht hat. Selbst wenn man mit doppelter Halbwertszeit von 6 Monaten rechnen würde, ergebe sich immer noch eine Korrelation von 0,7102 und damit eine gesicherte Varianzaufklärung von 50,4 %.

6.1.2 Modellangabe und -anwendung

Um einen unmittelbaren Vergleich zwischen dem für die alten Bundesländer und dem für die neuen Bundesländer geltenden Modell zu ermöglichen, sind beide Modelle in Tabelle 6.3 gegenübergestellt. Gleichzeitig ist das zusammenfassende, für die gesamte Bundesrepublik gültige Regressionsmodell angegeben. Die Modellgleichungen sind sowohl in der üblichen Form mit Bezugnahme auf die Prädiktoren als auch in einer Form, die auf die Ausgangsvariablen zurückgreift, dargestellt. Neben den Modellgleichungen sind die statistischen Kenngrößen β , r und $\beta \cdot r \cdot 100\%$ angegeben worden, um die Bedeutung der einzelnen in das Modell aufgenommenen Prädiktoren einschätzen zu können. Diese werden in Kapitel 5.5 näher erklärt.

Tab. 6.3: Regressionsmodelle für Cadmium im Blut bei Erwachsenen

	Deutschland			Alte Bundesländer			Neue Bundesländer		
Prä- dik- to- ren	aufgeklärte Varianz : 54,7 %			aufgeklärte Varianz : 51,3 %			aufgeklärte Varianz : 61,2 %		
	nach Korrektur : 54,7 %			nach Korrektur : 51,2 %			nach Korrektur : 61,1 %		
	n = 3791			n = 2360			n = 1431		
	β	r	βr · 100 %	β	r	βr · 100 %	β	r	βr · 100 %
Z ₁	0,534	0,506	27,0 %	0,625	0,692	43,2 %	-	-	-
Z ₂	0,472	0,408	19,3 %	-	-	-	0,686	0,756	51,9 %
Rauchindikator (Z ₁ , Z ₂) :									
Varianzanteile			46,3 %				43,2 %	51,9 %	
Z ₃	0,186	0,352	6,5 %	0,175	0,320	5,6 %	0,206	0,409	8,4 %
Z ₄	0,204	0,094	1,9 %	0,203	0,122	2,5 %	0,207	0,042	0,9 %
Gesamtrauchdauer und Alter (Z ₃ , Z ₄) :									
Varianzanteile			8,4 %				8,1 %	9,3 %	
Y =	0,168 · 1,681 ^{Z₁} · 1,894 ^{Z₂} · 1,018 ^{Z₃} · 1,013 ^{Z₄}			0,165 · 1,700 ^{Z₁} · 1,017 ^{Z₃} · 1,013 ^{Z₄}			0,172 · 1,856 ^{Z₂} · 1,019 ^{Z₃} · 1,013 ^{Z₄}		
Y =	0,168 · 1,681 ^{I_B(1-X₆)} · 1,894 ^{I_B X₆} · 1,018 ^{X₂(1-X₅)} · 1,013 ^{(X₂+X₄-25)X₅}			0,165 · 1,700 ^{I_B(1-X₆)} · 1,017 ^{X₂(1-X₅)} · 1,013 ^{(X₂+X₄-25)X₅}			0,172 · 1,856 ^{I_B X₆} · 1,019 ^{X₂(1-X₅)} · 1,013 ^{(X₂+X₄-25)X₅}		

Anmerkungen: n = Stichprobenumfang ; β = standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell) ; r = Korrelation zwischen Prädiktor und Zielgröße Y (Maß für die Stärke des bivariaten Zusammenhangs) ; $\beta \cdot r \cdot 100\%$ = der dem Prädiktor zuzuordnende Anteil an der Varianz (Summe über alle Prädiktoren ergibt den durch das Modell aufgeklärten Varianzanteil)

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

Die Prädiktoren wurden so definiert, daß ihre Werte größer oder gleich Null sind und eine Wertzunahme zu einem Anstieg des Cadmiumgehalts im Blut führt. Damit ergibt sich der kleinstmögliche durch das Modell vorhersagbare Cadmiumgehalt dann, wenn alle Prädiktoren gleichzeitig den Wert Null haben. Aus dem Modell ist der minimale Vorhersagewert leicht ablesbar, da er identisch mit dem an erster Stelle stehenden konstanten Faktor, d. h. mit dem sogenannten Basiswert des Modells, ist. Im Gesamtmodell für die Erwachsenen ergibt sich nach Tabelle 6.3 ein Basiswert von 0,168 µg/l, der als die Grundbelastung interpretiert werden kann, welche nicht durch die Prädiktoren des Modells erklärt werden kann und demzufolge auf nicht im Modell erfaßte Einflüsse zurückgeführt werden muß. Bezogen auf die Gesamtstichprobe entspricht der Basiswert etwa dem 30. Perzentil der Häufigkeitsverteilung. Ein kleiner Teil des Meßwertbereichs, nämlich das zwischen der Bestimmungsgrenze (0,1 µg/l) und dem Basiswert liegende Intervall, wird durch das Modell nicht überdeckt. Die Basiswerte für die auf die alten bzw. neuen Bundesländer eingeschränkten Modelle weichen mit 0,165 µg/l und 0,172 µg/l nur geringfügig voneinander ab.

Die eigentlichen Modelle, d. h. die Modellgleichungen, sind im unteren Teil der Tabelle 6.3 aufgeführt. Sie sind in zwei äquivalenten Darstellungen angegeben, nämlich eine solche, die sich auf die Prädiktoren $Z_1, \dots, Z_4$ bezieht, und eine andere, die die Ausgangsvariablen und den Rauchindikator verwendet. Man kann entweder die Werte der Ausgangsvariablen und des Rauchindikators in die untere Gleichung einsetzen oder zunächst die Prädiktorenwerte berechnen und diese dann in die obere Gleichung einsetzen.

Zur exemplarischen Anwendung der Modellgleichung betrachten wir einen männlichen Probanden ($X_5 = 0$) aus den alten Bundesländern ($X_6 = 0$), der 10 Jahre lang durchschnittlich 20 Zigaretten am Tag geraucht hat ($X_1 = 20$, $X_2 = 10$) und der vor drei Monaten mit dem Rauchen aufgehört hat ($X_3 = 3$). Zunächst berechnen wir den Rauchindikator mittels der in Tabelle 6.1 angegebenen Formel zu

$$\begin{aligned} I_B &= 0,5^{3/3} \cdot (1 - 0,5^{4 \cdot 10}) \cdot \ln(20 + 1) \\ &= 0,5 \cdot 1 \cdot 3,045 \\ &= 1,523 \end{aligned}$$

Damit ergibt sich aus Tabelle 6.3 nach dem Gesamtmodell ein Cadmiumgehalt im Blut von:

$$\begin{aligned} Y &= 0,168 \cdot 1,681^{1,523} \cdot 1,894^0 \cdot 1,018^{10} \cdot 1,013^0 \\ &= 0,168 \cdot 2,206 \cdot 1 \cdot 1,195 \cdot 1 \\ &= 0,44 \text{ µg/l} \end{aligned}$$

Aufgrund der Normierung der Prädiktoren sind mit Ausnahme des Basiswertes von 0,168 alle anderen Faktoren größer oder gleich 1. Die Größe der Faktoren gibt darüber Auskunft, wie stark die einzelnen Expositions-

komponenten zur Cadmiumbelastung des betrachteten Probanden beitragen. Der Faktor 2,206 reflektiert die noch andauernde direkte Wirkung der vor drei Monaten und davor gerauchten 20 Zigaretten pro Tag auf den Blutcadmiumgehalt. Der Faktor 1,195 ist der Langzeitwirkung des Rauchens, erfaßt durch die Rauchdauer, zuzuordnen. Wenn man das in Tabelle 6.3 angegebene nur für die alten Bundesländer geltende Modell anwendet, ergibt sich mit

$$\begin{aligned} Y &= 0,165 \cdot 1,700^{1,523} \cdot 1,017^{10} \cdot 1,013^0 \\ &= 0,165 \cdot 2,244 \cdot 1,184 \cdot 1 \\ &= 0,44 \text{ } \mu\text{g/l} \end{aligned}$$

eine gleich hohe Belastung. Der Cadmiumgehalt im Blut des betrachteten Extrauchers ist damit etwa halb so hoch wie der eines durchschnittlichen Rauchers (1,04 $\mu\text{g/l}$) und doppelt so hoch wie der eines Nierauchers (0,21 $\mu\text{g/l}$, nach Krause et al. 1996a, S. 125).

6.1.3 Diskussion der im Modell erfaßten Einflußgrößen

Rauchindikator

Bei Probanden aus den neuen Bundesländern ist eine stärkere Wirkung des Rauchindikators auf den Blutcadmiumgehalt festzustellen als bei Probanden aus den alten Bundesländern. Dies legt eine Separation des Rauchindikators in die zwei in Tabelle 6.1 definierten Prädiktoren Z_1 und Z_2 nahe. Es zeigt sich, daß die Separation zu einem Anstieg des aufgeklärten Varianzanteils um über 1% führt.

Der unterschiedliche Einfluß des Rauchindikators auf den Cadmiumgehalt im Blut weist auf eine sich in Ost und West unterscheidende Wirkung einer gerauchten Zigarette hin. Um dies zu veranschaulichen, beschränken wir uns auf die Gruppe der Raucher, die seit mindestens drei Jahren Zigaretten rauchen. Bei dieser Personen-Gruppe reduziert sich der Rauchindikator auf die logarithmische Funktion der Zigarettenzahl, da die ersten beiden Faktoren des Rauchindikators (Minderungsfaktor für Extraucher, Verstärkungsfaktor durch Rauchdauer) numerisch gleich 1 zu setzen sind. In Abbildung 6.2 ist der Anstieg des Cadmiumgehalts mit wachsender Anzahl gerauchter Zigaretten grafisch dargestellt. Ein starker Ost-West-Unterschied ist unverkennbar, der bereits bei einer Zigarettenzahl von 1 statistisch nachweisbar ist, da sich die Konfidenzbänder ab dem Abzissenwert 1 nicht überschneiden.

Zur Illustration betrachten wir einen Raucher, der seit mehr als 3 Jahren durchschnittlich 20 Zigaretten am Tag raucht. Aus Abbildung 6.2 ist zu entnehmen, daß die durch diese Rauchintensität verursachte relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Blut etwa 385 % (alte Länder) bzw. 600 % (neue Länder) beträgt. Eine explizite Berechnung auf Grundlage des Gesamtmodells ergibt eine Zunahme von $(1,681^{3,045} - 1) \cdot 100\% = 386,3\%$, sofern die Person aus einem der alten Bundesländer kommt, bzw. eine Zunahme von $(1,894^{3,045} - 1) \cdot 100\% =$

599,2 %, sofern es sich um eine Person aus den neuen Bundesländern handelt. Im Vergleich zu einem Nichtraucher hat der betrachtete Raucher mit einem etwa 5- bzw. 7fach höheren Cadmiumgehalt zu rechnen, je nachdem ob er aus den alten oder neuen Bundesländern kommt. Dieser Effekt läßt sich bereits im Deskriptionsband Ia (Krause et al. 1996a) erkennen. Geht man von dem durchschnittlichen Blutcadmiumgehalt eines Nichtrauchers von $0,23 \mu\text{g/l}$ aus, so hat eine Person, die 20 Zigaretten täglich raucht, mit durchschnittlich $1,26 \mu\text{g/l}$ (ebd. S.129) bzw. mit $1,73 \mu\text{g/l}$ (ebd. S.131) tatsächlich eine etwa 5- bzw. 7fach höhere Belastung, je nachdem ob sie in den alten bzw. neuen Ländern lebte.

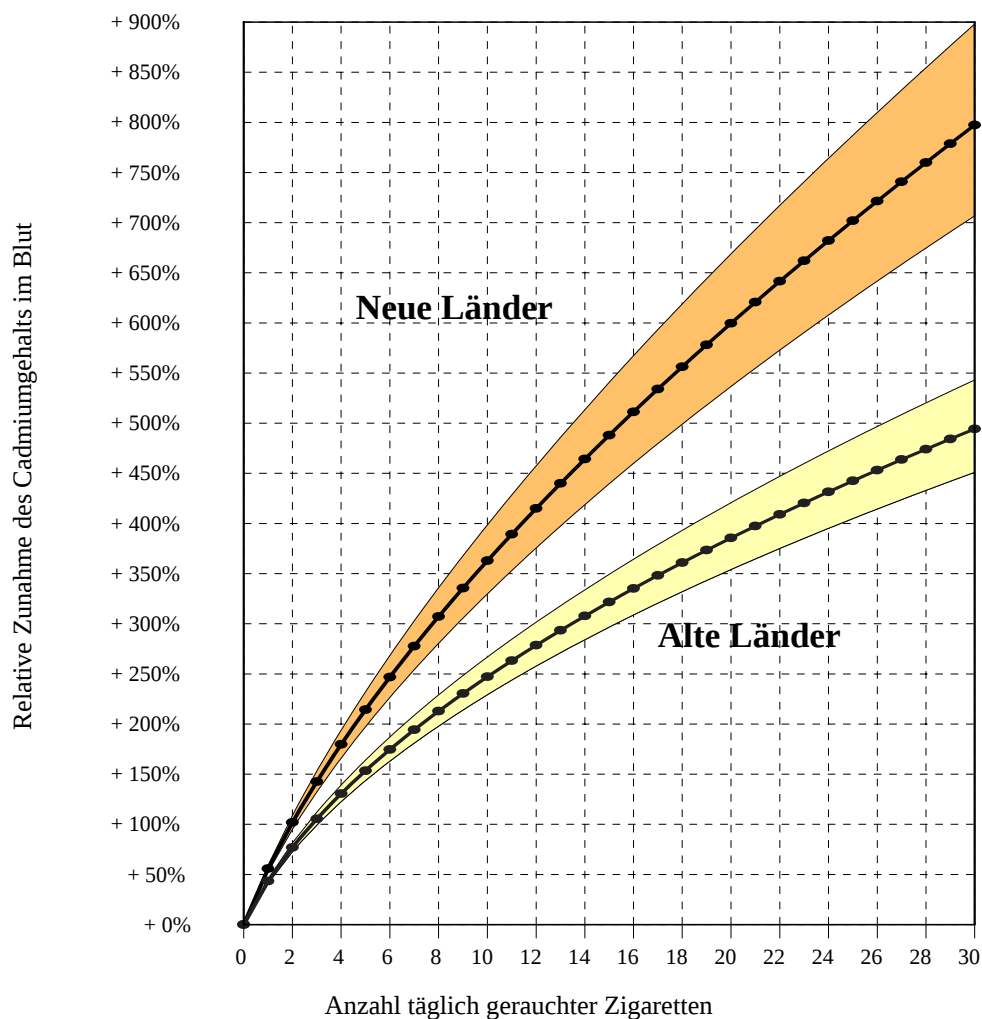


Abb. 6.2: Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Blut in Abhängigkeit von der Anzahl täglich gerauchter Zigaretten (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) bei Rauchern mit einer Rauchdauer von drei und mehr Jahren - bestimmt auf Grundlage des Gesamt-Regressionsmodells für Erwachsene

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

Der von Krause et al. (1996a) festgestellte signifikant höhere Blutcadmiumgehalt bei Rauchern in Ost im Vergleich zu West ist nicht auf eine höhere durchschnittliche Anzahl gerauchter Zigaretten zurückzuführen

(diese ist in Ost mit etwa 14 Zigaretten /Tag sogar geringer als in West mit 17 Zigaretten /Tag). Es ist daher naheliegend zu prüfen, ob die 1992 und früher in den neuen Bundesländern gerauchten Zigaretten höhere Cadmiumgehalte aufwiesen als die in den alten Ländern üblichen Zigarettenmarken. Die von Franzke et al. (1977) durchgeführte umfassende Analyse der Cadmiumgehalte von 15 in der DDR erhältlichen Zigarettenmarken scheint dies auf den ersten Blick nicht zu bestätigen, da der über alle Marken berechnete Durchschnittsgehalt mit $1,6 \mu\text{g}$ Cadmium/ Zigarette etwa dem Durchschnittsgehalt der in den alten Ländern häufig konsumierten Zigarettenmarken entspricht ($1,46 \mu\text{g}$ Cadmium/ Zigarette nach Müller 1979). Allerdings gab es unter den 15 in der DDR erhältlichen Zigarettenmarken eine Sorte mit deutlich höheren Cadmiumgehalten; und zwar die Zigarettenmarke „Karo“ mit durchschnittlich $3,67 \mu\text{g}$ Cadmium/ Zigarette. Da diese preiswerte und bekanntermaßen starke Zigarettenmarke sehr viel geraucht wurde, ist davon auszugehen, daß bei Berücksichtigung der unterschiedlichen Verkaufsanteile der einzelnen Zigarettenmarken der Durchschnittsgehalt einer Zigarette in den neuen Ländern merklich höher als $1,6 \mu\text{g}$ Cadmium/ Zigarette ist, was den in Abbildung 6.2 erkennbaren Ost-West-Unterschied plausibel machen könnte.

Wie in Kapitel 6.1.1 dargelegt, erfaßt der Rauchindikator nicht nur die gegenwärtige Rauchintensität der betreffenden Person, sondern auch ihre Rauchintensität in den vorangegangenen Monaten (und Jahren), sofern noch eine direkte Wirkung auf den Cadmiumgehalt im Blut vorhanden ist. Damit eignet sich der Rauchindikator auch zur Beschreibung der Rauchbelastung eines Exrauchers. In Abbildung 6.3 ist der Blutcadmiumgehalt eines männlichen Exrauchers aus den alten Ländern in Abhängigkeit von der Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens dargestellt, wobei eine durchschnittliche Anzahl täglich gerauchter Zigaretten von 20 und verschiedene Zeiträume der Rauchdauer angenommen werden. Es zeigt sich ein rapider Abfall des Cadmiumgehalts in den ersten Monaten des Nichtrauchens und eine Konvergenz zu einer Niveaulinie hin, die allein durch die Rauchdauer der Person festgelegt ist. Bei einem weiblichen Exraucher gibt es keine nur von der Rauchdauer abhängende Niveaulinie, da bei Frauen das Lebensalter als Einflußgröße hinzukommt (siehe nachfolgenden Abschnitt).

Die dominierende Wirkung des Rauchindikators läßt sich aus den in Tabelle 6.3 (s. S. 54) angegebenen Varianzanteilen (schraffiert) ableiten. In allen drei Modellen ist der Varianzanteil größer als 43 %. Der höhere Anteil von 51,9 % im Modell für die neuen Bundesländer hängt mit der oben diskutierten stärkeren Wirkung einer einzelnen Zigarette zusammen.

Aus der Literatur ist kein dem Rauchindikator vergleichbares komplexes Rauchmerkmal bekannt. Die in den Rauchindikator eingehende Anzahl gegenwärtig gerauchter Zigaretten pro Tag sowie der aktuelle Rauchstatus haben sich bisher als stärkste Einflußgrößen (Prädiktoren) in den publizierten Regressionsmodellen für Cadmium im Blut erwiesen (Brockhaus et al. 1983, Ducoffre et al. 1992, Elinder et al. 1983a, Hovinga et al. 1993, Schwarz et al. 1993, Staessen et al. 1990). Die in der Literatur wiedergegebenen Modelle erfassen insbesondere keine Informationen zum Rauchverhalten aus der Vergangenheit, wie die Anzahl früher gerauchter Zigaretten, die Rauchdauer und die Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens.

Der Rauchindikator ist nicht nur als bedeutsamer Prädiktor in einem Regressionsmodell von statistisch-theoretischem Interesse. Aufgrund seiner hohen Korrelation (über 0,7) mit dem logarithmierten Cadmiumgehalt im Blut eignet er sich in der Praxis auch ohne Kenntnis des Regressionsmodells als eigenständiger Index der korporalen Cadmiumexposition. Aus Tabelle 14.1 im Anhang 14.1 geht hervor, wie eng der Anstieg des Cadmiumgehalts im Blut mit einer Zunahme des Rauchindikators verbunden ist.

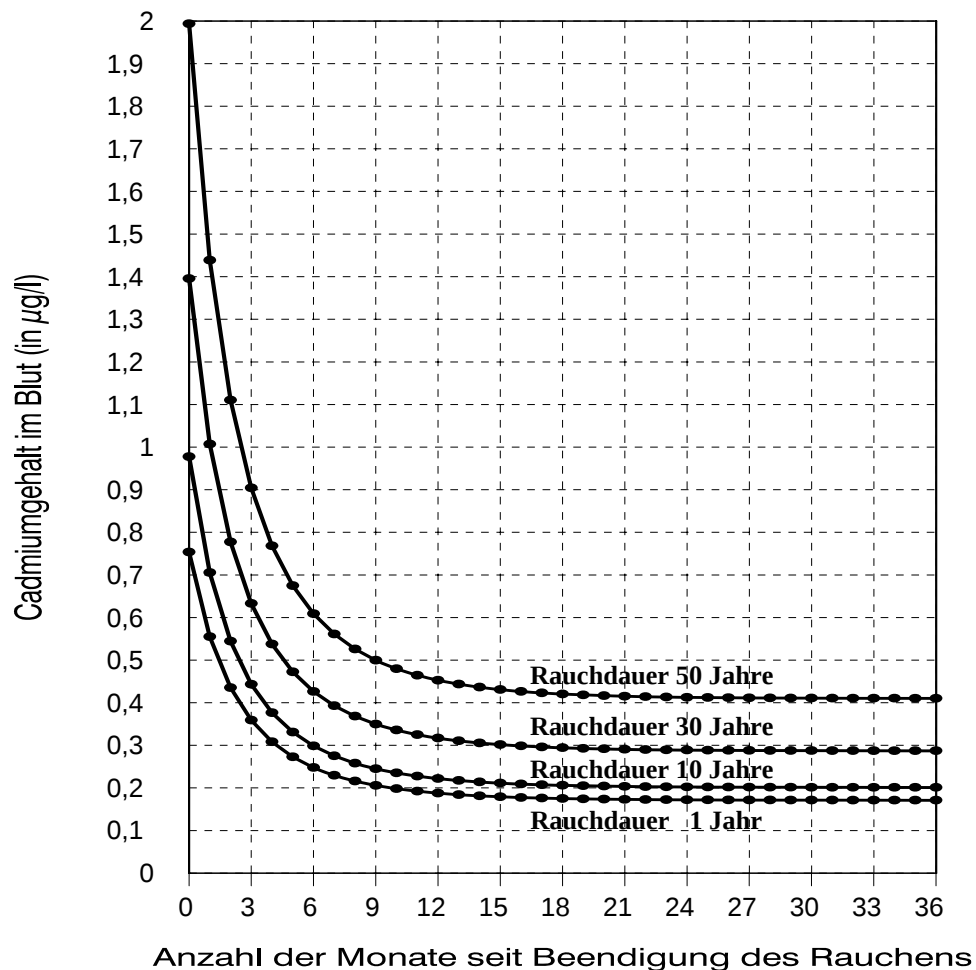


Abb. 6.3: Cadmiumgehalt im Blut eines männlichen Exrauchers aus den alten Ländern in Abhängigkeit von der Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens und der Rauchdauer bei einer angenommenen Rauchintensität von 20 Zigaretten/Tag - bestimmt auf Grundlage des Gesamt-Regressionsmodells für Erwachsene

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

Rauchdauer und Alter

Wie bereits erwähnt, haben Järup et al. (1983) in Auswertung ihrer Langzeituntersuchungen beruflich cadmiumexponierter Personen den Abklingprozeß der Cadmiumkonzentration im Blut als Überlagerung einer Kurzzeit- und einer Langzeitkomponente modelliert. Auch Pocock et al. (1988) haben eine Abklingfunktion hergeleitet, die sich additiv aus einem Kurzzeit- und einem Langzeiterm zusammensetzt. Der bereits im Regressionsmodell enthaltene Rauchindikator I_B erfaßt anschaulich das über den Expositionspfad Rauchen aufgenommene Cadmium, welches direkt in das Blut gelangt und der Kurzzeitkomponente zuzuordnen ist. Offen wäre demnach die Herleitung von Prädiktoren zum Rauchverhalten, die einen quantitativen Einfluß auf das der Langzeitkomponente zuzuordnende Cadmium haben.

Inhaltlich ist die Langzeitkomponente des durch Rauchen aufgenommenen Cadmiums auf die Freisetzung aus tieferen Kompartimenten zurückzuführen, wo es über mehrere Jahre gespeichert wurde. Pocock et al. (1988) interpretieren als Ursache der Langzeitkomponente vor allem die Freisetzung von in den Nieren gespeichertem Cadmium. Es liegt deshalb nahe, einen zweiten Rauchindikator (allgemeine Formel vgl. Kapitel 6.1.1) mit einer langen Halbwertszeit in das Modell aufzunehmen. Eine durchgeführte Simulation, bei der der Halbwertszeitparameter des zweiten Rauchindikators schrittweise von 1 auf 100 Jahre erhöht wurde, führte jedoch zu keiner statistisch nachweisbaren Varianzerhöhung und zu keinem stabilen Regressionsmodell.

Offenbar sind die Halbwertszeiten in den einzelnen Kompartimenten, von denen das Cadmium in das Blut gelangt, sehr verschieden, so daß die mit der Freisetzung des Cadmiums zusammenhängende Langzeitkomponente im Blut zu inhomogen ist, als daß sie durch einen „durchschnittlichen“ Halbwertszeitparameter beschrieben werden könnte. Deshalb soll im folgenden ein einfaches Rauchmerkmal gewählt werden, das nicht von Halbwertszeiten abhängt und die Langzeitwirkung des Rauchens anschaulich gut erfaßt. Dies ist die Gesamtrauchdauer des Probanden.

Der Zusammenhang zwischen Gesamtrauchdauer und dem Cadmiumgehalt im Blut ist allerdings nicht so einfach modellierbar, wie es auf dem ersten Blick erscheint. Das liegt zum einen darin begründet, daß dieser Zusammenhang wesentlich durch das Geschlecht der Person bestimmt wird. Zum anderen zieht die hohe Korrelation zwischen Gesamtrauchdauer und einer weiteren Einflußgröße, dem Lebensalter der Person, Modellinstabilitäten nach sich. Deshalb sind Prädiktoren zu wählen, die die komplexe Einflußgröße „Gesamtrauchdauer, Alter und Geschlecht“ in ihrer inneren Zusammenhangsstruktur berücksichtigen.

Die vorgeschlagenen Prädiktoren Z_3 und Z_4 sind geschlechtsspezifisch. Der Prädiktor Z_3 stellt die Gesamtrauchdauer in Jahren bei männlichen Personen dar, während Z_4 als Summe von Gesamtrauchdauer und den über 25 hinausgehenden Lebensjahren bei weiblichen Personen definiert ist. Auffallend ist, daß nur das Lebensalter der Frauen, nicht aber das der Männer in die Prädiktorendefinition eingeht. Tatsächlich hat das Lebensalter bei Männern so gut wie keinen Einfluß auf den Blutcadmiumgehalt. Wenn man sich nämlich nur

auf die Teilstichprobe der männlichen Nieraucher beschränkt, um den dominierenden Einfluß des Rauchens auszuschließen, kann man feststellen, daß der Cadmiumgehalt in den verschiedenen Altersklassen mit 0,14 bis 0,17 µg/l nahezu konstant ist (Krause et al. 1996a, S.126). Im Unterschied dazu steigt der Cadmiumgehalt bei weiblichen Nierauchern von der niedrigsten Altersklasse (25 bis 29 Jahre) zur höchsten Altersklasse (60 bis 69 Jahre) monoton von 0,17 auf 0,27 µg/l an (ebd., S. 126). Ein ähnliches Bild ergibt sich bei der Stichprobe des 1. Umwelt-Surveys (Krause et al. 1989, S. 38). In anderen Studien (Elinder et al. 1983a, Sartor et al. 1992, Staessen et al. 1990) ist bei Frauen zwischen 25 und 69 Jahren ebenfalls ein vom Rauchen unabhängiger deutlicher Alterstrend feststellbar, während der Blutcadmiumgehalt bei Männern sich in diesem Altersbereich nach Adjustierung des Rauchens wenig verändert. Dies kann möglicherweise damit erklärt werden, daß Frauen aufgrund eines häufig vorkommenden Eisenmangels eine höhere Absorptionsrate als Männer haben (Elinder et al. 1983a, Ewers 1990). Über alle Altersklassen gerechnet ergibt sich somit bei nichtrauchenden Frauen ein höherer mittlerer Cadmiumgehalt als bei nichtrauchenden Männern. Dieser Geschlechtseffekt bei Nichtrauchern wurde auch in einer Reihe weiterer Studien beobachtet (Grandjean et al. 1992, Watanabe et al. 1983, Wetzel et al. 1994, vgl. Kapitel 3.1).

Die geschlechtsspezifische Trennung der Gesamtrauchdauer durch Verwendung der Prädiktoren Z_3 und Z_4 ermöglicht einen Vergleich der Auswirkung der Rauchdauer zwischen Frauen und Männern. Um zunächst den Einfluß des Lebensalters auszuschließen, betrachten wir beispielhaft eine 25jährige Person, die 5 Jahre lang geraucht hat. Bei einer männlichen Person ergibt sich im Gesamtmodell ein entsprechender Multiplikator von $1,018^5 = 1,093$, während der Multiplikator bei einer weiblichen Person $1,013^5 = 1,067$ beträgt. Einem Anstieg des Cadmiumgehalts durch das 5 Jahre andauernde Rauchen von 9,3 % bei Männern steht ein etwas geringerer Anstieg von 6,7 % bei Frauen gegenüber. Eine mögliche Erklärung dafür wäre die Tatsache, daß Männer, wenn sie rauchen, mit durchschnittlich 18 Zigaretten am Tag mehr rauchen als Frauen mit rund 13 Zigaretten täglich, weshalb die Gesamtrauchdauer bei Männern einen durchschnittlich stärkeren Effekt als bei Frauen haben sollte.

Bei Frauen ist sowohl deskriptiv als auch inferenzstatistisch ein deutlicher Alterseffekt erkennbar. Er ist genauso stark wie der Rauchdauerseffekt. In der langfristigen Wirkung auf den Blutcadmiumspiegel entsprechen einem Lebensjahr einer Raucherin zwei Lebensjahre einer Nichtraucherin. Wenn die im obigen Beispiel betrachtete 25jährige Frau, die seit 5 Jahren raucht, noch ein weiteres Jahr raucht, kommt ein Multiplikator von $1,013^2 = 1,026$ hinzu, weil sowohl das Lebensalter als auch die Rauchdauer um 1 Jahr ansteigen. Der Cadmiumgehalt im Blut erhöht sich somit um weitere 2,6 %. Wenn die Frau jedoch mit 25 Jahren aufhört zu rauchen, ergibt sich der gleiche Multiplikator von $1,013^2 = 1,026$ und damit ein Anstieg des Cadmiumgehalts um 2,6 % erst nach zwei Jahren.

Während unabhängig vom Rauchen der Cadmiumgehalt im Blut bei Frauen im Vergleich zu Männern mit zunehmendem Alter ansteigt, ist die Wirkung des Rauchens bei Männern aufgrund der größeren Rauchintensität höher. Beide Effekte sind etwa gleich stark, so daß es in der Gesamtstichprobe keinen signifikanten Geschlechtsunterschied gibt (vgl. Krause et al. 1996a, S. 125). Dies erklärt zugleich, warum das Geschlecht des Probanden als eigenständiger Prädiktor im Regressionsmodell nicht zu einer zusätzlichen Erhöhung des aufgeklärten Varianzanteils beiträgt.

In Abbildung 6.4 ist der Langzeiteffekt der relativen Zunahme des Cadmiumgehalts im Blut grafisch dargestellt. Er spiegelt die Wirkung der komplexen Einflußgröße „Gesamtrauchdauer, Alter und Geschlecht“ wider und ist inhaltlich vom Kurzzeiteffekt, der wesentlich durch die aktuelle Rauchbelastung und die des vergangenen Jahres bestimmt wird, zu trennen. Aus Abbildung 6.4 geht hervor, daß der Langzeiteffekt bei weiblichen Rauchern merklich höher als bei männlichen Rauchern ist, was den bereits diskutierten frauen-spezifischen Alterseffekt widerspiegelt. Bei weiblichen Nichtraucherinnen ist nur noch ein moderater Langzeiteffekt feststellbar, der einen reinen Alterseffekt darstellt, da die Gesamtrauchdauer als zweite Wirkungsgröße wegfällt. Für männliche Nichtraucher ist schließlich ein Langzeiteffekt statistisch nicht nachweisbar, so daß auf eine Einbindung dieser Personengruppe in die Abbildung 6.4 verzichtet wurde.

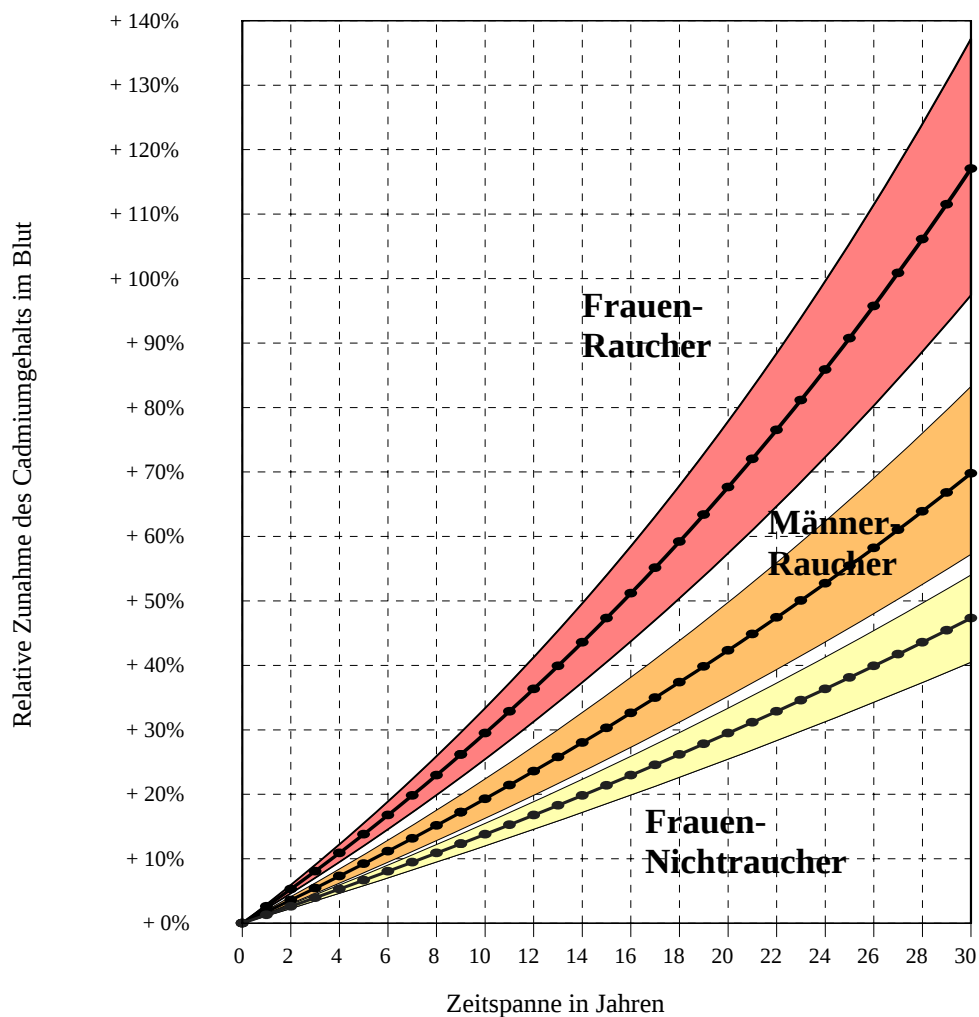


Abb. 6.4: Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Blut als Langzeiteffekt (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) - bestimmt auf Grundlage des Gesamt-Regressionsmodells für Erwachsene

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

Die komplexe Einflußgröße „Gesamtrauchdauer, Alter und Geschlecht“ erklärt in den drei Modellen (Deutschland, alte Bundesländer, neue Bundesländer) 8,1 bis 9,3 % der Varianz des Cadmiumgehalts (vgl. Tabelle 6.3). In anderen Studien wurden Geschlecht und Alter als getrennte potentielle Prädiktoren behandelt und die Variable „früheres Rauchen (ja/nein)“ anstelle der Gesamtrauchdauer gewählt. Sofern diese Variablen überhaupt im Modell als Prädiktoren verbleiben, ist der erzielbare Anteil an aufgeklärter Varianz geringer. Bei Hovinga et al. (1993) beträgt er 1,9 %, bei Schwarz et al. (1993) 2,5 %. Das hinzukommende methodisch-statistische Problem besteht darin, daß die drei angegebenen Variablen Geschlecht, Alter und früheres Rauchen einen sehr schwachen und anders gerichteten bivariaten Zusammenhang mit dem Cadmiumgehalt aufweisen im

Vergleich zur berechneten Wirkungsrichtung im Modell; es ergibt sich nämlich eine geringe negative Korrelation r im Vergleich zu einem positiven standardisierten Regressionsparameter β . Damit würden sich formal für die genannten drei Variablen negative Varianzkomponenten ergeben, eine darauf aufbauende Quantifizierung der Effekte wäre somit nicht möglich. Gleichzeitig würden infolge der Kompensierung der negativen Varianzkomponenten die durch die anderen Prädiktoren erklärten Varianzanteile systematisch überschätzt werden.

6.1.4 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale

Im Rahmen der Modellwahl wurde eine weitere Anzahl von Meß- und Fragebogenvariablen auf ihre Brauchbarkeit als Prädiktoren für Cadmium im Blut geprüft (vgl. Kapitel 3 und Abschnitt 14.4). Einige davon erwiesen sich als Einflußfaktoren mit kleinen Effekten, deren Beitrag zur Varianzerhöhung im folgenden aufgeführt wird. Die anderen geprüften Variablen führten zu keiner signifikanten Modellverbesserung, werden jedoch im Text dann explizit genannt, wenn sie inhaltlich von Bedeutung sind, einer fachwissenschaftlichen Hypothese zufolge abgeleitet wurden bzw. in anderen Studien oder Publikationen Berücksichtigung fanden.

Medizinische Meßgrößen

Von den 45 zur Verfügung stehenden Meßgrößen im Blut bzw. Serum hat der **Thiocyanatgehalt** die deutlich höchste Korrelation zum Cadmiumgehalt im Blut ($r = 0,58$). Dies überrascht nicht, da er seit langem in der Fachliteratur als Indikator bzw. Reflektor der Rauchbelastung angesehen wird (vgl. z. B. Maranelli et al. 1990). Auf eine Aufnahme von Thiocyanat in das Modell wurde jedoch verzichtet, da die damit verbundene Modellverbesserung im Sinne der Varianzaufklärung mit 0,7 % relativ gering ist und außerdem mit einem merklichen Absinken der dem Modell zugrundeliegenden Datensatzzahl einhergehen würde. Andererseits zeigt die nur geringe Modellverbesserung durch Thiocyanat, daß das dargestellte Modell den Expositionspfad Rauchen offenbar gut erfaßt. Die Wahl von Thiocyanat als Prädiktor würde zudem die Anwendbarkeit des Regressionsmodells zur Vorhersage des Blutcadmiumgehalts stark einschränken, da der Thiocyanatgehalt zunächst analysiert werden müßte. Zu erwähnen ist, daß sowohl der Eisen- als auch der Calciumgehalt im Blut keine signifikante Korrelation zum Cadmiumgehalt im Blut aufweisen (vgl. Kapitel 2 zur erhöhten Resorptionsrate bei Eisen- und Calciummangel).

Weitere Merkmale zum Rauchen

Andere als die im Modell benötigten, zum Expositionspfad Rauchen gehörenden Merkmale X_1 , X_2 und X_3 (Zigarettenzahl, Gesamtrauchdauer und Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens) wurden auf ihre Verwendbarkeit zur Prädiktorenableitung untersucht, erwiesen sich jedoch ausnahmslos als nicht relevant. Dies betrifft insbesondere die Merkmale des Passivrauchens, wie das **regelmäßige Rauchen im Raum**, wobei der Raum betrachtet wurde, in dem der Proband seiner Hauptbeschäftigung nachgeht, der erfragte **Rauchstatus des Ehepartners**, sowie die **Anzahl der im selben Haushalt lebenden Raucher**. Das Negativresultat deckt sich mit den bisher publizierten Regressionsmodellen für Cadmium im Blut, die gleichfalls keine Prädiktoren der Passivrauchbelastung enthalten, obwohl in einigen Studien (Brockhaus et al. 1983, Schwarz et al. 1993) entsprechende Informationen zur Verfügung standen.

Ernährung

Informationen über Verzehrshäufigkeit und Verzehrsmenge von Innereien, Fisch, Fleisch, Gemüse, Bier, Wein, Spirituosen und Mineralwasser wurden im Rahmen der Prädiktorenwahl einbezogen, führten jedoch zu keiner verbesserten Varianzaufklärung. Dies ist insofern überraschend, als der Nahrungspfad mit einer Zufuhr von 7 bis 30 $\mu\text{g Cd/Tag}$ der stärkste Expositionspfad ist (vgl. Becker et al. 1996a). Das Negativresultat läßt sich zum einen mit der geringen gastrointestinalen Resorptionsrate von 5 % (im Vergleich zur pulmonalen Resorptionsrate von 50 %) und zum anderen mit den bereits in Kapitel 3.1 diskutierten Schwierigkeiten bei der Erfassung der täglichen mit der Nahrung aufgenommenen Cadmiummenge erklären.

Region, Wohnungsumfeld und häuslicher Bereich

Für die Modellprädiktoren konnten keine Merkmale der Region, wenn man von der benötigten Information X_6 (Alte/ Neue Bundesländer) absieht, sowie keine Merkmale des Wohnungsumfelds und des häuslichen Bereichs herangezogen werden. Die im Rahmen der Deskription (Krause et al. 1996a) verwendeten signifikanten Gliederungsmerkmale **Cadmiumniederschlag in der Außenluft** und **Ofenheizung mit Holz/Kohle** erwiesen sich im Rahmen der multivariaten Auswertung als vernachlässigbare Einflußgrößen. Ihre Aufnahme in das Modell erhöht die aufgeklärte Varianz um jeweils 0,2 %. Andere regionale Merkmale, wie **Gemeindegröße** und **Wohngebiet** (ländlich, vorstädtisch, städtisch), oder Merkmale des häuslichen Bereichs, wie der **Cadmiumgehalt im häuslichen Trinkwasser**, die bereits auf bivariater Ebene keinen signifikanten Zusammenhang zum Blutcadmiumgehalt aufwiesen, aus inhaltlichen Gründen jedoch als potentielle Prädiktoren in Frage kommen, besitzen auch multivariat keinen nachweisbaren Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Blut eines Erwachsenen.

Die Vernachlässigbarkeit regionaler Einflüsse steht im Einklang mit anderen empirischen Untersuchungen (vgl. z. B. Brockhaus et al. 1983, Grandjean et al. 1992, Wetzel et al. 1994). Nur in speziell konzipierten Studien, in denen Gebiete mit hoher industrieller Cadmiumbelastung normalen Wohngebieten gegenübergestellt wurden, sind regionale Effekte erkennbar (z. B. Ewers et al. 1985, Sartor et al. 1992, vgl. Kapitel 3.1).

Arbeitsplatz

Mehrere Arbeitsplatzvariablen, wie das Vorhandensein von **Cadmium am Arbeitsplatz** oder anderer Substanzen am Arbeitsplatz, die üblichen Aufenthaltsorte und -zeiten während der Arbeit sowie der ausgeübte Beruf wurden geprüft. Es konnten hieraus jedoch keine geeigneten Prädiktoren für das Regressionsmodell abgeleitet werden, was zum einen an den geringen Fallzahlen beruflich Belasteter liegen kann, zum anderen aber auch die untergeordnete Bedeutung der Exposition am Arbeitsplatz widerspiegeln könnte. Nur zwei sehr grobe den Expositionspfad Arbeitsplatz betreffende Merkmale, nämlich die derzeitige berufliche Stellung als **Arbeiter** und **Fabrik-/Werkhallen als Arbeitsplatz**, bewirken einen schwachen Anstieg der aufgeklärten Varianz um 0,2 % bzw. 0,1 %. Auch in anderen publizierten Regressionsmodellen für Cadmium im Blut sind keine die Arbeitsplatzbelastung erfassenden Prädiktoren enthalten (vgl. Brockhaus et al. 1983, Ducoffre et al. 1992, Elinder et al. 1983a, Hovinga et al. 1993, Sartor et al. 1992, Schwarz et al. 1993, Staessen et al. 1990).

6.1.5 Statistische Untersuchungen zur Modellstabilität

Die Stabilität des statistischen Modells, d. h. die Robustheit der Parameterschätzungen gegenüber geringen Veränderungen der Datenbasis, kann durch eine hohe Zusammenhangsstärke zwischen den Prädiktoren beeinträchtigt werden (Problem der Multikollinearität). Wenn nämlich zwischen den Prädiktoren eine annähernd lineare Beziehung gilt, kann die zur Schätzung der Parameter verwendete statistische Methode zu sehr unsicheren Ergebnissen führen (vgl. Kapitel 5.9). Eine grobe Prüfung, die sich allerdings nur auf lineare Beziehungen zwischen jeweils zwei Prädiktoren bezieht, kann mit Hilfe der Korrelationen vorgenommen werden.

In Tabelle 6.4 sind für die drei Modelle die Korrelationen zwischen den Prädiktoren angegeben. Es zeigt sich, daß alle Werte betragsmäßig kleiner als 0,5 sind. Annähernd lineare Beziehungen zwischen zwei Variablen, die bei Korrelationen nahe -1 bzw. +1 auftreten, kommen somit in der Gruppe der Prädiktoren nicht vor.

Tab. 6.4: Korrelationen zwischen den Prädiktoren der Cadmium/Blut-Modelle bei Erwachsenen

			Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄
<i>Rauchindikator (Alte Länder)</i>	Z ₁	Deutschland Alte Länder Neue Länder				
<i>Rauchindikator (Neue Länder)</i>	Z ₂	Deutschland Alte Länder Neue Länder	-0,17 x x			
<i>Gesamtrauchdauer (Männer)</i>	Z ₃	Deutschland Alte Länder Neue Länder	0,27 0,36 x	0,21 x 0,41		
<i>Gesamtrauchdauer und Alter (Frauen)</i>	Z ₄	Deutschland Alte Länder Neue Länder	0,01 0,01 x	-0,06 x -0,09	-0,47 -0,47 -0,47	

Anmerkung: Korrelationen zueinander orthogonaler Prädiktoren sind kursiv gedruckt. Hohe Korrelationen orthogonaler Prädiktoren verringern in der Regel nicht die Modellstabilität (vgl. Kapitel 5.9)

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

Zur gründlichen Untersuchung der Modellstabilität ist es zweckmäßig, die Schätzgenauigkeit für die einzelnen Parameter zu bewerten. Es ist zu bedenken, daß die in den Modellgleichungen (Tabelle 6.3) angegeben Zahlen nur als Schätzwerte der unbekannten Modellparameter zu verstehen sind und daß diese Schätzwerte sich ändern, wenn z. B. Datensätze bei der Modellherleitung weggelassen oder hinzugenommen werden. Um die Schätzgenauigkeit zu erfassen und zu beurteilen, werden in Tabelle 6.5 für alle Modellparameter 95%-Konfidenzintervalle angegeben. Für die richtige Zuordnung der Parameter sind die Modellgleichungen in Parameterdarstellung hinzugefügt.

Zur Veranschaulichung der Aussagekraft von Tabelle 6.5 betrachten wir den Parameter a_0 mit dem dazugehörigen Schätzwert und Konfidenzintervall. In dem für alle Bundesländer geltenden Modell wird a_0 , d. h. die nicht durch den Einfluß der Prädiktoren erklärbare Grundbelastung, mit $0,168 \mu\text{g/l}$ geschätzt. Ergänzend läßt sich aus der Tabelle ablesen, daß der unbekannte Modellparameter a_0 mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % wertmäßig zwischen $0,161 \mu\text{g/l}$ und $0,175 \mu\text{g/l}$ liegt. Wegen der Zentralität der berechneten Konfidenzintervalle läßt sich noch etwas genauer formulieren, daß der Parameterwert jeweils mit einer Wahrscheinlichkeit von 2,5 % kleiner als $0,161 \mu\text{g/l}$ bzw. größer als $0,175 \mu\text{g/l}$ ist.

Die Tabelle liefert auch Wahrscheinlichkeitsaussagen zur Wirkung einzelner Prädiktoren. Als Beispiel sei der Einfluß des Lebensalters auf den Blutcadmiumgehalt einer Nichtraucherin angeführt. Der Modellparameter a_4 , der inhaltlich den multiplikativen Effekt eines einzelnen Lebensjahres bei einer nicht rauchenden Frau beschreibt, wurde im Modell für Deutschland mit $1,013$ geschätzt. Gemäß Tabelle 6.5 kann bei einem Fehler von 5 % davon ausgegangen werden, daß der Parameter a_4 zwischen $1,011$ und $1,015$ liegt. Dies entspricht einer jährlichen mittleren Erhöhung des Cadmiumgehalts im Blut einer Nichtraucherin von $1,1$ bis $1,5$ %.

Tab. 6.5: 95%-Konfidenzintervalle für die Parameter der Cadmium/Blut-Modelle bei Erwachsenen

Para- meter	Deutschland		Alte Bundesländer		Neue Bundesländer	
	Schätz- wert	95% Konfidenz- intervall	Schätz- wert	95% Konfidenz- intervall	Schätz- wert	95% Konfidenz- intervall
a_0	0,168	0,161 - 0,175	0,165	0,156 - 0,174	0,172	0,162 - 0,183
a_1	1,681	1,643 - 1,720	1,700	1,656 - 1,746		
a_2	1,894	1,837 - 1,954			1,856	1,796 - 1,917
a_3	1,018	1,015 - 1,020	1,017	1,014 - 1,020	1,019	1,016 - 1,023
a_4	1,013	1,011 - 1,014	1,013	1,011 - 1,015	1,013	1,011 - 1,016
Y =	$a_0 \cdot a_1^{Z_1} \cdot a_2^{Z_2} \cdot a_3^{Z_3} \cdot a_4^{Z_4}$		$a_0 \cdot a_1^{Z_1} \cdot a_3^{Z_3} \cdot a_4^{Z_4}$		$a_0 \cdot a_2^{Z_2} \cdot a_3^{Z_3} \cdot a_4^{Z_4}$	

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

Je kleiner die Konfidenzintervalle sind, desto robuster sind die Parameterschätzungen. Die Intervallgröße kann bei den betrachteten multiplikativen Parametern zweckmäßig durch den Quotienten aus oberer und unterer Intervallgrenze beschrieben werden. Dieser Quotient ist mindestens 1 und nimmt mit der Vergrößerung der Intervalle stetig zu. Aus Tabelle 6.4 ergeben sich etwas kleinere Quotienten für die Konfidenzintervalle des Gesamtmodells im Vergleich zu den separaten Modellen der alten und neuen Bundesländer, was auf den größeren Stichprobenumfang bei der Herleitung des Gesamtmodells zurückzuführen ist. Insgesamt kann festgestellt werden, daß alle Quotienten nur geringfügig von 1 abweichen, was eine sehr hohe Modellstabilität sichert. Der maximale Quotient ergibt sich mit 1,13 für den Grundbelastungsparameter a_0 im Modell der neuen Bundesländer.

6.1.6 Vergleich mit dem Modell des 1. Umwelt-Surveys

In Tabelle 6.6 ist das Modell des 1. Umwelt-Surveys 1985/86 (Schwarz et al. 1993) dem des 2. Umwelt-Surveys 1990/91 gegenübergestellt, wobei das in Tabelle 6.3 angegebene spezielle Modell für die alten Bundesländer gewählt wurde, um die Gleichheit der Gültigkeitsbereiche beider Modelle zu sichern.

Tab. 6.6: Vergleich der Regressionsmodelle des 1. und 2. Umwelt-Surveys für Cadmium im Blut

1. Umwelt-Survey 1985/86 - Alte Bundesländer -			2. Umwelt-Survey 1990/91 - Alte Bundesländer -		
Nr.	Prädiktoren	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	Nr.	Prädiktoren	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$
1	Raucherstatus	16,9 %	1	Rauchindikator	43,2 %
2	Früheres Rauchen	-1,4 %	2	Gesamtrauchdauer (Männer)	5,6 %
3	Zigarettenzahl	37,9 %	3	Gesamtrauchdauer/Alter (Frauen)	2,5 %
4	Quadrierte Zigarettenzahl	-12,3 %			
5	Lebensalter	0,2 %			
	Teilsumme :	41,3 %		Teilsumme :	51,3 %
6	Logarithmierter Creatiningehalt im Urin	0,6 %			
7	Region mit starker wirtschaft- licher Dynamik	4,0 %			
8	Mittlere Tageshöchsttemperatur	1,3 %			
Aufgeklärte Varianz		47,2 %	Aufgeklärte Varianz		51,3 %

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1985/86 und 1990/91

Es zeigt sich, daß das mit drei Prädiktoren wesentlich kleinere Regressionsmodell des 2. Umwelt-Surveys eine um 4,1 % höhere Varianzaufklärung liefert. Würde man die ersten fünf Prädiktoren des früheren Modells, welche den Expositionspfad Rauchen und das Lebensalter erfassen, durch die drei Prädiktoren des neueren Modells ersetzen, so ließe sich im nachhinein mit den Daten des 1. Umwelt-Surveys eine Varianzaufklärung von ca. 52 % erzielen. Dies belegt die gute Widerspiegelung der Rauchbelastung durch den Rauchindikator und durch die geschlechtsspezifische Berücksichtigung der Gesamtrauchdauer.

Das Modell des 1. Umwelt-Surveys ist im Gegensatz zu dem des 2. Umwelt-Surveys nicht geeignet, den Cadmiumgehalt im Blut eines Exrauchers zu prognostizieren. Wichtige Informationen zum früheren Rauchverhalten, wie die durchschnittlich gerauchte Anzahl von Zigaretten, die Rauchdauer und der zeitliche Abstand der Expositionszeit, werden nicht berücksichtigt. Bei Gleichsetzung aller anderen Prädiktorenwerte (Lebensalter, logarithmierter Creatiningehalt im Urin usw.) ergibt sich im Modell des 1. Umwelt-Surveys ein niedrigerer vorhergesagter Cadmiumgehalt für einen Exraucher im Vergleich zu einem Nieraucher. Dieser Modellfehler wird durch die Codierung des dichotomen Prädiktors **Früheres Rauchen** verursacht. Die Exraucher werden hier mit 1 codiert, während die gegensätzlichen Teilgruppen der Nieraucher und Raucher beide mit 0 codiert sind. Da der durchschnittliche Blutcadmiumgehalt eines Exrauchers etwas geringer ist als der

durchschnittliche Blutcadmiumgehalt der aus Nierauchern und Rauchern gebildeten Teilgruppe, kommt es zum beschriebenen Entlastungseffekt.

Im Modell des 1. Umwelt-Surveys wird im Unterschied zu dem in diesem Band hergeleiteten Modell ein für beide Geschlechter gleichartiger Anstieg des Cadmiumgehalts im Blut mit dem Lebensalter vorhergesagt. Der vom Rauchverhalten unabhängige Lebensalterseffekt ist jedoch bei Frauen und Männern sehr unterschiedlich, wie die deskriptive Auswertung beider Umwelt-Surveys (Krause et al. 1989, 1996a) und die Ergebnisse anderer Studien (Elinder et al. 1983a, Sartor et al. 1992, Staessen et al. 1990) belegen.

Das Modell des 2. Umwelt-Surveys besitzt eine hohe Stabilität. Dies zeigt sich in den berechneten 95%-Konfidenzintervallen für die Regressionsparameter, die sehr klein sind (vgl. Tabelle 6.5). Der maximale Quotient aus oberer und unterer Intervallgrenze ist im Modell der alten Bundesländer gleich 1,12. Im Vergleich dazu sind die Konfidenzintervalle im Cadmium/Blut-Modell des 1. Umwelt-Surveys deutlich größer; der maximale Quotient der Konfidenzintervallgrenzen ist 2,69 (Schwarz et al. 1993, S.76). Mögliche Ursachen für die geringere Stabilität des früheren Modells sind die größere Anzahl zu schätzender Regressionsparameter (9 gegenüber 4 im neu hergeleiteten Modell), die Einbeziehung schwächerer Prädiktoren und von Prädiktoren mit negativen Varianzkomponenten sowie die große bivariate Korrelation von 0,9 zwischen den beiden die Zigarettenzahl betreffenden Prädiktoren.

In dem Modell des 1. Umwelt-Surveys sind mit den Merkmalen **Logarithmierter Creatiningehalt im Urin**, **Region mit starker wirtschaftlicher Dynamik** und **Mittlere Tageshöchsttemperatur** drei Prädiktoren einbezogen, die in dem neueren Modell keine Berücksichtigung finden. Diese sollen im folgenden diskutiert werden.

Der **logarithmierte Creatiningehalt im Urin** hat im früheren Modell einen schwachen Einfluß auf den Blutcadmiumgehalt und trägt zu einer Erhöhung der Varianzaufklärung um 0,6 % bei. Eine inhaltlich überzeugende Begründung für die Prädiktorenwahl dieser mit Cadmium nicht im Zusammenhang stehenden Meßgröße in einem anderen Medium, konnte nicht gefunden werden. Die Vermutung, daß die Aufnahme als Prädiktor auf einer „Zufallssignifikanz“ beruht oder einen Geschlechtseffekt beschreibt, liegt nahe, da sich die Signifikanz mit den Daten des 2. Umwelt-Surveys nicht wiederholt.

Der im 1. Umwelt-Survey abgeleitete regionale Prädiktor **Region mit starker wirtschaftlicher Dynamik** wurde im 2. Umwelt-Survey nicht verwendet, da er kein unmittelbar zugängliches regionales Merkmal darstellt und somit die Modellanwendung erschwert. Der Prädiktor ergab sich im Rahmen einer vorgeschalteten Faktorenanalyse von Raumordnungsvariablen und wurde als starke wirtschaftliche Dynamik der Raumordnungsregion interpretiert. Eine Reproduzierbarkeit dieser Variablen mit Hilfe der Daten des 2. Umwelt-Surveys ist nicht möglich. Zudem stellt die Vorschaltung einer Faktorenanalyse zur Herleitung von potentiellen Prädiktoren eine zusätzliche Fehlerquelle dar. Es ist davon auszugehen, daß der regionale Effekt durch den Varianzanteil von 4 % des Prädiktors Region mit starker wirtschaftlicher Dynamik im 1. Umwelt-Survey überschätzt

wird. Für eine solche Überschätzung spricht, daß im Rahmen des 2. Umwelt-Surveys eine regionale Cadmiumbelastung in der Außenluft nachweislich keinen wesentlichen Einfluß auf den Blutcadmiumgehalt hat, da der mit einem Bergerhoff-Gerät bestimmte Cadmiumniederschlag in der Außenluft nur zu einer Verbesserung der Varianzaufklärung um 0,2 % führt.

Der im Regressionsmodell des 1. Umwelt-Surveys verwendete Prädiktor **Mittlere Tageshöchsttemperatur**, der dort einen Varianzaufklärungsanteil von 1,3 % hatte, wurde in der vorgenommenen multivariaten statistischen Auswertung des 2. Umwelt-Surveys als potentieller Prädiktor geprüft. Seine Aufnahme in das Modell führt zu einer Erhöhung der aufgeklärten Varianz um 0,2 %. Es handelt sich hier aber keineswegs um eine Bestätigung des im früheren Modell festgestellten Effekts. Während im Modell des 1. Umwelt-Surveys der Cadmiumgehalt im Blut mit der mittleren Tageshöchsttemperatur abnimmt, ist unter Nutzung der Datenbasis 1990/91 ein entgegengesetzter Modelleffekt festzustellen. Dies zeigt sich bereits bei der bivariaten Korrelation. Die inhaltlich nicht erklärbare Gegensätzlichkeit der Zusammenhangsrichtung in beiden Surveys deutet auf eine „Zufallssignifikanz“ hin, die bei kleinen Effekten nicht auszuschließen ist.

Die Nichtbestätigung der drei eben diskutierten Prädiktoren des 1. Umwelt-Surveys durch die neuere Datenbasis des 2. Umwelt-Surveys macht deutlich, daß das seinerzeit durchgeführte Verfahren der vollständigen Einbeziehung aller vorhandenen primärstatistischen und sekundärstatistischen Daten in die Modellwahl große Gefahren mit sich bringt. Je mehr potentielle Prädiktoren zugelassen werden, desto mehr statistische Tests werden im Rahmen der Modellwahl durchgeführt. Da diese Tests nur mit einer gewissen Fehler-Wahrscheinlichkeit (unterhalb des eingestellten Signifikanzniveaus) zur richtigen Entscheidung führen, nimmt die Gefahr von Fehlentscheidungen mit der Anzahl durchgeführter Tests zu.

Im Rahmen der vorliegenden Studie ist eine hypothesengeleitete Modellwahl vorgenommen worden. Es sind nur solche Merkmale als potentielle Prädiktoren in Betracht gezogen worden, die, zumindestens im weiteren Sinne, einen inhaltlichen Bezug zur Zielgröße haben. Durch dieses hypothesengeleitete Vorgehen wird nicht nur die Gefahr von Zufallssignifikanzen verringert, sondern auch die Hinzunahme von Prädiktoren verhindert, die inhaltlich weder als Einflußgröße noch als expositionsbeeinflussende Umgebungsbedingung oder Verhaltensweise in Frage kommen.

6.1.7 Spezielle Untersuchungen für Nichtraucher

Sowohl aus der vorangegangenen multivariaten statistischen Auswertung als auch aus den in der Literatur publizierten Ergebnissen ergibt sich, daß der Cadmiumgehalt im Blut bei Erwachsenen wesentlich durch das Rauchverhalten beeinflusst wird. Andere Expositionspfade, wie die Ernährung oder die Belastung am Arbeitsplatz, werden offenbar durch die starke Wirkung des Rauchens überdeckt, so daß sie bei der Herleitung der Prädiktoren eines statistischen Modells keine Berücksichtigung finden. Es stellt sich die Frage, ob möglicher-

weise weitere Expositionspfade statistisch nachweisbar und quantifizierbar sind, wenn man den Hauptexpositionspfad Rauchen ausschließt.

Eine mögliche Herangehensweise, den Expositionspfad Rauchen weitgehend auszuschließen, ist die Einschränkung der statistischen Auswertung auf die Teilstichprobe der Nieraucher. Diese ist mit über 1600 Probanden im 2. Umwelt-Survey groß genug, um auf ihrer Basis haltbare Aussagen abzuleiten. Eine auf diese Probandengruppe bezogene separate Regressionsanalyse führte allerdings zu keinem befriedigenden Modell. Die Varianzaufklärung liegt unterhalb von 10 %, wobei nur ein starker Prädiktor, nämlich das Lebensalter bei Frauen, erkennbar ist. Auch bei Nierauchern haben Verzehrshäufigkeiten und Verzehrsmengen verschiedener Nahrungsmittelgruppen, die Cadmiumzufuhr über das Trinkwasser, regionale Merkmale, Merkmale des häuslichen Bereichs und Arbeitsplatzbelastungen keine wesentliche Bedeutung für den Cadmiumgehalt im Blut.

Wenn man ähnlich wie Schwarz et al. (1993) die statistische Auswertung auf die Gruppe der Nichtraucher erweitert, d. h. die Exraucher in die Regressionsanalyse mit einbezieht, lassen sich etwas höhere Varianzaufklärungen (über 10 %) erzielen. Die größere Varianzaufklärung resultiert dann allerdings aus dem Einbeziehen des Hauptexpositionspfades „Rauchen“, da Rauchindikator und Rauchdauer (bei Nierauchern Null, bei Exrauchern positivwertig) wieder als Einflußgrößen hinzukommen. Ein Modell, das auf die gleichen Prädiktoren wie das Gesamtmodell aus Tabelle 6.3 zurückgreift, erreicht für die Teilstichprobe der Nichtraucher eine Varianzaufklärung von 13,4 %, die durch Hinzunahme weiterer Prädiktoren nicht wesentlich erhöht wird.

6.2 Cadmium im Blut der Kinder

Die multivariate statistische Auswertung für die Cadmiumgehalte im Blut der 6- bis 14jährigen Kinder führte zu keiner befriedigenden Varianzaufklärung (unter 20 %), so daß im folgenden auf die explizite Angabe von Modellgleichungen verzichtet wird. Die Ergebnisdarstellung beschränkt sich somit auf die Angabe der Prädiktoren und ihre Bewertung anhand der zugeordneten Varianzkomponenten. Die Resultate sind in Tabelle 6.7 zusammengestellt.

Für die Kinder der neuen und der alten Bundesländer werden die gleichen drei Prädiktoren verwendet, so daß die regressionsanalytischen Untersuchungen auf die zusammengefaßten Datensätze aller 6- bis 14jährigen Kinder unmittelbar erweiterbar sind. Bei dieser Erweiterung ist der zusätzliche Prädiktor „Alte/Neue Bundesländer“ zu berücksichtigen. Bei somit vier Prädiktoren lassen sich 13,7 % der Varianz von Cadmium im Blut erklären. Die Varianzaufklärungsraten bei separater Auswertung für die alten und neuen Bundesländer sind 5,5 % und 14,8 %. Im Rahmen des 1. Umwelt-Surveys 1985/86 wurden keine Kinder untersucht.

Tab. 6.7: Prädiktoren und Varianzaufklärung für Cadmium im Blut bei Kindern

Prädiktoren									
Z₁ = gelegentliches oder regelmäßiges gegenwärtiges Rauchen (nein = 0, ja = 1) Z₂ = Alte/ Neue Bundesländer (Alte Länder = 0, Neue Länder = 1) Z₃ = Städtisches Wohngebiet (nein = 0, ja = 1) Z₄ = Kalte/Warme Jahreszeit (Oktober bis April = 0, Mai bis September = 1)									
Deutschland				Alte Bundesländer			Neue Bundesländer		
Prä- dik- to- ren	aufgeklärte Varianz : 13,7 %			aufgeklärte Varianz : 5,5 %			aufgeklärte Varianz : 14,8 %		
	nach Korrektur : 13,2 %			nach Korrektur : 4,9 %			nach Korrektur : 13,9 %		
	n = 703			n = 441			n = 262		
	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$
Z₁	0,228	0,246	5,6 %	0,149	0,146	2,2 %	0,305	0,309	9,4 %
Z₂	0,204	0,213	4,3 %	-	-	-	-	-	-
Z₃	0,114	0,199	2,3 %	0,106	0,115	1,2 %	0,108	0,177	1,9 %
Z₄	0,163	0,092	1,5 %	0,150	0,142	2,1 %	0,192	0,184	3,5 %

Anmerkungen: n = Stichprobenumfang ; β = standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell); r = Korrelation zwischen Prädiktor und Zielgröße Y (Maß für die Stärke des bivariaten Zusammenhangs); $\beta r \cdot 100 \%$ = der dem Prädiktor zuzuordnende Anteil an der Varianz (Summe über alle Prädiktoren ergibt den durch das Modell aufgeklärten Varianzanteil)

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

6.2.1 Diskussion der Prädiktoren

Gegenwärtiges Rauchen

Die schwache Varianzaufklärung des Blutcadmiumgehalts bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen resultiert aus der deutlich geringeren Bedeutung des Expositionspfades Rauchen. Es kann davon ausgegangen werden, daß Kinder von 6 bis 11 Jahren in der Regel nicht rauchen (ihr Rauchverhalten wurde auch nicht erfragt). Von den Kindern über 11 Jahren gaben 2,6 % (West: 1,3 %, Ost: 4,3 %) an, gelegentlich oder regelmäßig zu rauchen. Neben dem sicher zu erwartenden kleinen Raucheranteil bei 12- bis 14jährigen Kindern ist zu bedenken, daß die Angaben möglicherweise eine geringe Validität besitzen, da manche Kinder heimlich rauchen und die Geheimhaltung durch ihre Antworten nicht gefährden wollten. Die Ost-West-Unterschiede in dem durch das Rauchen erklärten Varianzanteil von Cadmium im Blut (West: 2,2 %, Ost: 9,4 %) können bei der geringen Anzahl rauchender Kinder zufällig sein, sie können aber auch einen Interviewer-Effekt darstellen, da in den alten und neuen Ländern jeweils andere Interviewerteams tätig waren. Es ist nicht auszuschließen, daß dem

Expositionspfad Rauchen ein merklich höherer Varianzanteil als 10 % zuzuordnen ist, doch kann eine solche Quantifizierung mit den erhobenen Daten nicht belegt werden.

Zu erwähnen ist ferner, daß ein Einfluß des Passivrauchens auf den Cadmiumgehalt im Blut der Kinder nicht nachgewiesen werden konnte, was sich mit Ergebnissen aus der Literatur (Hofstetter et al. 1990, Willers et al. 1988 und 1992) deckt.

Alte/Neue Bundesländer

Wie bereits bei der deskriptiven Auswertung des 2. Umwelt-Surveys (Krause et al. 1996a) festgestellt, haben Kinder in den neuen Bundesländern signifikant höhere Cadmiumgehalte im Blut als Kinder in den alten Bundesländern. Dieser Effekt wird durch die multivariate Auswertung bestätigt. Der bivariate Zusammenhang zwischen dem Cadmiumgehalt im Blut und dem Merkmal Alte/Neue Bundesländer ist mit $r = 0,246$ gleichgerichtet und etwa gleichstark wie der Zusammenhang beider Merkmale im Rahmen der multivariaten Auswertung, erfaßt durch $\beta = 0,228$.

Da im Modell der Erwachsenen (vgl. Tabellen 6.2 und 6.3) Expositionsunterschiede zwischen Probanden der alten und neuen Bundesländer nur über den Rauchindikator eingehen, somit bei Nierauchern keine Ost-West-Unterschiede auftreten (der mittlere Cadmiumgehalt bei Nierauchern ist in Ost und West jeweils $0,21 \mu\text{g/l}$, vgl. Krause et al. 1996a), ist die Interpretation eines Ost-West-Effekts bei Kindern schwierig. Die Exposition von Kindern unterscheidet sich von der der Erwachsenen vor allem in einer größeren zugeführten Nahrungsmenge in Relation zum Körpergewicht sowie in der hinzukommenden Belastung durch das Spielverhalten. Inwieweit diese Unterschiede für die durchschnittlich höheren Cadmiumgehalte von Kindern aus den neuen Länder im Vergleich zu Kindern aus den alten Ländern wesentlich sind, kann im Rahmen dieser Studie nicht geklärt werden.

Wohngebiet und Jahreszeit

Die Prädiktoren **Städtisches Wohngebiet** und **Kalte/Warme Jahreszeit** haben nur eine relativ geringe Bedeutung für die im Blut gemessene korporale Cadmiumbelastung. Kinder, die in Städten wohnen, haben im Mittel etwas höhere Cadmiumgehalte als Kinder aus vorstädtischen und ländlichen Gebieten. Bei Probenahmezeiten während der wärmeren Monate (Mai bis September) ist mit höheren Blutcadmiumgehalten zu rechnen als bei Probenahmen in den kälteren Monaten (Oktober bis April).

Wie in den Kapiteln 2 und 3.1 erläutert, wird im allgemeinen davon ausgegangen, daß in städtischen Regionen höhere Cadmiumimmissionen und in der Folge z. B. auch höhere Bodenbelastungen vorliegen. Wegen ihres

geringeren Körpergewichtes, ihrer höheren Resorptionsrate und ihres Spielverhaltens können bei Kindern möglicherweise regionale Unterschiede deutlicher werden als bei Erwachsenen. Es ist allerdings anzumerken, daß der Cadmiumniederschlag in der Außenluft, der die Belastung durch Immissionen deutlicher beschreiben sollte als ein kategoriales Merkmal für das Wohngebiet, kein signifikanter Prädiktor für den Cadmiumgehalt im Blut der Kinder ist. In anderen Studien, die in der Bundesrepublik durchgeführt wurden, gelang es in der Regel nicht, den Einfluß des Wohngebietes oder des Cadmiumniederschlages nachzuweisen (Begerow et al. 1994, Brockhaus et al. 1988). Auch in der vorliegenden Auswertung ist der Effekt des Prädiktors Städtisches Wohngebiet, wie bereits erwähnt, eher gering.

Eine ähnliche Argumentation läßt sich für den nur bei Kindern nachweisbaren Einfluß des Prädiktors Kalte/Warme Jahreszeit heranziehen. Das Spielverhalten, besonders der mit dem Spielen im Freien verbundene Kontakt zu Boden und Staub, sowie die mitunter lange Dauer des Aufenthaltes im Freien während der warmen Jahreszeit scheinen einen Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Blut der Kinder zu haben.

6.2.2 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale

Zu erwähnen ist, daß bei Kindern weitere aufgrund von Hypothesen geprüfte potentielle Prädiktoren, wie z. B. Verzehrshäufigkeiten und Verzehrsmengen cadmiumhaltiger Nahrungsmittel (Innereien, rohes Gemüse), die Cadmiumkonzentration im häuslichen Trinkwasser, der Cadmiumniederschlag in der Außenluft oder das Vorhandensein einer Holz/Kohle-Ofenheizung keinen statistisch nachweisbaren Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Blut haben. Dies steht im Einklang mit den Ergebnissen der multivariaten Auswertung der Cadmiumgehalte im Blut der Erwachsenen.

7 Cadmium im Urin

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der multivariaten statistischen Auswertung für die Cadmiumgehalte im Urin behandelt. Die Auswertung erfolgt für die volumenbezogenen Gehalte, eine kurze Darstellung der sich ergebenden Resultate für creatininbezogene Cadmiumgehalte schließt sich an. Um die bei den eingesetzten statistischen Verfahren teilweise nötige Voraussetzung der Normalverteilung für die als Zielgröße dienende Variable zu gewährleisten, werden die Cadmiumgehalte logarithmisch transformiert. Der Ansatz eines linearen Regressionsmodells für die logarithmierten Gehalte führt nach inverser Transformation (Exponieren) zu einem multiplikativen Modell für die ursprünglichen Cadmiumgehalte (vgl. Kapitel 5.2). Die Parameter des somit erhaltenen multiplikativen Modells beschreiben die relative Zu- oder Abnahme des Cadmiumgehalts im Urin in Abhängigkeit von ausgewählten Meß- oder Fragebogenmerkmalen, die auch als Prädiktoren bezeichnet werden.

Es werden getrennte Regressionsanalysen für alle Erwachsenen (25 bis 69 Jahre) und für alle Kinder (6 bis 14 Jahre) des Umwelt-Surveys 1990/92 durchgeführt. Einen Überblick über die mit den Regressionsanalysen erreichten Varianzaufklärungsraten sowie über die Varianzkomponenten der einzelnen Einflußgrößen (Prädiktoren) gibt Abbildung 7.1. Eine genauere Darstellung und Erörterung der multivariaten Zusammenhangsstruktur und -stärke ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

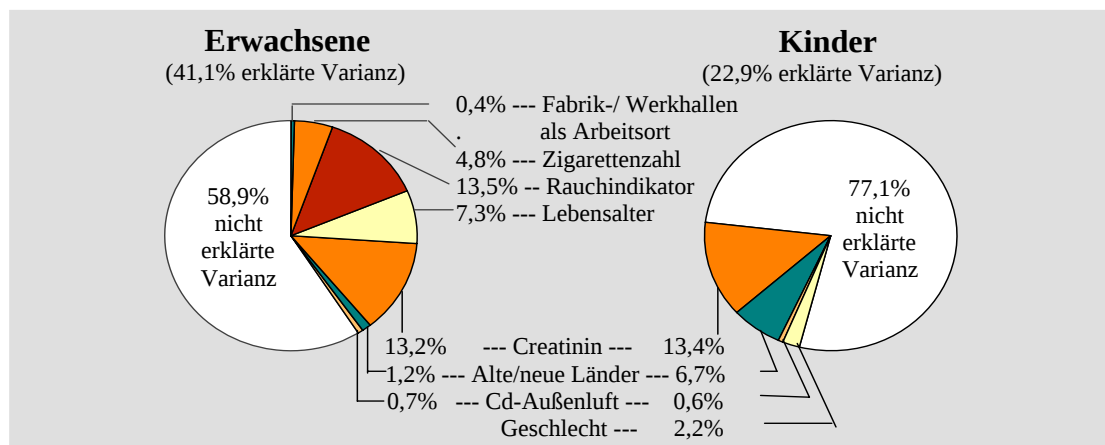


Abb. 7.1: Varianzaufklärung und Varianzkomponenten für Cadmium im Urin - Erwachsene und Kinder

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

7.1 Cadmium im Urin der Erwachsenen

Bei der multivariaten statistischen Auswertung für Cadmium im Urin wurde auf den im Anhang (Abschnitt 14.4) dargestellten Variablensatz zurückgegriffen, der auch bei der Modellierung der Cadmiumgehalte im Blut zur Verfügung stand. Die Auswahl des Variablensatzes erfolgte hypothesenorientiert unter Inanspruchnahme der etwa 2000 im Rahmen des Umwelt-Surveys 1990/92 erhobenen Meß- und Fragebogenmerkmalen. Nach Durchführung der schrittweisen Regression (vgl. Kapitel 5.4), zunächst getrennt für die alten und neuen Bundesländer, sind aus den etwa 150 Variablen des Anhangs (Abschnitt 14.4) schließlich 11 Prädiktoren hergeleitet worden, die in Tabelle 7.1 definiert sind. Diese Prädiktoren werden auch zur Herleitung eines Regressionsmodells für die Cadmiumgehalte im Urin der deutschen 25- bis 69jährigen Bevölkerung bei Zusammenführung der alten und neuen Bundesländer benutzt.

Tabelle 7.1 stellt die für Cadmium im Urin vorgeschlagenen Prädiktoren sowie die zu deren Definition benötigten Ausgangsmerkmale zusammen. Durch die 11 Prädiktoren werden 41,1 % der Varianz des Cadmiumgehalts erklärt. Bei getrennter Modellierung für die alten und neuen Bundesländer sind mit neun bzw. acht Prädiktoren 39,3 % bzw. 42,9 % der Varianz erklärbar (vgl. nachfolgende Tabelle 7.2). Im Vergleich dazu betrug die Varianzaufklärung des Modells vom 1. Umwelt-Survey 1985/86 in den alten Bundesländern 32,0 % bei 12 Prädiktoren (Schwarz et al. 1993). In anderen Studien erzielte Varianzaufklärungsraten sind 38,0 % (Kreis et al. 1987, zitiert in Herber et al. 1992, bei sechs Prädiktoren), 29,1 % bzw. 31,2 % (Sartor et al. 1992, bei 11 Prädiktoren und getrennter Modellierung für Frauen und Männer, nach Korrektur des altersbezogenen Anteils) und 27,6 % (Ewers et al. 1985, bei fünf Prädiktoren).

7.1.1 Herleitung eines Rauchindikators für Cadmium im Urin

Im folgenden Kapitel soll ähnlich wie bei der Modellierung des Blutcadmiumgehalts ein komplexer Prädiktor hergeleitet werden, der sowohl die gegenwärtige bzw. frühere Rauchaktivität des Probanden als auch die Rauchdauer und den eventuell verstrichenen Zeitraum seit Beendigung des aktiven Rauchens berücksichtigt. Dieser Prädiktor soll wiederum Rauchindikator genannt werden und nach der gleichen Berechnungsformel wie in Kapitel 6.1.1 bestimmt werden, die hier noch einmal angegeben sei:

Tab. 7.1: Prädiktoren für Cadmium im Urin bei Erwachsenen

<i>Benötigte Merkmale</i>	
Y =	Cadmium im Urin in µg/l
X ₁ =	Durchschnittliche Anzahl gegenwärtig (bei Rauchern) bzw. früher (bei Exrauchern) gerauchter Zigaretten (mit Filter, ohne Filter, selbstgedreht) pro Tag (bei Nierauchern: X ₁ = 0)
X ₂ =	Gesamtrauchdauer in Jahren (bei Nierauchern: X ₂ = 0)
X ₃ =	Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens in Monaten (bei Rauchern: X ₃ = 0)
X ₄ =	Gegenwärtiger Raucher (nein = 0, ja = 1)
X ₅ =	Lebensalter in Jahren
X ₆ =	Geschlecht (männlich = 0, weiblich = 1)
X ₇ =	Alte/ Neue Bundesländer (Alte Länder = 0, Neue Länder = 1)
X ₈ =	Creatiningehalt im Urin in g/l
X ₉ =	Cadmiumniederschlag in der Außenluft (Bergerhoff) in µg/(m ² * Tag)
X ₁₀ =	Häufiger/ständiger Arbeitsplatz in Fabrikhallen, Werkhallen, Werkstätten, Lagerräumen (nein = 0, ja = 1)
<i>Berechnung des Rauchindikators (vgl. Kapitel 7.1.1)</i>	
$I_U = 0,5^{X_3/360} \cdot (1 - 0,5^{X_2/30}) \cdot \ln(X_1 + 1)$	
<i>Prädiktoren</i>	
Z ₁ =	I _U * (1 - X ₆) = Rauchindikator bei Männern
Z ₂ =	I _U * X ₆ = Rauchindikator bei Frauen
Z ₃ =	ln (X ₁ + 1) * X ₄ * (1 - X ₇) = Logarithmische Transformation der Zigarettenzahl bei gegenwärtigen Rauchern der alten Bundesländer
Z ₄ =	ln (X ₁ + 1) * X ₄ * X ₇ = Logarithmische Transformation der Zigarettenzahl bei gegenwärtigen Rauchern der neuen Bundesländer
Z ₅ =	ln (X ₅ / 25) * (1 - X ₆) = Logarithmus des durch 25 dividierten Lebensalters bei Männern (bei Frauen: Z ₅ = 0)
Z ₆ =	ln (X ₅ / 25) * X ₆ = Logarithmus des durch 25 dividierten Lebensalters bei Frauen (bei Männern: Z ₆ = 0)
Z ₇ =	ln (X ₈ / 0,15) * (1 - X ₆) = Logarithmus des durch 0,15 dividierten Creatiningehalts (g/l) im Urin bei Männern (bei Frauen: Z ₇ = 0)
Z ₈ =	ln (X ₈ / 0,15) * X ₆ = Logarithmus des durch 0,15 dividierten Creatiningehalts (g/l) im Urin bei Frauen (bei Männern: Z ₈ = 0)
Z ₉ =	X ₇ = Alte/ Neue Bundesländer (Alte Länder = 0, Neue Länder = 1)
Z ₁₀ =	ln (X ₉ / 0,04) = Logarithmus des durch 0,04 dividierten Cadmiumniederschlags (µg/(m ² * Tag)) in der Außenluft (Bergerhoff)
Z ₁₁ =	X ₁₀ = Häufiger/ständiger Arbeitsplatz in Fabrikhallen, Werkhallen, Werkstätten, Lagerräumen (nein = 0, ja = 1)

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

$$I = 0,5^{X_3/\tau} \cdot \left[1 - 0,5^{12 X_2/\tau} \right] \cdot \ln(X_1 + 1)$$

X_1 = durchschnittliche Anzahl gegenwärtig (bei Rauchern) bzw. früher (bei Exrauchern) gerauchter Zigaretten
(mit Filter, ohne Filter, selbstgedreht) pro Tag (bei Nierauchern: $X_1 = 0$)

X_2 = Gesamtrauchdauer in Jahren (bei Nierauchern: $X_2 = 0$)

X_3 = Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens in Monaten (bei Rauchern: $X_3 = 0$)

τ = Parameter

Der Rauchindikator ergibt sich als Produkt dreier Faktoren, eines Minderungsfaktors für Exraucher, eines die Rauchdauer reflektierenden Verstärkungsfaktors sowie eines Faktors der Rauchintensität. Der in der Formel auftretende Parameter τ hatte bei der Formelherleitung (vgl. Kapitel 6.1.1 und Anhang 14.3) die inhaltliche Bedeutung eines Halbwertszeitparameters.

Wenn man eine kurzzeitig hohe Cadmiumexposition, eine cadmiuminduzierte Nierenschädigung und eine Sättigung der cadmiumspeichernden Organe und Kompartimente ausschließen kann, so verhält sich der Cadmiumgehalt im Urin annähernd proportional zu dem im gesamten Körper gespeicherten Cadmium (WHO 1992). Ein besonders enger Zusammenhang besteht zwischen den Cadmiumgehalten in der Niere und im Urin (Buchet et al. 1990). Wenn der Cadmiumgehalt im Urin als annähernd proportional zum Cadmiumgehalt in der Niere angesehen werden kann, so liegt es nahe, den Parameter τ in der Größenordnung des Halbwertszeitparameters von Cadmium in der Niere anzusetzen. Die Angaben zur Halbwertszeit in der Niere schwanken zwischen 7½ und 16 Jahren, in der Nierenrinde zwischen 20 und 50 Jahren (WHO 1992). Eine mit dem Datenmaterial des 2. Umwelt-Surveys durchgeführte Simulationsstudie, bei der der Parameter τ von 1 Jahr schrittweise auf 50 Jahre erhöht wurde, hat für $\tau = 30$ den stärksten Zusammenhang des Rauchindikators mit dem logarithmierten Cadmiumgehalt im Urin aufgezeigt. Deshalb soll in den folgenden statistischen Auswertungen $\tau = 30$ gewählt werden, so daß der Rauchindikator für Cadmium im Urin die konkrete Form

$$I_U = 0,5^{X_3/360} \cdot (1 - 0,5^{X_2/30}) \cdot \ln(X_1 + 1)$$

annimmt. Es kann bereits jetzt festgestellt werden, daß der Rauchindikator I_U bei der folgenden multivariaten Auswertung ein starker Prädiktor für Cadmium im Urin sein wird. Die hohe bivariate Korrelation von 0,39 zwischen I_U und dem logarithmierten Cadmiumgehalt sichert eine Varianzaufklärung von mindestens $(0,39)^2 \cdot 100\% = 15,2\%$.

7.1.2 Modellangabe und -anwendung

Um einen unmittelbaren Vergleich zwischen dem für die alten Bundesländer und dem für die neuen Bundesländer geltenden Modell zu ermöglichen, sind beide Modelle in Tabelle 7.2 gegenübergestellt. Gleichzeitig ist das zusammenfassende für alle Bundesländer gültige Regressionsmodell angegeben. Die Modellgleichungen sind in der üblichen Form mit Bezugnahme auf die Prädiktoren dargestellt. Neben den Modellgleichungen sind die statistischen Kenngrößen β , r und $\beta r \cdot 100\%$ angegeben worden, um die Bedeutung der einzelnen in das Modell aufgenommenen Prädiktoren einschätzen zu können. Sie sind in Kapitel 5.5 näher erklärt.

Die Prädiktoren wurden so definiert, daß ihre Werte größer oder gleich Null sind und daß eine Wertzunahme zu einem Anstieg des Cadmiumgehalts im Urin führt. Die in die Definition der Prädiktoren eingehenden Konstanten (25 ; 0,15 ; 0,04) dienen der Normierung und sind die Minimalwerte der entsprechenden Originalgrößen. Durch die Normierung der Prädiktoren ergibt sich der kleinste durch das Modell vorhersagbare Cadmiumgehalt bei gleichzeitigem Nullsetzen aller Prädiktoren. Dieser kleinstmögliche durch das Modell vorhersagbare Cadmiumgehalt ist gleich dem Basiswert des Modells, d. h. gleich dem an erster Stelle stehenden konstanten Faktor 0,015 $\mu\text{g/l}$ im Gesamtmodell bzw. 0,013 und 0,025 $\mu\text{g/l}$ in den für die alten und neuen Länder getrennten Modellen. Die durch die Basiswerte beschriebene Grundbelastung, welche nicht durch die Prädiktoren des Modells erklärt werden kann, liegt somit deutlich unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,05 $\mu\text{g/l}$, d. h. der mit dem Modell simulierbare Wertebereich deckt den unteren Meßbereich ab.

Die Modellgleichungen, befinden sich im unteren Teil der Tabelle 7.2. Zur exemplarischen Modellanwendung soll das folgende Beispiel dienen.

Angenommen der betrachtete Proband ist männlich ($X_6 = 0$), kommt aus den alten Bundesländern ($X_7 = 0$), ist seit 10 Jahren Raucher ($X_2 = 10$) und raucht gegenwärtig 20 Zigaretten am Tag ($X_1 = 20$, $X_4 = 1$). Er möge ferner 50 Jahre alt sein ($X_5 = 50$), im Büro arbeiten ($X_{10} = 0$) sowie einen Creatiningehalt von 0,9 g/l im Urin haben ($X_8 = 0,9$). Ferner möge der örtliche Cadmiumniederschlag in der Außenluft 0,4 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ d})$ betragen ($X_9 = 0,4$). Zunächst berechnen wir den Rauchindikator nach der in Tabelle 7.1 angegebenen Formel :

$$\begin{aligned} I_U &= 0,5^{0/360} \cdot (1 - 0,5^{10/30}) \cdot \ln(20 + 1) \\ &= 1 \quad \cdot \quad 0,206 \quad \cdot \quad 3,045 \\ &= 0,627 \quad . \end{aligned}$$

Tab. 7.2: Regressionsmodelle für Cadmium im Urin bei Erwachsenen

	Deutschland			Alte Bundesländer			Neue Bundesländer		
Prä- dik- to- ren	aufgeklärte Varianz : 41,1 %			aufgeklärte Varianz : 39,3 %			aufgeklärte Varianz : 42,9 %		
	nach Korrektur : 41,0 %			nach Korrektur : 39,1 %			nach Korrektur : 42,6 %		
	n = 3827			n = 2388			n = 1439		
	β	r	βr · 100 %	β	r	βr · 100 %	β	r	βr · 100 %
Z ₁	0,370	0,303	11,2 %	0,355	0,299	10,6 %	0,406	0,329	13,4 %
Z ₂	0,142	0,163	2,3 %	0,144	0,178	2,6 %	0,123	0,172	2,1 %
Rauchindikator (Z ₁ , Z ₂) :									
Varianzanteile			13,5 %	13,2 %			15,5 %		
Z ₃	0,118	0,188	2,2 %	0,139	0,304	4,2 %	-	-	-
Z ₄	0,120	0,219	2,6 %	-	-	-	0,185	0,338	6,3 %
Zigarettenzahl (Z ₃ , Z ₄) :									
Varianzanteile			4,8 %	4,2 %			6,3 %		
Z ₅	0,309	0,103	3,2 %	0,317	0,107	3,4 %	0,302	0,097	2,9 %
Z ₆	0,492	0,084	4,1 %	0,491	0,097	4,7 %	0,507	0,058	2,9 %
Lebensalter (Z ₅ , Z ₆) :									
Varianzanteile			7,3 %	8,1 %			5,8 %		
Z ₇	0,956	0,049	4,7 %	0,935	0,039	3,6 %	1,027	0,073	7,4 %
Z ₈	1,044	0,081	8,5 %	1,008	0,087	8,8 %	1,142	0,062	7,1 %
Creatiningehalt im Urin (Z ₇ , Z ₈) :									
Varianzanteile			13,2 %	12,4 %			14,5 %		
Z ₉	0,099	0,122	1,2 %	-	-	-	-	-	-
Z ₁₀	0,067	0,099	0,7 %	0,086	0,141	1,2 %	-	-	-
Z ₁₁	0,053	0,075	0,4 %	0,043	0,057	0,2 %	0,082	0,097	0,8 %
Sonstige Einflußgrößen * (Z ₉ , Z ₁₀ , Z ₁₁) :									
Varianzanteile			2,3 %	1,4 %			0,8 %		
Y =	0,015 · 1,902 ^{Z₁} · 1,432 ^{Z₂} · 1,100 ^{Z₃} · 1,144 ^{Z₄} · 2,377 ^{Z₅} · 3,758 ^{Z₆} · 2,065 ^{Z₇} · 2,336 ^{Z₈} · 1,207 ^{Z₉} · 1,114 ^{Z₁₀} · 1,129 ^{Z₁₁}			0,013 · 1,873 ^{Z₁} · 1,421 ^{Z₂} · 1,105 ^{Z₃} · 2,543 ^{Z₅} · 3,991 ^{Z₆} · 2,113 ^{Z₇} · 2,404 ^{Z₈} · 1,162 ^{Z₁₀} · 1,110 ^{Z₁₁}			0,025 · 1,939 ^{Z₁} · 1,406 ^{Z₂} · 1,134 ^{Z₄} · 2,120 ^{Z₅} · 3,368 ^{Z₆} · 1,986 ^{Z₇} · 2,228 ^{Z₈} · 1,173 ^{Z₁₁}		

Anmerkungen: n = Stichprobenumfang ; β = standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell) ; r = Korrelation zwischen Prädiktor und Zielgröße Y (Maß für die Stärke des bivariaten Zusammenhangs) ; $\beta r \cdot 100 \%$ = der dem Prädiktor zuzuordnende Anteil an der Varianz (Summe über alle Prädiktoren ergibt den durch das Modell aufgeklärten Varianzanteil) ; * = hierzu gehören Alte/Neue Bundesländer, Cadmiumniederschlag in der Außenluft und Fabrik-/Werkhallen als Arbeitsplatz

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

Setzt man nun die Werte der Originalvariablen und des Rauchindikators in die Definitionsgleichungen der Prädiktoren ein, so erhält man

$$\begin{array}{llllll} Z_1=0,627 & Z_2=0 & Z_3=3,045 & Z_4=0 & Z_5=0,693 & Z_6=0 \\ Z_7=1,792 & Z_8=0 & Z_9=0 & Z_{10}=2,303 & Z_{11}=0 & . \end{array}$$

Damit ergibt sich nach dem Gesamtmodell

$$\begin{aligned} Y &= 0,015 \cdot 1902^{0,627} \cdot 1,432^0 \cdot 1,100^{3,045} \cdot 1,144^0 \cdot 2,377^{0,693} \cdot 3,758^0 \cdot 2,065^{1,792} \cdot 2,336^0 \cdot 1,207^0 \cdot 1,114^{2,303} \cdot 1,129^0 \\ &= 0,015 \cdot 1,496 \cdot 1 \cdot 1,337 \cdot 1 \cdot 1,822 \cdot 1 \cdot 3,667 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,282 \cdot 1 \\ &= 0,26 \text{ } \mu\text{g/l} . \end{aligned}$$

Mit Ausnahme des Basiswertes von 0,015 sind alle Faktoren größer oder gleich 1. Die Größe der Faktoren reflektiert den relativen Einflußgrad der einzelnen Expositionsponenten für die zu erwartende Cadmiumbelastung des betrachteten Probanden. Der größte Multiplikator bei obigem Beispiel ist 3,667. Er spiegelt den Einfluß des Creatiningehalts wider. Dem Rauchen entspricht ein Multiplikator von $1,496 \cdot 1,337 = 2,000$. Würde man das in Tabelle 7.2 angegebene spezielle Modell für die alten Bundesländer anwenden, ergäbe sich mit

$$\begin{aligned} Y &= 0,013 \cdot 1,873^{0,627} \cdot 1,421^0 \cdot 1,105^{3,045} \cdot 2,543^{0,693} \cdot 3,991^0 \cdot 2,113^{1,792} \cdot 2,404^0 \cdot 1,162^{2,303} \cdot 1,110^0 \\ &= 0,013 \cdot 1,482 \cdot 1 \cdot 1,355 \cdot 1,909 \cdot 1 \cdot 3,821 \cdot 1 \cdot 1,413 \cdot 1 \\ &= 0,27 \text{ } \mu\text{g/l} \end{aligned}$$

eine ähnlich hohe Belastung.

7.1.3 Diskussion der im Modell erfaßten Einflußgrößen

Rauchindikator und Zigarettenzahl

Der Cadmiumgehalt im Urin wird genauso wie der im Blut wesentlich durch das aktive Rauchen des Probanden beeinflusst. Während der Blutcadmiumgehalt jedoch eher die Rauchbelastung der letzten Monate widerspiegelt, ist der Gehalt im Urin eher Abbild für die über Jahre im Körper akkumulierte Cadmiummenge und reflektiert damit stärker die dauerhafte Rauchbelastung (Friberg et al. 1986). Dies läßt sich auch durch das in diesem Band angewendete Halbwertszeitmodell belegen. Dem hergeleiteten „optimalen“ Rauchindikator I_U für Cadmium im Urin entspricht ein Parameterwert $\tau = 360$ in der allgemeinen Formel (vgl. Kapitel 7.1.1), d. h. die Cadmiummenge, die ein Proband gegenwärtig mit dem Rauchen aufnimmt und die zu einem großen Teil (Hauptkomponente) über Umwege, z. B. nach Langzeitspeicherung in der Niere, in den Urin gelangt, wird erst

nach 360 Monaten (30 Jahren) zur Hälfte verschwunden sein. Demgegenüber steht ein Parameterwert von $\tau = 3$ beim Rauchindikator I_B für Cadmium im Blut, d. h. eine Halbwertszeit von drei Monaten.

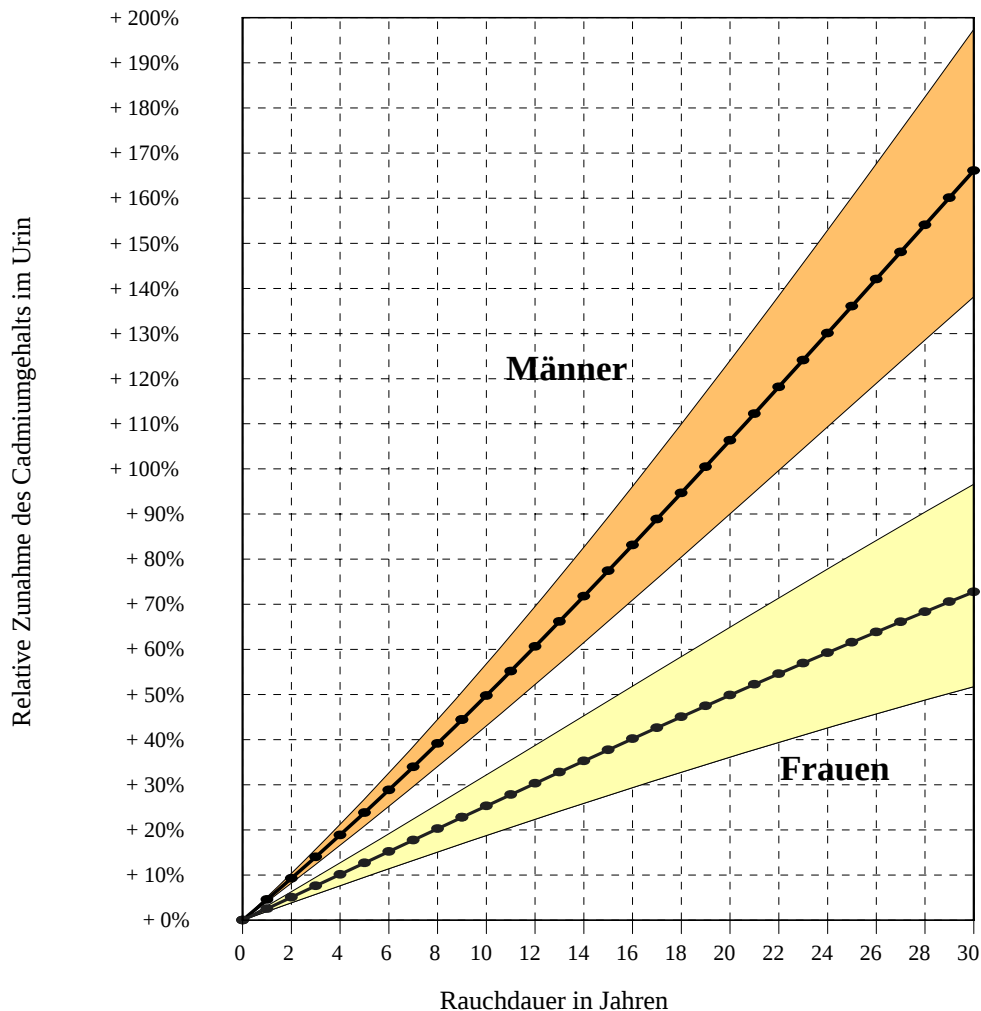


Abb. 7.2: Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Urin in Abhängigkeit von der Rauchdauer (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) bei einem gegenwärtigen Raucher und einer angenommenen Rauchintensität von 20 Zigaretten pro Tag - bestimmt auf Grundlage des Gesamt-Regressionsmodells für Erwachsene

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

Es zeigt sich, daß der Effekt des Rauchindikators I_U auf den Cadmiumgehalt im Urin bei Männern und Frauen unterschiedlich ist. Darum werden zwei geschlechtsspezifische Prädiktoren (Z_1 , Z_2) in das Modell aufgenommen. Die wesentlich stärkere Wirkung einer dauerhaften Rauchbelastung bei Männern wird in Abbildung 7.2 erkennbar, wo die Rauchintensität konstant gesetzt wurde (20 Zigaretten/Tag) und nur gegenwärtig aktive Raucher betrachtet werden, so daß der Rauchindikator nur eine Funktion der Rauchdauer darstellt.

Nach Tabelle 7.2 erklärt der Rauchindikator (Z_1 , Z_2) im Gesamtmodell 13,5 % der Varianz des Cadmiumgehalts im Urin, was im Vergleich zur Aufklärungsrate von 46,3 % des Rauchindikators für Cadmium im Blut eher gering ist. Hier deutet sich an, daß die den Cadmiumgehalt im Urin beeinflussenden Größen vielfältiger und komplexer sind und der Expositionspfad Rauchen nicht so stark dominiert, wie es im Cadmium/Blut-Modell (Tabelle 6.3) der Fall ist.

Es ist bekannt, daß die Niere bei einer länger andauernden hohen Cadmiumexposition von einem bestimmten Sättigungspunkt an kein weiteres Cadmium speichern kann, so daß das in einer solchen Phase neu aufgenommene Cadmium direkt mit dem Urin ausgeschieden wird (WHO 1992). Daraus folgt, daß die aktuelle Rauchbelastung durchaus eine direkte Wirkung auf den Cadmiumgehalt im Urin haben kann. Es ist somit naheliegend zu prüfen, ob neben dem bereits im Modell vorhandenen Rauchindikator noch ein die aktuelle Rauchbelastung widerspiegelndes Merkmal aufgenommen werden sollte. Hierfür bietet sich das Merkmal **Zigarettenzahl** an.

Bei der Berechnung des Merkmals Zigarettenzahl wurde analog zur multivariaten Auswertung des Blutcadmiumgehalts nur die Anzahl gegenwärtig gerauchter Zigaretten (mit Filter, ohne Filter, selbstgedreht) pro Tag berücksichtigt, nicht jedoch die Anzahl gerauchter Zigarren, Zigarillos, Stumpen und Pfeifen. Bei Hinzunahme der Zigarren, Zigarillos, Stumpen und Pfeifen in die Anzahlberechnung sinkt die Korrelation zur Zielgröße (logarithmierter Cadmiumgehalt im Urin).

Wie bereits in Kapitel 6.1.3 ausführlich diskutiert, führt in den neuen Bundesländern das Rauchen einer Zigarette, vermutlich wegen des hohen Cadmiumgehalts der häufig gekauften Zigarettenmarke „Karo“, zu einer durchschnittlich höheren Cadmiumaufnahme im Vergleich zu den alten Bundesländern. Deshalb werden wiederum zwei verschiedene Prädiktoren (Z_3 , Z_4) für die Zigarettenzahl in West und Ost verwendet.

Die Anzahl gegenwärtig gerauchter Zigaretten (Z_3 , Z_4) erklärt im Gesamtmodell 4,8 % der Varianz. Im Modell der neuen Bundesländer ist die Varianzkomponente mit 6,3 % etwas größer als in dem Modell der alten Bundesländer mit 4,2 %, was wiederum auf den Gebrauch stärker cadmiumhaltiger Tabake in den neuen Ländern hinweist.

Der Expositionspfad Rauchen klärt insgesamt 18,3 % der Varianz des Cadmiumgehalts im Urin auf. (West: 17,4 %, Ost: 21,8 %). Im Vergleich dazu konnte im Rahmen der multivariaten Auswertung des 1. Umwelt-Surveys 11,0 % der Varianz des Cadmiumgehalts im Urin durch den Expositionspfad Rauchen aufgeklärt werden (Schwarz et al. 1993). Sartor et al. (1992) erreichten eine anteilige Varianzaufklärung von 9 % bei Männern und 3 % bei Frauen, wobei bemerkenswerterweise die Zahl in früheren Jahren täglich gerauchter Zigaretten bei dem für Männer geltenden Modell als Prädiktor verwendet wurde. Ewers et al. (1985) gaben für 65- bis 66jährige Frauen einen durch das Rauchen aufgeklärten Varianzanteil von 4 % an.

Lebensalter

Mit zunehmendem Lebensalter steigt der Cadmiumgehalt im Urin an. Der Anstieg ist bei beiden Geschlechtern unterschiedlich stark ausgeprägt, was aus der Modellierung des Blutcadmiumgehalts bereits zu vermuten war. Deshalb wurden zwei geschlechtsspezifische Prädiktoren Z_5 und Z_6 in das Modell aufgenommen.

In früheren empirischen Studien wurde festgestellt, daß der Einfluß des Alters auf den Cadmiumgehalt im Urin mit zunehmendem Alter schwächer wird. Deshalb haben Schwarz et al. (1993) und Sartor et al. (1992) neben dem linearen Term einen entgegen wirkenden quadratischen Term ($-X^2$) als Prädiktor in das Regressionsmodell aufgenommen. Dieses Vorgehen führt zu einer sehr hohen Multikollinearität. Die Multikollinearität, die die Genauigkeit der Parameterschätzungen stark beeinträchtigen kann, läßt sich vermeiden, wenn man nur einen sich auf das Alter beziehenden Prädiktor wählt, der den in den oberen Altersbereichen zu beobachtenden schwächer werdenden Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Urin berücksichtigt. Dafür eignet sich die nach entsprechenden statistischen Voruntersuchungen gewählte logarithmische Funktion.

Der in Kapitel 3.1 aufgrund von Ergebnissen aus der Literatur erwartete Altersverlauf, d. h. ein Abfall des Cadmiumgehalts im Urin etwa vom 50. Lebensjahr an, kann durch die vorgenommene multivariate Auswertung, bei der der wechselseitige Zusammenhang zwischen Lebensalter, Rauchdauer und Creatiningehalt berücksichtigt wird, nicht bestätigt werden. Das Modellresultat dieser Studie läßt sich mit den bereits deskribierten Ergebnissen des 2. Umwelt-Surveys (Krause et al. 1996a) bestätigen, wenn man den Altersverlauf in der Teilstichprobe der Nieraucher betrachtet, um den dominierenden Einfluß des Rauchens auszuschalten. Sowohl bei männlichen als auch bei weiblichen Nierauchern ist ein gleichmäßiger Anstieg über alle Altersklassen (25-29, 30-39, 40-49, 50-59, 60-69 Jahre) erkennbar. Während bei männlichen Nierauchern ein altersbedingter Anstieg von 0,137 auf 0,223 $\mu\text{g/l}$ (geometrische Mittelwerte in den Altersklassen) feststellbar ist, ist die altersbedingte Zunahme bei weiblichen Nierauchern von 0,168 auf 0,322 $\mu\text{g/l}$ noch etwas stärker (ebd. S.226). Die deskriptiven Ergebnisse decken sich weitgehend mit denen des 1. Umwelt-Surveys (Krause et al. 1989), wo allerdings nur Altersverläufe in der Teilstichprobe der Nichtraucher, d. h. unter Einschluß der Exraucher, tabelliert sind. Mit Ausnahme der obersten Altersklasse (60-69 Jahre) bei Frauen nimmt der Cadmiumgehalt im Urin eines Nichtrauchers mit dem Alter zu (ebd. S.81).

Die in der Definition der beiden Prädiktoren Z_5 und Z_6 auftretende Konstante 25, welche das geringste im Modell zugelassene Lebensalter darstellt, dient der Normierung, so daß beide Prädiktoren für das Lebensalter 25 den Wert Null haben und mit ansteigendem Alter wertmäßig zunehmen.

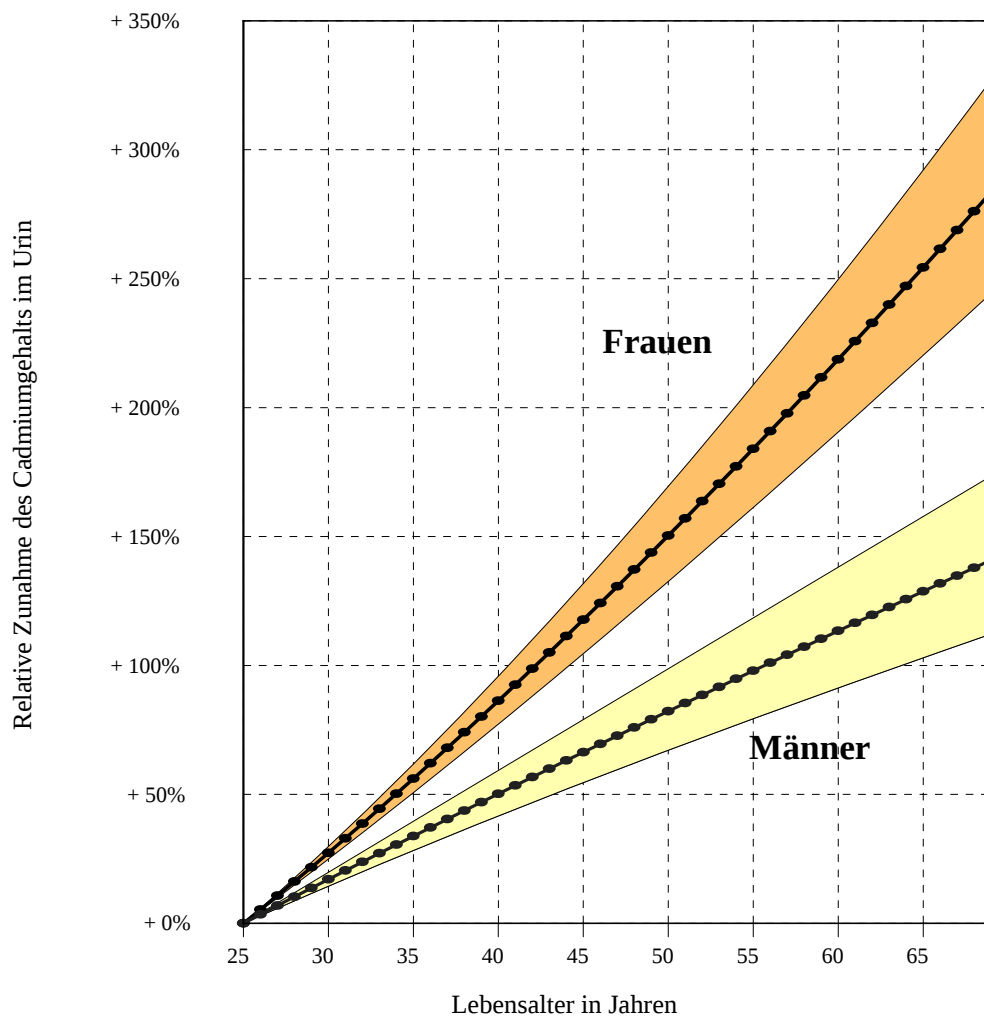


Abb. 7.3: Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Urin in Abhängigkeit vom Lebensalter (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) - bestimmt auf Grundlage des Gesamt-Regressionsmodells für Erwachsene

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

Zur Illustration betrachten wir eine 40jährige Person. Bei einer Frau ergibt sich im Gesamtmodell ein dem Lebensalter zuzuordnender Multiplikator von $3,758^{\ln(40/25)} = 1,863$, bei einem Mann ein Multiplikator von $2,377^{\ln(40/25)} = 1,502$. Während demzufolge der Cadmiumgehalt einer Frau vom 25. zum 40. Lebensjahr um rund 86 % ansteigt, ist bei Männern nur eine Erhöhung des Cadmiumgehalts um etwa 50 % zu erwarten. Diese quantitativen Aussagen sind aus der Abbildung 7.3 ablesbar, in der die relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Urin in Abhängigkeit vom Lebensalter grafisch dargestellt ist.

Der unterschiedlich starke Alterseffekt bei beiden Geschlechtern wird auch anhand der durch die Prädiktoren Z_5 und Z_6 aufgeklärten Varianzanteile deutlich. Der Alterseffekt der Frauen erklärt in der Gesamtstichprobe 4,1 % der Varianz, der der Männer hingegen nur 3,2 %. Der Alterseffekt insgesamt ist in den neuen Bundes-

ländern etwas schwächer als in den alten Ländern, was möglicherweise mit der stärkeren Langzeitwirkung des Rauchens, erkennbar an einer höheren Varianzaufklärung durch den Rauchindikator, und der signifikanten Korrelation von Rauchdauer und Lebensalter zusammenhängt.

Sartor et al. (1992) haben getrennte Regressionsanalysen für Männer und Frauen durchgeführt, bei denen sich in Übereinstimmung mit dem obigen Resultat ein stärkerer Alterseffekt für Frauen zeigte. In einem für beide Geschlechter geltenden Modell haben Schwarz et al. (1993) zwar geschlechtsunspezifische Prädiktoren für das Lebensalter verwendet, jedoch zusätzlich einen Prädiktor Geschlecht aufgenommen. Auch Kreis et al. (1987) (zitiert in Herber et al. 1992) haben das Geschlecht als separaten Prädiktor definiert. In der vorliegenden Studie ist allerdings auf bivariater Ebene kein signifikanter Zusammenhang zwischen dem Geschlecht und dem Cadmiumgehalt im Urin nachweisbar (Krause et al. 1996a, S. 225), und auch im Umwelt-Survey 1985/86 ist der mittlere Cadmiumgehalt bei Frauen und Männern nahezu gleich (Krause et al. 1989, S. 80). Offenbar heben sich der etwas stärkere Alterseffekt bei Frauen und die größere Rauchhäufigkeit und Rauchintensität bei Männern in ihrer Wirkung auf.

Creatiningehalt im Urin

Eine weitere wesentliche den Cadmiumgehalt im Urin beeinflussende Größe ist der im Urin gemessene Creatiningehalt. Dieser Prädiktor trat bereits im Cadmium/Urin-Modell des Umwelt-Surveys 1985/86 (Schwarz et al. 1993) sowie im Quecksilber/Urin-Modell des Umwelt-Surveys 1990/91 (Becker et al. 1996b) auf. Ein höherer Creatininwert bedeutet soviel wie eine stärkere Konzentration des Urins und damit als Folge auch volumenbezogen eine höhere Schadstoffkonzentration.

Die Logarithmierung des Creatiningehalts bei der Prädiktorenableitung soll das aus inhaltlichen Gründen zu erwartende annähernd proportionale Verhalten von Cadmium- und Creatiningehalt erfassen. In vorhergehenden für Männer und Frauen getrennt durchgeführten Modellrechnungen zeigte sich ein unterschiedlicher Zusammenhang zwischen Creatinin- und Cadmiumgehalt. Deshalb werden zwei geschlechtsspezifische Prädiktoren (Z_7 , Z_8) in das Modell aufgenommen, wodurch eine höhere Varianzaufklärung erreicht wird.

Die durch den Creatiningehalt im Urin erzielte Varianzaufklärung liegt mit 13,2 % (West: 12,4 % ; Ost: 14,5 %) in der gleichen Größenordnung wie die Varianzkomponente des Rauchindikators. Eine ähnlich hohe Varianzaufklärungsrate durch den Creatiningehalt wurde bereits bei der Modellierung des Quecksilbergehalts im Urin erzielt (Becker et al. 1996b). In anderen für Cadmium im Urin entwickelten Modellen (Kreis et al. 1987, zitiert in Herber et al. 1992, Schwarz et al. 1993) ist der Creatiningehalt gleichfalls als Einflußgröße enthalten.

Alte / Neue Bundesländer

Nichtraucher aus den neuen Bundesländern haben im Mittel einen um 20,7 % höheren Cadmiumgehalt im Urin als Nichtraucher der alten Bundesländer. Der relative Bezug ergibt sich aus dem zu Z_9 gehörenden Multiplikator von 1,207. Bei Rauchern ist zusätzlich ein Ost-West-Unterschied zu beachten, der sich bei den getrennt geführten Prädiktoren Z_3 und Z_4 zur Zigarettenzahl zeigt. Insgesamt entspricht dies in etwa dem bereits in der deskriptiven Auswertung des 2. Umweltsurveys (Krause et al. 1996a) erhaltenen Ergebnis, wonach Personen der neuen und alten Länder durchschnittlich 0,341 µg/l bzw. 0,274 µg/l Cadmium im Urin aufweisen, was einen Ost-Multiplikator von 1,245 ergibt. Der auf bivariater Ebene nachgewiesene signifikante Zusammenhang zwischen dem Cadmiumgehalt im Urin und dem Merkmal Alte/Neue Bundesländer wird somit durch die multivariate Auswertung bestätigt.

Ein möglicher Grund für den Ost-West-Unterschied sind die über viele Jahre andauernden höheren Cadmiumemissionen in den neuen Bundesländern, die für den Cadmiumgehalt im Urin als Reflektor von Langzeitbelastungen von größerer Bedeutung sind als für den Cadmiumgehalt im Blut, wo Ost-West-Unterschiede nur in der Wirkung der gerauchten Zigaretten statistisch nachweisbar waren (vgl. Tabellen 6.2, 6.3). Im Jahr 1990 wurde in den neuen Ländern mit 21 t/a mehr als doppelt so viel Cadmium emittiert wie in den alten Ländern mit 9 t/a. Auch fünf Jahre zuvor, d. h. 1985, waren die Emissionen in den neuen Bundesländern mit 25 t/a etwas höher als in den alten Ländern mit 20 t/a (UBA 1997, S. 134).

Cadmiumniederschlag in der Außenluft

Der Cadmiumniederschlag in der Außenluft ist ein Maß für die regionale Hintergrundbelastung. Er hat für den Cadmiumgehalt im Urin eine deutlich geringere Bedeutung als die auf das Rauchen zurückzuführende Cadmiumbelastung. Dies wird an dem Varianzanteil von 0,7 % des entsprechenden Prädiktors Z_{10} deutlich, der etwa $\frac{1}{26}$ des Varianzanteils der bereits diskutierten Einflußgröße „Rauchen“ beträgt. Ein solches Verhältnis ist nicht überraschend, wenn man bedenkt, daß durch das Rauchen von 20 Zigaretten/Tag eine Cadmiumzufuhr von 2000-4000 ng erfolgt und die nicht auf das Rauchen zurückzuführende Cadmiumzufuhr über die Atemluft mit bis zu 100 ng/Tag außerhalb von Emittentennahbereichen angegeben wird (Seidel et al. 1996).

Bei dem Cadmiumniederschlag in der Außenluft handelt es sich nicht um einen zu einem bestimmten Zeitpunkt gemessenen Wert, sondern um einen Jahresmittelwert, der aus monatlichen Sammelproben des im Wohnort aufgestellten Bergerhoff-Gerätes berechnet wurde. Veränderungen des entsprechenden Prädiktorwertes sind als dauerhafte Veränderungen des Cadmiumniederschlags zu verstehen. Aus dem Modell läßt sich ablesen, daß

eine dauerhafte Verdopplung des Cadmiumniederschlags in der Außenluft zu einem Anstieg des Cadmiumgehalts im Urin um etwa $(1,114^{\ln(2)} - 1) * 100 \% = 7,8 \%$ führt. In das Modell der neuen Bundesländer konnte der Cadmiumniederschlag in der Außenluft nicht als Prädiktor aufgenommen werden.

Fabrik-/Werkhallen als Arbeitsplatz

Ist der Arbeitsplatz häufig oder ständig eine Fabrikhalle, Werkhalle, Werkstätte, Garage oder ein Lagerraum, so ist mit einem um durchschnittlich 12,9 % höheren Cadmiumgehalt im Urin zu rechnen. Die Vorhersage differiert zwischen den alten Ländern (11,0 %) und den neuen Ländern (17,3 %), was aus den regionalen Modellen abzulesen ist.

7.1.4 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale

Im Rahmen der Modellierung wurde eine weitere Anzahl von Meß- und Fragebogenvariablen auf ihre Brauchbarkeit als Prädiktoren für Cadmium im Urin geprüft.

Weitere Merkmale zum Rauchen

Andere als die im Modell benötigten Informationen X_1 , X_2 , X_3 und X_4 (Zigarettenzahl, Rauchdauer, Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens und gegenwärtiger Rauchstatus) zum Expositionspfad Rauchen wurden auf ihre Verwendbarkeit zur Prädiktorenableitung untersucht, erwiesen sich jedoch ausnahmslos als nicht relevant. Dies betrifft insbesondere die Merkmale des Passivrauchens, wie das **regelmäßige Rauchen im Raum**, wobei der Raum betrachtet wurde, in dem der Proband seiner Hauptbeschäftigung nachgeht, der erfragte **Rauchstatus des Ehepartners**, sowie die **Anzahl der im selben Haushalt lebenden Raucher**. Die statistisch nicht belegbare Relevanz der genannten Merkmale entspricht insofern nicht den Erwartungen, als der für die Passivrauchbelastung wesentliche Nebenstromrauch eine viermal höhere Cadmiumkonzentration als der Hauptstromrauch hat (Seidel 1996). Eine mögliche Erklärung ist, daß die Passivraucher vorwiegend gasförmige und kaum partikelförmige Bestandteile des Tabakrauches resorbieren (Scherer et al. 1990) und daß in den gasförmigen Bestandteilen nur geringe Cadmiumkonzentrationen auftreten. Auf die Hinzunahme eines nur für die Nichtraucher geltenden Passivrauch-Prädiktors analog zu Schwarz et al. (1993) wurde aus methodisch-inhaltlichen Gründen verzichtet. Aufgrund des impliziten Nullsetzens des Prädiktorenwertes bei allen Rauchern entsteht notwendigerweise eine negative Korrelation zwischen Prädiktor und Cadmiumgehalt und eine modellierte Abnahme des Cadmiumgehalts als Wirkung einer Passivrauchbelastung.

Ernährung

Die von den Probanden gemachten Angaben zur Verzehrshäufigkeit und Verzehrsmenge von tierischen Innereien (Leber, Niere, Herz, Hirn), Fisch, Salat, rohem Gemüse, Bier, Wein/Sekt, hochprozentigen alkoholischen Getränken und Mineralwasser wurden im Rahmen der Prädiktorenwahl einbezogen, führten allerdings nur im Fall des Trinkens von Wein/Sekt zu einer geringfügig verbesserten Varianzaufklärung um 0,1 %. Dieses Resultat deckt sich mit den Ergebnissen der Regressionsanalyse für Cadmium im Blut, so daß hier auf die Diskussion in Kapitel 6.1.4 verwiesen wird.

Region und Wohnungsumfeld

Neben dem Cadmiumniederschlag in der Außenluft wurden eine Reihe von weiteren regionalen Merkmalen auf ihre Verwendbarkeit als Prädiktoren geprüft. Dazu gehören die **Gemeindegröße**, das **Wohngebiet** (ländlich, vorstädtisch, städtisch) sowie Art, Umfang und Entfernung von **Industrie- und Gewerbe in der Wohnungsbau**. Durch keine dieser Variablen ließ sich die mit dem Modell aufgeklärte Varianz von Cadmium im Urin signifikant erhöhen.

In den anderen publizierten Cadmium/Urin-Modellen finden regionale Prädiktoren in der Regel nur dann Berücksichtigung, wenn die zugrundliegende empirische Untersuchung eine Vergleichsstudie zwischen Gebieten mit und ohne industrieller Cadmiumbelastung darstellt (Ewers et al. 1985, Kreis et al. 1987, zitiert in Herber et al. 1992, Sartor et al. 1992). Die in diesen Studien ermittelten regionalen Varianzaufklärungsanteile (z. B. 20 % bei Ewers et al. 1985) sind auf die vorliegende repräsentative Stichprobe der Allgemeinbevölkerung nicht übertragbar, da der relative Prozentsatz von in Cd-hochbelasteten Gebieten wohnenden Personen in Deutschland gering ist und folglich die durch diese Expositions Komponente verursachte zusätzliche Variation des Cadmiumgehalts im Urin gleichfalls gering ausfallen wird.

Die im Regressionsmodell des 1. Umwelt-Surveys verwendeten regionalen Merkmale werden in Kapitel 7.1.6 im Rahmen des Modellvergleichs diskutiert.

Häuslicher Bereich

Bei der Deskription von Cadmium im Urin (Krause et al. 1996a) wurde als signifikantes Merkmal des häuslichen Bereichs die Variable „Ofenheizung mit Holz/Kohle“ verwendet. Im Rahmen der durchgeführten multivariaten Auswertung erwies sich der Zusammenhang zwischen der genannten Variablen und dem Cadmiumgehalt im Urin jedoch als irrelevant, so daß ein Confounder-Effekt zu vermuten ist. Andere Merkmale des häuslichen Bereichs, die bereits auf bivariater Ebene keinen statistisch nachweisbaren Zusammenhang mit dem

Cadmiumgehalt hatten, konnten gleichfalls nicht als Prädiktoren eines multivariaten Regressionsmodells abgeleitet werden. Dazu gehört auch der in zwei verschiedenen Haushaltswasserproben (Spontanprobe, Stagnationsprobe) gemessene **Cadmiumgehalt im Trinkwasser**. Eine aus dem Cadmiumgehalt im Trinkwasser und der täglich zu Hause getrunkenen Trinkwassermenge multiplikativ gebildete Variable, die die Zufuhrmenge von Cadmium über das Haushaltswasser beschreibt, führte ebenfalls zu keiner Modellverbesserung. Auch in anderen multivariaten Auswertungen wurden keine Merkmale des häuslichen Bereichs als Prädiktoren für den Cadmiumgehalt im Urin bestätigt.

Arbeitsplatz und soziale Stellung

Gleichfalls wurde eine Reihe von weiteren Arbeitsplatzvariablen geprüft, wie das Vorfinden von **Cadmium am Arbeitsplatz** oder von anderen Substanzen am Arbeitsplatz, die üblichen Aufenthaltsorte und -zeiten während der Arbeit, die berufliche Stellung sowie der ausgeübte Beruf. Mit Ausnahme der bereits diskutierten Variable **Fabrik-/Werkhallen als Arbeitsplatz** konnten hieraus keine geeigneten Prädiktoren für das Regressionsmodell abgeleitet werden, was zum einen an den geringen Fallzahlen beruflich Belasteter liegen kann, zum anderen aber auch die untergeordnete Bedeutung der Exposition am Arbeitsplatz widerspiegeln könnte. Dies steht im Einklang mit anderen Studien (Kreis et al. 1987, zitiert in Herber et al. 1992, Sarter et al. 1992, Schwarz et al. 1993) wo keine die Arbeitsplatzbelastung erfassenden Prädiktoren abgeleitet wurden. Ewers et al. (1985) haben im Rahmen einer Vergleichsstudie zwischen Gebieten mit und ohne industrieller Cadmiumbelastung bei 65- und 66jährigen Frauen eine auf den Ehepartner bezogene Arbeitsplatzvariable (frühere Tätigkeit in der Blei- oder Zinkindustrie) als Prädiktor verwendet.

Berufstätigkeit und **Schulabschluß**, die sich innerhalb der bivariaten Auswertung als signifikante Gliederungsmerkmale für Cadmium im Urin erwiesen (Krause et al. 1996a), fanden bei der nach dem Verfahren der schrittweisen Regression durchgeführten Prädiktorenauswahl keine Berücksichtigung. Es ist zu vermuten, daß die nachgewiesenen signifikanten bivariaten Zusammenhänge Confoundereffekte darstellen. Der enge Zusammenhang von Berufstätigkeit und Schulabschluß mit dem Lebensalter, dem Rauchstatus und dem Geschlecht (Krause et al. 1996a, S. 63) könnte Grund dafür sein, daß eine Aufnahme der beiden erstgenannten Merkmale in das Modell zu keiner wesentlichen Verbesserung führt.

7.1.5 Statistische Untersuchungen zur Modellstabilität

Tab. 7.3: Korrelationen zwischen den Prädiktoren der Cadmium/Urin-Modelle bei Erwachsenen

			Z ₁	Z ₂	Z ₃	Z ₄	Z ₅	Z ₆	Z ₇	Z ₈	Z ₉	Z ₁₀
<i>Rauchindikator (Männer)</i>	Z₁	Deutschland										
		Alte Länder										
		Neue Länder										
<i>Rauchindikator (Frauen)</i>	Z₂	Deutschland	-0,25									
		Alte Länder	-0,27									
		Neue Länder	-0,23									
<i>Zigarettenzahl* (Alte Länder)</i>	Z₃	Deutschland	0,36	0,34								
		Alte Länder	0,46	0,39								
		Neue Länder	x	x								
<i>Zigarettenzahl* (Neue Länder)</i>	Z₄	Deutschland	0,26	0,12	-0,17							
		Alte Länder	x	x	x							
		Neue Länder	0,53	0,36	x							
<i>Lebensalter* (Männer)</i>	Z₅	Deutschland	0,62	-0,33	0,02	0,05						
		Alte Länder	0,62	-0,35	0,03	x						
		Neue Länder	0,60	-0,30	x	0,08						
<i>Lebensalter* (Frauen)</i>	Z₆	Deutschland	-0,48	0,29	-0,15	-0,15	-0,63					
		Alte Länder	-0,48	0,32	-0,20	x	-0,62					
		Neue Länder	-0,49	0,24	x	-0,28	-0,65					
<i>Creatiningehalt im Urin* (Männer)</i>	Z₇	Deutschland	0,56	-0,39	0,11	0,11	0,73	-0,76				
		Alte Länder	0,56	-0,42	0,14	x	0,71	-0,76				
		Neue Länder	0,57	-0,35	x	0,21	0,76	-0,76				
<i>Creatiningehalt im Urin* (Frauen)</i>	Z₈	Deutschland	-0,58	0,39	-0,09	-0,09	-0,76	0,66	-0,91			
		Alte Länder	-0,57	0,42	-0,11	x	-0,74	0,66	-0,91			
		Neue Länder	-0,59	0,36	x	-0,18	-0,78	0,66	-0,91			
<i>Alte/Neue Bundesländer</i>	Z₉	Deutschland	-0,02	-0,09	-0,38	0,44	0,01	0,00	0,00	0,03		
		Alte Länder	x	x	x	x	x	x	x	x		
		Neue Länder	x	x	x	x	x	x	x	x		
<i>Cadmium-niederschlag* (Außenluft)</i>	Z₁₀	Deutschland	0,04	0,06	0,07	0,01	0,03	0,00	0,00	0,00	-0,04	
		Alte Länder	0,04	0,10	0,08	x	0,01	0,03	-0,02	0,02	x	
		Neue Länder	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
<i>Fabrik-/Werkhallen als Arbeitsplatz</i>	Z₁₁	Deutschland	0,13	-0,07	0,03	0,07	0,15	-0,12	0,16	-0,17	0,04	0,03
		Alte Länder	0,13	-0,10	0,06	x	0,14	-0,09	0,15	-0,16	x	-0,02
		Neue Länder	0,14	-0,02	x	0,09	0,16	-0,15	0,18	-0,18	x	x

Anmerkung: = logarithmische Transformation der entsprechenden Variablen; Korrelationen zueinander orthogonaler Prädiktoren sind kursiv gedruckt. Hohe Korrelationen orthogonaler Prädiktoren verringern in der Regel nicht die Modellstabilität (vgl. Kapitel 5.9)

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

Die Stabilität des statistischen Modells kann durch hohe Korrelationen zwischen den Prädiktoren beeinträchtigt werden (Problem der Multikollinearität). In Tabelle 7.3 sind für alle drei Modelle die Korrelationen zwischen den Prädiktoren angegeben. Es zeigt sich, daß - abgesehen von Korrelationen zueinander orthogonaler Prädiktoren (vgl. Kapitel 5.9) - alle Werte betragsmäßig kleiner als 0,8 sind. Annähernd lineare Beziehungen

zwischen zwei Variablen, die bei Korrelationen nahe -1 bzw. +1 auftreten, kommen somit in der Gruppe der Prädiktoren nicht vor.

Als weitergehende Prüfung der Modellstabilität soll im folgenden die Genauigkeit der Parameterschätzungen untersucht werden. Zu diesem Zweck sind 95%-Konfidenzintervalle für alle Modellparameter berechnet worden, die in Tabelle 7.4 wiedergegeben sind. Um die Zuordnung der Parameter zu erleichtern, sind in der Tabelle die Modellgleichungen in Parameterdarstellung angegeben.

Tab. 7.4: 95%-Konfidenzintervalle für die Parameter der Cadmium/Urin-Modelle bei Erwachsenen

Parameter	Deutschland		Alte Bundesländer		Neue Bundesländer	
	Schätzwert	95% Konfidenzintervall	Schätzwert	95% Konfidenzintervall	Schätzwert	95% Konfidenzintervall
a_0	0,015	0,013 - 0,017	0,013	0,010 - 0,015	0,025	0,021 - 0,031
a_1	1,902	1,768 - 2,046	1,873	1,703 - 2,060	1,939	1,733 - 2,168
a_2	1,432	1,315 - 1,559	1,421	1,277 - 1,581	1,406	1,216 - 1,625
a_3	1,100	1,068 - 1,133	1,105	1,067 - 1,145		
a_4	1,144	1,102 - 1,188			1,134	1,086 - 1,183
a_5	2,377	2,099 - 2,693	2,543	2,157 - 2,999	2,120	1,760 - 2,552
a_6	3,758	3,380 - 4,178	3,991	3,461 - 4,602	3,368	2,891 - 3,922
a_7	2,065	1,962 - 2,173	2,113	1,973 - 2,263	1,986	1,845 - 2,138
a_8	2,336	2,220 - 2,459	2,404	2,243 - 2,577	2,228	2,072 - 2,397
a_9	1,207	1,142 - 1,275				
a_{10}	1,114	1,071 - 1,159	1,162	1,100 - 1,227		
a_{11}	1,129	1,067 - 1,194	1,110	1,027 - 1,201	1,173	1,085 - 1,268
Y =	$a_0 \cdot a_1^{Z_1} \cdot a_2^{Z_2} \cdot a_3^{Z_3} \cdot a_4^{Z_4} \cdot a_5^{Z_5} \cdot a_6^{Z_6} \cdot a_7^{Z_7} \cdot a_8^{Z_8} \cdot a_9^{Z_9} \cdot a_{10}^{Z_{10}} \cdot a_{11}^{Z_{11}}$		$a_0 \cdot a_1^{Z_1} \cdot a_2^{Z_2} \cdot a_3^{Z_3} \cdot a_5^{Z_5} \cdot a_6^{Z_6} \cdot a_7^{Z_7} \cdot a_8^{Z_8} \cdot a_{10}^{Z_{10}} \cdot a_{11}^{Z_{11}}$		$a_0 \cdot a_1^{Z_1} \cdot a_2^{Z_2} \cdot a_4^{Z_4} \cdot a_5^{Z_5} \cdot a_6^{Z_6} \cdot a_7^{Z_7} \cdot a_8^{Z_8} \cdot a_{11}^{Z_{11}}$	

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

Zur Veranschaulichung der Aussagekraft von Tabelle 7.4 betrachten wir den Parameter a_0 mit dem dazugehörigen Schätzwert und Konfidenzintervall. In dem für alle Bundesländer geltenden Modell wird a_0 , d. h. die nicht durch den Einfluß der gewählten Prädiktoren erklärbare Grundbelastung, mit 0,015 µg/l geschätzt. Ergänzend läßt sich aus der Tabelle ablesen, daß der unbekannte Modellparameter a_0 mit einer Wahrscheinlichkeit von 95 % wertmäßig zwischen 0,013 µg/l und 0,017 µg/l liegt. Wegen der Zentralität der berechneten

Konfidenzintervalle läßt sich noch etwas genauer formulieren, daß der Parameterwert jeweils mit einer Wahrscheinlichkeit von 2,5 % unterhalb von 0,013 µg/l bzw. oberhalb von 0,017 µg/l liegt.

Tabelle 7.4 liefert auch Wahrscheinlichkeitsaussagen zur Wirkung einzelner Prädiktoren. Als Beispiel sei die Erhöhung des Cadmiumgehalts im Urin eines Mannes bei Verdopplung des Lebensalters angeführt. Die Verdopplung des Lebensalters bedeutet eine additive Zunahme des Prädiktors Z_5 um $\ln 2$. Damit ergibt sich eine relative Veränderung des Cadmiumgehalts um $(a_5^{\ln 2} - 1) \cdot 100 \% = 82,2 \%$. Setzt man die angegebenen Intervallgrenzen für a_5 in die Formel ein, so ergeben sich die Werte 67,2 % und 98,7 %. Man kann somit feststellen, daß der Anstieg des Cadmiumgehalts mit einer Wahrscheinlichkeit von 0,95 zwischen 67,2 % und 98,7 % liegt.

Je kleiner die Konfidenzintervalle sind, desto robuster sind die Parameterschätzungen. Die Intervallgröße kann bei den betrachteten multiplikativen Parametern zweckmäßig durch den Quotienten aus oberer und unterer Intervallgrenze beschrieben werden. Dieser Quotient ist mindestens 1 und nimmt mit der Vergrößerung der Intervalle zu. Aus Tabelle 7.4 ergeben sich etwas kleinere Quotienten für die Konfidenzintervalle des Gesamtmodells im Vergleich zu den separaten Modellen der alten und neuen Bundesländer, was auf den größeren Stichprobenumfang bei der Herleitung des Gesamtmodells zurückzuführen ist. Insgesamt kann festgestellt werden, daß alle Quotienten nur moderat von 1 abweichen. Der maximale Quotient ergibt sich mit 1,5 für den Grundbelastungsparameter a_0 im Modell der alten Bundesländer. Die Modellstabilität ist insgesamt etwas schlechter als die des Cadmium/Blut-Modells (vgl. Kapitel 6.1).

7.1.6 Vergleich mit dem Modell des 1. Umwelt-Surveys

Eine vergleichende Qualitätskontrolle beider Surveys auf Grundlage parallel durchgeführter Wiederholungsmessungen hat gezeigt, daß die Cadmiumgehalte im 1. Umwelt-Survey deutlich zu niedrig gemessen wurden (vgl. Kapitel 4.3). Die mit dem früheren Modell erzielte Bewertung von Einflußgrößen anhand ihrer Varianzkomponenten ist deshalb jedoch nicht von vornherein abzulehnen. Der folgende Modellvergleich bezieht sich nur auf die Varianzkomponenten.

In Tabelle 7.5 ist das Modell des 1. Umwelt-Surveys 1985/86 (Schwarz et al. 1993) dem des 2. Umwelt-Surveys 1990/91 gegenübergestellt, wobei das in Tabelle 7.2 angegebene spezielle Modell für die alten Bundesländer gewählt wurde, damit die Gültigkeitsbereiche beider Modelle übereinstimmen.

Tab. 7.5: Vergleich der Regressionsmodelle des 1. und 2. Umwelt-Surveys für Cadmium im Urin

1. Umwelt-Survey 1985/86 - Alte Bundesländer - n = 2109			2. Umwelt-Survey 1990/91 - Alte Bundesländer - n = 2388		
Nr.	Prädiktoren	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$	Nr.	Prädiktoren	Varianz- komponente $\beta \cdot r \cdot 100\%$
1	Rauchdauer	6,8 %	1	Rauchindikator (Männer)	10,6 %
2	Zigarettenzahl	3,5 %	2	Rauchindikator (Frauen)	2,6 %
3	Passivrauchen bei Nichtrauchern	0,7 %	3	logarithmierte Zigarettenzahl	4,2 %
Expositionspfad Rauchen :		11,0 %	Expositionspfad Rauchen :		17,4 %
4	Lebensalter	32,7 %	4	logarithmiertes Lebensalter (Männer)	3,4 %
5	Quadriertes Lebensalter	-21,1 %	5	logarithmiertes Lebensalter (Frauen)	4,7 %
6	Geschlecht	0,4 %	6	logarithm. Creatiningehalt (Männer)	3,6 %
7	logarithmierter Creatiningehalt	3,0 %	7	logarithm. Creatiningehalt (Frauen)	8,8 %
8	Harnstoffgehalt im Serum	0,2 %	8	Fabrik-/Werkhallen als Arbeitsplatz	0,2 %
9	Häufigkeit des Konsums v. Wein/Sekt	0,9 %	Individualmerkmale gesamt :		38,1 %
Individualmerkmale gesamt :		27,1 %	9	logarithm. Cadmiumniederschlag (Außenluft)	1,2 %
10	regionale Stickstoffoxide-Emission	2,4 %			
11	Region mit starker wirtsch. Dynamik	1,7 %			
12	Städtisches Wohngebiet	0,9 %			
Aufgeklärte Varianz		32,0 %	Aufgeklärte Varianz		39,3 %

Quelle: UBA, WaBoLu, Umwelt-Survey 1985/86 und 1990/91

Es zeigt sich, daß das mit neun Prädiktoren etwas kleinere Regressionsmodell des 2. Umwelt-Surveys eine um 7,3 % höhere Varianzaufklärung liefert. Die im neueren Modell verwendeten Individualvariablen liefern einen deutlich höheren Beitrag. Dies ist zum einen auf die Verwendung geschlechtsspezifischer Prädiktoren zurückzuführen und zum anderen auf die effizientere Erfassung der Rauchbelastung. Eine Ersetzung der neun früheren durch die acht in dieser Studie vorgeschlagenen Individualvariablen würde auch im nachhinein für die Daten des 1. Umwelt-Surveys zu einer höheren Varianzaufklärung führen.

Das Modell des 1. Umwelt-Surveys enthält eine Variable zur Passivrauchbelastung, die zwar auch einen kleinen Beitrag zur Varianzaufklärung liefert, in dieser Form aber nicht zur Vorhersage geeignet ist. Bei Gleichsetzung aller anderen Prädiktorenwerte hat ein Nichtraucher ohne Passivrauchbelastung mit einem niedrigeren Cadmiumgehalt im Urin zu rechnen als ein Nichtraucher mit Passivrauchbelastung (Schwarz et al. 1993,

S. 117). Dieser Modellfehler wird durch die Codierung des Prädiktors verursacht. Nichtraucher mit Passivrauchbelastung werden mit 1 codiert, während die zwei gegensätzlichen Teilgruppen der Nichtraucher ohne Passivrauchbelastung und der Raucher beide mit 0 codiert sind.

Das Modell des 2. Umwelt-Surveys besitzt eine gute Stabilität. Dies zeigt sich in der geringen Breite der berechneten 95%-Konfidenzintervalle für die Regressionsparameter (vgl. Tabelle 7.4). Der maximale Quotient aus oberer und unterer Intervallgrenze ist im Modell der alten Bundesländer gleich 1,5. Im Vergleich dazu sind die Konfidenzintervalle im Cadmium/Urin-Modell des 1. Umwelt-Surveys deutlich größer, und der maximale Quotient der Konfidenzintervallgrenzen ist 6,3 (Schwarz et al. 1993, S.105). Mögliche Ursachen für die geringere Stabilität des früheren Modells sind die größere Anzahl zu schätzender Regressionsparameter (12 gegenüber 9 im neu hergeleiteten Modell), die Einbeziehung von Prädiktoren mit negativen Varianzkomponenten sowie die hohe bivariate Korrelation von 0,992 zwischen den beiden das Lebensalter betreffenden Prädiktoren.

In dem Modell des 1. Umwelt-Surveys sind mit den Prädiktoren **Harnstoffgehalt im Serum**, **Häufigkeit des Konsums von Wein/Sekt**, **regionale Stickstoffoxide-Emission** (industrielle Stickstoffoxide-Emission pro Einwohner in der Raumordnungsregion, bezogen auf das Jahr 1980), **Region mit starker wirtschaftlicher Dynamik** und **Städtisches Wohngebiet** fünf Prädiktoren enthalten, die in dem neueren Modell keine Berücksichtigung fanden. Sie sollen im folgenden kurz diskutiert werden.

Die drei Merkmale Harnstoffgehalt im Serum, Häufigkeit des Konsums von Wein/Sekt und Städtisches Wohngebiet standen im Rahmen der Auswertung des 2. Umwelt-Surveys als potentielle Prädiktoren zur Verfügung und wurden in die Modellwahl einbezogen. Die Aufnahme des Merkmals Häufigkeit des Konsums von Wein/Sekt in das bestehende Modell führt zu einer geringen Erhöhung der Varianzaufklärung um 0,1 %, die beiden anderen Größen haben statistisch keinen Einfluß.

Die beiden im 1. Umwelt-Survey (Schwarz et al. 1993) abgeleiteten regionalen Prädiktoren „Industrielle Stickstoffoxide-Emission pro Einwohner in der Raumordnungsregion, bezogen auf das Jahr 1980“ und „Region mit starker wirtschaftlicher Dynamik“ standen im 2. Umwelt-Survey nicht zur Verfügung. Der zuletzt genannte Prädiktor ist dabei kein ursprüngliches Raumordnungsmerkmal, sondern wurde aus einer Faktorenanalyse abgeleitet. Es ist davon auszugehen, daß der durch beide Prädiktoren erzielte regionale Effekt, quantifiziert durch den Varianzanteil von 4,1 %, im 1. Umwelt-Survey überschätzt wird. Für eine solche Überschätzung spricht, daß dem im Rahmen des 2. Umwelt-Surveys verfügbaren regionalen Prädiktor **logarithmierter Cadmiumniederschlag in der Außenluft** nur eine Varianzkomponente von 1,2 % zugeordnet werden kann.

Die Nichtbestätigung von im 1. Umwelt-Survey verwendeten Prädiktoren im Rahmen der neueren Datenbasis macht deutlich, daß das seinerzeit durchgeführte Verfahren der vollständigen Einbeziehung aller vorhandenen primärstatistischen und sekundärstatistischen Daten in die Modellwahl große Gefahren mit sich bringt. Je mehr potentielle Prädiktoren zugelassen werden, desto mehr statistische Tests werden im Rahmen der Modellwahl

durchgeführt. Da diese Tests nur mit einer gewissen Fehler-Wahrscheinlichkeit (unterhalb des eingestellten Signifikanzniveaus) zur richtigen Entscheidung führen, nimmt die Gefahr von Fehlentscheidungen mit der Anzahl durchgeführter Tests zu.

Im Rahmen der vorliegenden Studie ist eine hypothesengeleitete Modellwahl vorgenommen worden. Es sind nur solche Merkmale als potentielle Prädiktoren in Betracht gezogen worden, die, zumindest im weiteren Sinne, einen inhaltlichen Bezug zur Zielgröße haben. Durch das hypothesengeleitete Vorgehen wird nicht nur die Gefahr von Zufallssignifikanzen verringert, sondern auch die Hinzunahme von Prädiktoren verhindert, die inhaltlich weder als Einflußgröße noch als expositionsbeeinflussende Umgebungsbedingung oder Verhaltensweise in Frage kommen.

7.1.7 Spezielle Untersuchungen für Nichtraucher

Um das Rauchen als einen wichtigen Expositionspfad auszuschließen und andere im Modell (Tabelle 7.2) nicht oder nur schwach erfaßte Expositionspfade in ihrer quantitativen Wirkung auf den Cadmiumgehalt im Urin näher zu untersuchen, wurden zunächst spezielle Regressionsrechnungen für die Teilstichprobe der Nieraucher vorgenommen. Mit über 1600 Nierauchern ist im 2. Umwelt-Survey eine ausreichend große Datenbasis zur Ableitung haltbarer Aussagen vorhanden. Die für die Nieraucher durchgeführte Regressionsanalyse führte zu einem Modell, das mit dem für die Gesamtstichprobe hergeleiteten weitgehend übereinstimmt. Es enthält mit Ausnahme der Rauchvariablen (Rauchindikator, Zigarettenzahl) alle in Tabelle 7.2 angegebenen Prädiktoren sowie zusätzlich den Prädiktor **Häufigkeit des Konsums von Wein/Sekt**. Die Varianzaufklärung durch die acht Prädiktoren beträgt 31,2 %, wobei die Varianzkomponente des zusätzlich aufgenommenen Prädiktors 0,4 % beträgt. Es werden keine weiteren Expositionskomponenten sichtbar, insbesondere spielen auch bei Nierauchern die Verzehrshäufigkeiten und Verzehrsmengen cadmiumhaltiger Nahrungsmittelgruppen (Innereien, rohes Gemüse), die Cadmiumzufuhr über das Trinkwasser und spezifische Arbeitsplatzbelastungen keine statistisch bedeutsame Rolle. Dieses Negativresultat wurde durch zusätzlich durchgeführte bivariate Auswertungen innerhalb der Gruppe der Nieraucher bestätigt. Es lassen sich keine weiteren signifikanten bivariaten Zusammenhänge (Korrelationen) zwischen dem Cadmiumgehalt im Urin und verfügbaren Merkmalen anderer Expositionspfade nachweisen.

Wenn man ähnlich wie Schwarz et al. (1993) die statistische Auswertung auf die Gruppe der Nichtraucher erweitert, d. h. die Exraucher in die Regressionsanalyse mit einbezieht, läßt sich eine Varianzaufklärung von 34,6 % erzielen. Die größere Varianzaufklärung gegenüber dem Nieraucher-Modell resultiert aus dem teilweisen Einbeziehen des Expositionspfades „Rauchen“, da der Rauchindikator (bei Nierauchern Null, bei Exrauchern positivwertig) als weitere Einflußgröße hinzukommt.

7.2 Cadmium im Urin der Kinder

Die multivariate statistische Auswertung für die Cadmiumgehalte im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder führte nur auf der Ebene aller Bundesländer zu einer Varianzaufklärung von knapp über 20 %, so daß im folgenden nur das regressionsanalytisch abgeleitete Modell für Deutschland explizit angegeben wird. Bei den für die alten und neuen Bundesländer getrennt durchgeführten Regressionsrechnungen beschränkt sich die Ergebnisdarstellung auf die Angabe der Prädiktoren und ihre Bewertung anhand der zugeordneten Varianzkomponenten. Die Resultate sind in Tabelle 7.6 zusammengestellt.

Tab. 7.6: Prädiktoren und Varianzaufklärung für Cadmium im Urin bei Kindern

Prädiktoren Z₁ = Logarithmus des durch 0,15 dividierten Creatiningehalts (g/l) im Urin Z₂ = Alte/ Neue Bundesländer (Alte Länder = 0, Neue Länder = 1) Z₃ = Geschlecht (männlich = 0, weiblich = 1) Z₄ = Logarithmus des durch 0,04 dividierten Cadmiumniederschlags (µg/(m² * Tag)) in der Außenluft (Bergerhoff)									
	Deutschland			Alte Bundesländer			Neue Bundesländer		
Prädikto- ren	aufgeklärte Varianz : 22,9 %			aufgeklärte Varianz : 15,3 %			aufgeklärte Varianz : 19,6 %		
	nach Korrektur : 22,5 %			nach Korrektur : 14,7 %			nach Korrektur : 19,0 %		
	n = 731			n = 451			n = 280		
	β	r	βr · 100 %	β	r	βr · 100 %	β	r	βr · 100 %
Z ₁	0,362	0,371	13,4 %	0,349	0,355	12,4 %	0,408	0,403	16,4 %
Z ₂	0,252	0,265	6,7 %	-	-	-	-	-	-
Z ₃	0,153	0,143	2,2 %	0,142	0,135	1,9 %	0,184	0,172	3,2 %
Z ₄	0,074	0,084	0,6 %	0,086	0,118	1,0 %	-	-	-
Y = 0,013 · 1,912^{Z₁} · 1,508^{Z₂} · 1,274^{Z₃} · 1,111^{Z₄}									

Anmerkungen: n = Stichprobenumfang; β = standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell); r = Korrelation zwischen Prädiktor und Zielgröße Y (Maß für die Stärke des bivariaten Zusammenhangs); βr · 100 % = der dem Prädiktor zuzuordnende Anteil an der Varianz (Summe über alle Prädiktoren ergibt den durch das Modell aufgeklärten Varianzanteil)

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

Die Prädiktoren wurden so definiert, daß ihre Werte größer oder gleich Null sind und daß eine Wertzunahme zu einem Anstieg des Cadmiumgehalts im Urin führt. Die in die Definition von Z₁ und Z₄ eingehenden Kon-

stanten 0,15 und 0,04 dienen der Normierung und sind die Minimalwerte der entsprechenden Original-Meßgrößen. Durch die Normierung der Prädiktoren ergibt sich der kleinste durch das Modell vorhersagbare Cadmiumgehalt bei gleichzeitigem Nullsetzen aller Prädiktoren. Dieser kleinstmögliche durch das Modell vorhersagbare Cadmiumgehalt ist gleich dem Basiswert des Modells, d. h. gleich dem an erster Stelle stehenden konstanten Faktor 0,013 µg/l.

Zur exemplarischen Anwendung der Modellgleichung betrachten wir ein Mädchen ($Z_3 = 1$) aus den neuen Bundesländern ($Z_2 = 1$), das einen Creatiningehalt im Urin von 1,5 g/l ($Z_1 = \ln(10) = 2,3$) hat. Der Cadmiumniederschlag in der Außenluft des Wohngebiets betrage 0,2 µg/(m² d) ($Z_4 = \ln(5) = 1,6$). Nach dem in Tabelle 7.6 angegebenen Modell ergibt sich dann ein prognostizierter Cadmiumgehalt im Urin von

$$\begin{aligned} Y &= 0,013 \cdot 1,912^{2,3} \cdot 1,508^1 \cdot 1,274^1 \cdot 1,111^{1,6} \\ &= 0,013 \cdot 4,440 \cdot 1,508 \cdot 1,274 \cdot 1,183 \\ &= 0,131 \text{ µg/l.} \end{aligned}$$

Mit Ausnahme des Basiswertes von 0,013 sind alle Faktoren größer oder gleich 1. Die Größe der Faktoren reflektiert den relativen Einflußgrad der einzelnen Expositionsponenten für die zu erwartende Cadmiumbelastung des betrachteten Probanden. Der größte Multiplikator bei obigem Beispiel ist 4,440. Er spiegelt den Einfluß des Creatiningehalts im Urin wider.

Aus Tabelle 7.6 geht hervor, daß sich 22,9 % der Varianz von Cadmium im Urin der 6- bis 14jährigen Kinder mit Hilfe von vier Prädiktoren erklären läßt. Die Varianzaufklärungsraten bei separater Auswertung für die alten und neuen Bundesländer sind mit 15,3 % und 19,6 % etwas geringer, wobei der Prädiktor Alte/Neue Bundesländer entfällt und der Cadmiumniederschlag in der Außenluft nicht zu einer signifikanten Erhöhung der Varianzaufklärung in den neuen Ländern beiträgt. Im Rahmen des 1. Umwelt-Surveys 1985/86 wurden keine Kinder untersucht. Ein Vergleich ist daher nicht möglich.

Die schwächere Varianzaufklärung der Cadmiumgehalte im Urin bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen läßt sich damit erklären, daß der Expositionspfad „Rauchen“ bei Kindern keinen statistisch nachweisbaren Einfluß hat. Die Differenz von 18,2 % an Varianzaufklärung entspricht etwa dem Varianzanteil, der im Modell der Erwachsenen gemäß Tabelle 7.2 dem Rauchen zuzuordnen ist. (Dieser beträgt 18,3 %.)

Es sei darauf hingewiesen, daß das gegenwärtige Rauchen für Cadmium im Blut der 6- bis 14jährigen Kinder statistisch bedeutsam ist (Tabelle 6.7). Während jedoch der Cadmiumgehalt im Blut mehr die Kurzzeitwirkung des Rauchens reflektiert, ist die im Urin nachweisbare Cadmiumbelastung eher Spiegelbild der Langzeitwirkung. Da eine längere Rauchdauer bei 6- bis 14jährigen Kindern weitgehend ausgeschlossen werden kann, ist die regressionsanalytisch nicht nachweisbare Relevanz des Rauchens für den Cadmiumgehalt im Urin plausibel.

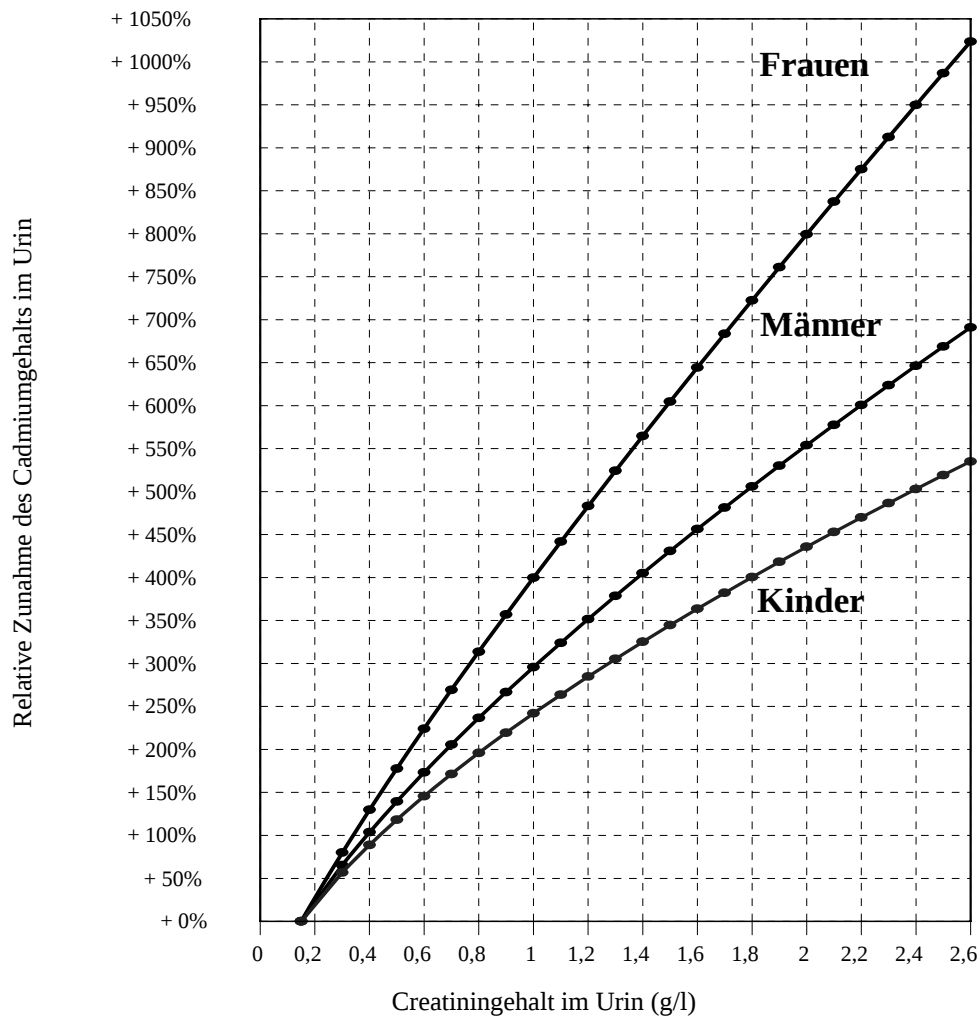


Abb. 7.4: Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Urin in Abhängigkeit vom Creatiningehalt im Urin (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) - bestimmt auf Grundlage der beiden Gesamt-Regressionsmodelle für Erwachsene und Kinder

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

7.2.1 Diskussion der Prädiktoren

Creatiningehalt im Urin

Der stärkste Prädiktor im Cadmium/Urin-Modell der Kinder ist der im Urin gemessene Creatiningehalt. Sein Aufklärungsbeitrag liegt nach Tabelle 7.6 in den drei dort beschriebenen Modellen zwischen 12,4 % und 16,4 %. Somit hat der Creatiningehalt für die Kinder etwa die gleiche Bedeutung wie für die Erwachsenen, wo der entsprechende Varianzanteil in den drei Cadmium/Urin-Modellen (Tabelle 7.2) 12,4 % bis 14,5 % beträgt.

Dies war insofern nicht zu erwarten, als sich im Rahmen der multivariaten Auswertung des Quecksilbergehalts im Urin eine deutlich geringere Bedeutung des Creatiningehalts bei Kindern im Vergleich zu Erwachsenen zeigte (Becker et al. 1996b, S. 35). Allerdings ist bei Kindern die relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Urin infolge einer Erhöhung des Creatiningehalts etwas geringer als bei Erwachsenen, wie in Abbildung 7.4 deutlich wird.

Alte/ Neue Bundesländer

Wie bereits bei der deskriptiven Auswertung des 2. Umwelt-Surveys (Krause et al. 1996a, S. 235) festgestellt, haben Kinder in den neuen Bundesländern signifikant höhere Cadmiumgehalte im Urin als Kinder in den alten Bundesländern. Dieser Effekt wird durch die multivariate Auswertung bestätigt. Der bivariate Zusammenhang zwischen dem Cadmiumgehalt im Urin und dem Merkmal Alte/ Neue Bundesländer ist mit $r = 0,265$ gleichgerichtet und etwa gleich stark wie der Zusammenhang beider Merkmale im Rahmen der multivariaten Auswertung, erfaßt durch $\beta = 0,252$.

Der Ost-West-Effekt ist bei Kindern stärker als bei Erwachsenen ausgeprägt. Während Kinder aus den neuen Bundesländern gemäß Tabelle 7.6 einen durchschnittlich um 50,8 % höheren Cadmiumgehalt im Urin als Kinder aus den alten Bundesländern aufweisen (der zu Z_2 gehörende Multiplikator ist 1,508), ergibt sich bei erwachsenen Nierauchern nur ein Ost-West-Multiplikator von 1,207 (vgl. Tabelle 7.2). Bei erwachsenen Rauchern und Exrauchern ist der Ost-West-Unterschied etwas größer, da die durchschnittliche Wirkung einer gerauchten Zigarette in den neuen Bundesländern stärker als in den alten ist (vgl. Kapitel 7.1.3).

Weishoff-Houben et al. (1992) verglichen Cadmiumgehalte im Urin von Schulanfängern aus Sachsen und Sachsen-Anhalt mit denen von Schulanfängern aus Nordrhein-Westfalen und dem Ruhrgebiet. Es zeigte sich, daß bei Kindern aus Magdeburg deutlich höhere Gehalte im Urin vorlagen als bei Kindern aus dem Ruhrgebiet, was mit hohen Immissionen von Bunt- und Eisenlegierungsmetallen in der Region Magdeburg begründet wurde. Zwischen Kindern aus Leipzig und Nordrhein-Westfalen zeigten sich hingegen keine Expositionsunterschiede.

Geschlecht

Der Prädiktor Geschlecht liefert einen Varianzbeitrag von 2,2 % im Gesamtmodell (alte Bundesländer: 1,9 %, neue Bundesländer: 3,2 %). Mädchen haben im Mittel um etwa 25 bis 30 % höhere Cadmiumgehalte als Jungen (Modellmultiplikator 1,274). Dieser signifikante Unterschied ergab sich bereits bei der deskriptiven Auswertung des 2. Umwelt-Surveys. Nach Krause et al. 1996a (S. 235) beträgt der geometrische Mittelwert bei Mädchen 0,098 $\mu\text{g/l}$ und ist demnach um etwa 26 % höher als der für die Jungen berechnete geometrische

Mittelwert von 0,078 µg/l. Dies entspricht den Ergebnissen aus der Literatur (Brockhaus et al. 1988, vgl. Kapitel 3.1).

Cadmiumniederschlag in der Außenluft

Der Prädiktor Cadmiumniederschlag in der Außenluft hat nur eine geringe Bedeutung für die im Urin gemessene korporale Cadmiumbelastung. In den neuen Bundesländern ist der Einfluß der Außenluftbelastung auf den Cadmiumgehalt im Urin der Kinder nicht nachweisbar.

Im Rahmen der von Weishoff-Houben et al. (1992) ausgewerteten Studie bei 1000 Schulanfängern aus Sachsen und Sachsen-Anhalt konnte zwischen der Cadmiumausscheidung mit dem Urin und den Cadmiumimmissionen mit dem Staubniederschlag ein Zusammenhang festgestellt werden. Brockhaus et al. (1988) konnten hingegen bei 4000 Kindern aus ländlichen und städtischen Wohngebieten Nordrhein-Westfalens keine regionalen Unterschiede bei den Cadmiumgehalten im Urin statistisch nachweisen.

7.2.2 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale

Zu erwähnen ist, daß auch bei Kindern verschiedene aufgrund von Hypothesen geprüfte potentielle Prädiktoren, wie z. B. Verzehrshäufigkeiten und Verzehrsmengen cadmiumhaltiger Nahrungsmittel (Innereien, rohes Gemüse), die Cadmiumkonzentration im häuslichen Trinkwasser oder das Vorhandensein einer Holz/Kohle-Ofenheizung keinen statistisch nachweisbaren Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Urin haben.

7.3 Ergebnisse zu creatininbezogenen Cadmiumgehalten

Die bisherigen Ergebnisse beziehen sich auf einen Cadmiumgehalt, der in µg Cd pro Liter Urin anzugeben ist. Wie die multivariaten Auswertungen zeigen, hängt der Cadmiumgehalt stark vom Creatiningehalt des Urins ab, welcher als Maß für die Konzentration des Urins angesehen werden kann. Um die variierende Konzentration des Urins als Einflußgröße (Störgröße) für den Cadmiumgehalt weitgehend auszuschalten, werden in der Literatur creatininbezogene Auswertungen vorgeschlagen. Mittels Division durch den Creatiningehalt ergibt sich ein „normierter“ Cadmiumgehalt, der in der Maßeinheit µg Cd pro Gramm Creatinin angegeben wird.

Inwieweit die vorgenommene Normierung den erhofften Zweck erfüllt, ist umstritten. Statistische Untersuchungen am vorliegenden Datenmaterial zeigen, daß mit der Division durch Creatinin keine wirkliche Ausschaltung des Creatinineinflusses erreicht wird, da die sich ergebende Größe immer noch eine signifikante Korrelation zum Creatiningehalt hat, die bei nunmehr negativem Vorzeichen fast die gleiche Größenordnung besitzt wie vor der Normierung. Bei der Teilstichprobe der Erwachsenen ist die Korrelation des logarithmierten

volumenbezogenen bzw. creatininbezogenen Cadmiumgehalts mit dem logarithmierten Creatiningehalt 0,29 bzw. -0,27. Für die Teilstichprobe der Kinder sind die entsprechenden Korrelationen 0,37 und -0,20. Denkbar ist, daß eine andere Transformation (als die einfache Division durch Creatinin) zu einer Größe führt, die annähernd unkorreliert zum Creatiningehalt ist, wobei in Anbetracht der geschlechtsspezifischen Creatinin-Prädiktoren des hergeleiteten Modells (Tabelle 7.2) anzunehmen ist, daß für beide Geschlechter verschiedene Transformationen zu wählen sind.

Trotz des angezeigten Forschungsbedarfs sollen im folgenden kurz die Ergebnisse der statistischen Auswertung des 2. Umwelt-Surveys für die mittels Division durch Creatinin transformierten Cadmiumgehalte ($\mu\text{g Cd/g Creatinin}$) dargestellt werden. Die Resultate beziehen sich auf Deutschland, d. h. auf eine zusätzliche getrennte Betrachtung der alten und neuen Bundesländer wird verzichtet.

Für die 25- bis 69jährige deutsche Wohnbevölkerung ergibt sich mittels schrittweiser Regression (vgl. Kapitel 5.4) und unter Ausschaltung von Prädiktoren zum Creatiningehalt ein optimales Modell, welches auf die Prädiktoren zurückgreift, die bereits bei der Modellierung der volumenbezogenen Cadmiumgehalte verwendet wurden. In Tabelle 7.7 sind die Varianzkomponenten beider Modelle gegenübergestellt.

Auch wenn die erzielte Varianzaufklärung in dem Modell für creatininbezogene Cadmiumgehalte mit 38,1 % nur um 3 % geringer als die bei volumenbezogener Auswertung ist (im Vergleich dazu betrug die Differenz der Aufklärungsraten beider Modelle bei Quecksilber im Urin 15,2 %, vgl. Becker et al. 1996b, S. 66), so ist doch eine deutliche Verschiebung in den Varianzkomponenten unverkennbar. Während die geschlechtsunspezifischen und die sich auf die Männer beziehenden Prädiktoren eine gleichbleibende bzw. etwas geringere Bedeutung bei creatininbezogener Auswertung haben, steigen die Varianzkomponenten für die beiden verbleibenden Prädiktoren für Frauen (Rauchindikator, logarithmiertes Lebensalter) beim Übergang zum Modell für creatininbezogene Cadmiumgehalte sprunghaft an.

Tab. 7.7: Vergleich der Regressionsmodelle für creatininbezogene und volumenbezogene Cadmiumgehalte im Urin bei Erwachsenen (n = 3827 Personen im Alter von 25 bis 69 Jahren)

2. Umwelt-Survey 1990/92		
- Deutschland -		
Prädiktoren	Varianzkomponente $\beta \cdot r^2 \cdot 100\%$	
	Cadmium/Urin volumenbezogen	Cadmium/Urin creatininbezogen
Z ₁ Rauchindikator (Männer)	11,2 %	10,3 %
Z ₂ Rauchindikator (Frauen)	2,3 %	3,7 %
Z ₃ logarithmierte Zigarettenzahl (alte Länder)	2,2 %	1,6 %
Z ₄ logarithmierte Zigarettenzahl (neue Länder)	2,6 %	1,9 %
Z ₅ logarithmiertes Lebensalter (Männer)	3,2 %	2,1 %
Z ₆ logarithmiertes Lebensalter (Frauen)	4,1 %	16,6 %
Z ₇ logarithmierter Creatiningehalt (Männer)	4,7 %	-----
Z ₈ logarithmierter Creatiningehalt (Frauen)	8,5 %	-----
Z ₉ Alte/Neue Bundesländer	1,2 %	0,8 %
Z ₁₀ logarithmierter Cadmiumniederschlag in derAußenluft	0,7 %	0,7 %
Z ₁₁ Fabrik-/Werkhallen als Arbeitsplatz	0,4 %	0,4 %
Aufgeklärte Varianz		41,1 % 38,1 %

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

Dieser sprunghafte Anstieg der zwei Varianzkomponenten ist zum Teil damit zu erklären, daß der starke Prädiktor Z₈, der den Einfluß des Creatiningehalts auf den Cadmiumgehalt bei Frauen erfaßt, im anderen Modell nicht vorhanden ist und hier sein Beitrag zur Varianzaufklärung durch die beiden anderen frauenspezifischen Prädiktoren „übernommen“ wird. Der starke Zusammenhang zwischen dem Lebensalter und dem creatininbezogenen Cadmiumgehalt im Urin bei Frauen wird bereits aus der deskriptiven Auswertung des 2. Umwelt-Surveys deutlich. Beschränkt man sich auf Nieraucher, um den bedeutsamen Expositionspfad Rauchen auszuschließen, so haben 60- bis 69jährige Frauen mit 0,346 µg Cd/g Creatinin durchschnittlich etwa 3,5mal so hohe Werte wie 25- bis 29jährige Frauen mit 0,103 µg Cd/g Creatinin (Krause et al. 1996a, S. 237). Bei Volumenbezug erhält man dagegen nur doppelt so hohe Werte für die 60- bis 69jährigen Frauen. Dieser Unterschied läßt sich mit dem Absinken des Creatiningehalts bei ansteigendem Lebensalter erklären (vgl. Krause et al. 1996a).

Bei den 6- bis 14jährigen Kindern stimmt das hergeleitete Regressionsmodell für die creatininbezogenen Cadmiumgehalte mit dem Modell für volumenbezogene Cadmiumgehalte insoweit überein, als es mit Ausnahme des logarithmierten Creatiningehalts die gleichen Prädiktoren enthält. In Tabelle 7.8 wird ein Modellvergleich anhand der Varianzkomponenten vorgenommen.

Tab. 7.8: Vergleich der Regressionsmodelle für creatininbezogene und volumenbezogene Cadmiumgehalte im Urin bei Kindern (n = 731 Kinder im Alter von 6 bis 14 Jahren)

2. Umwelt-Survey 1990/92			
- Deutschland -			
Prädiktoren		Varianzkomponente $\beta \cdot r^2 \cdot 100\%$	
		Cadmium/Urin volumenbezogen	Cadmium/Urin creatininbezogen
Z ₁	logarithmierter Creatiningehalt	13,4 %	-----
Z ₂	Alte/Neue Bundesländer	6,7 %	6,6 %
Z ₃	Geschlecht	2,2 %	2,7 %
Z ₄	logarithmierter Cadmiumniederschlag in der Außenluft	0,6 %	0,5 %
Aufgeklärte Varianz		22,9 %	9,8 %

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

Die Differenz an Varianzaufklärung zwischen volumenbezogenem und creatininbezogenem Modell ist mit 13,1 % etwa so hoch wie die Varianzkomponente von 13,4 % des logarithmierten Creatiningehalts im volumenbezogenem Modell. Hier ist keine „Übernahme“ von Varianzanteilen durch andere Prädiktoren festzustellen. Dies entspricht den Erwartungen, da die drei anderen Prädiktoren Z₂, Z₃ und Z₄ inhaltlich nicht mit dem Creatiningehalt zusammenhängen und alle vier Prädiktoren nahezu unkorreliert sind. (Korrelationen liegen alle zwischen -0,02 und 0,04.).

8 Cadmium im Haar

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der multivariaten statistischen Auswertung für die Cadmiumgehalte im Haar behandelt. Um die bei den eingesetzten statistischen Verfahren teilweise nötige Voraussetzung der Normalverteilung für die als Zielgröße dienende Variable zu gewährleisten, werden die Cadmiumgehalte logarithmisch transformiert. Der Ansatz eines linearen Regressionsmodells für die logarithmierten Gehalte führt nach inverser Transformation (Exponieren) zu einem multiplikativen Modell für die ursprünglichen Cadmiumgehalte (vgl. Kapitel 5.2).

Es werden getrennte Regressionsanalysen für alle Erwachsenen (25 bis 69 Jahre) und für alle Kinder (6 bis 14 Jahre) des Umwelt-Surveys 1990/92 durchgeführt. Einen Überblick über die mit den Regressionsanalysen erreichten Varianzaufklärungsraten sowie über die Varianzkomponenten der einzelnen Einflußgrößen (Prädiktoren) gibt Abbildung 8.1. Die Darstellung und Erörterung der multivariaten Zusammenhangsstruktur und -stärke ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

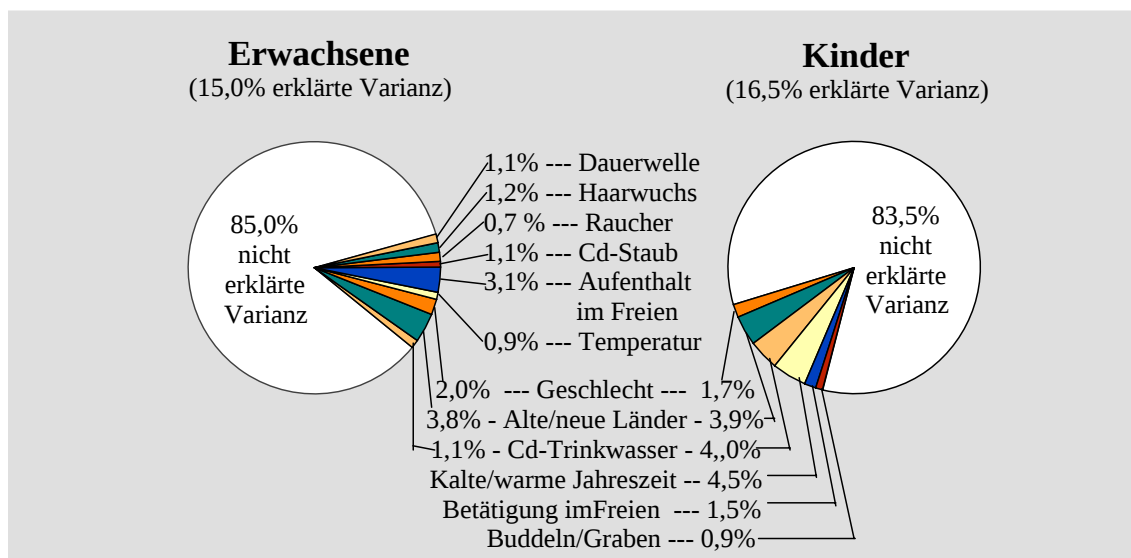


Abb. 8.1: Varianzaufklärung und Varianzkomponenten für Cadmium im Haar - Erwachsene und Kinder

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

8.1 Cadmium im Haar der Erwachsenen

Bei der multivariaten statistischen Auswertung für Cadmium im Haar wurde im wesentlichen auf den Variablenatz zurückgegriffen, der bereits bei der Modellierung der Cadmiumgehalte im Blut und im Urin zur Verfügung stand. Hinzugenommen wurden noch spezifische Haarmerkmale (vgl. Kapitel 3.2 und 14.4).

Die durchgeführte Regressionsanalyse für die Cadmiumgehalte im Haar der 25- bis 69jährigen Erwachsenen führte zu keiner befriedigenden Varianzaufklärung, so daß im folgenden auf die explizite Angabe von Modellgleichungen verzichtet wird. Die Ergebnisdarstellung beschränkt sich somit auf die Angabe der Prädiktoren und ihre Bewertung anhand der zugeordneten standardisierten Regressionskoeffizienten und der bivariaten Korrelationen zum logarithmierten Cadmiumgehalt sowie der daraus ableitbaren Varianzkomponenten. Die Resultate sind in Tabelle 8.1 zusammengestellt.

Für die Erwachsenen der neuen und der alten Bundesländer werden im wesentlichen die gleichen Prädiktoren verwendet, so daß die regressionsanalytischen Untersuchungen auf die zusammengefaßten Datensätze aller 25- bis 69jährigen Probanden des Umwelt-Surveys unmittelbar erweiterbar sind. Bei dieser Erweiterung ist der zusätzliche Prädiktor „Alte/Neue Bundesländer“ zu berücksichtigen. Unter Heranziehung von insgesamt neun Prädiktoren lassen sich 15,0 % der Varianz von Cadmium im Haar erklären. Die Varianzaufklärungsraten bei separater Auswertung für die alten und neuen Bundesländer sind 11,7 % und 12,7 %. Im Vergleich dazu betrug die Varianzaufklärung des Modells vom 1. Umwelt-Survey 1985/86 in den alten Bundesländern 5,5 % bei sechs Prädiktoren (Schwarz et al. 1993).

Die Prädiktoren für Cadmium im Haar unterscheiden sich weitgehend von denen, die bei der Modellierung der Cadmiumgehalte im Blut oder im Urin verwendet wurden (vgl. Tabellen 6.1 und 7.1). Dies war insofern zu erwarten, da die Korrelationen zwischen den logarithmierten Cadmiumgehalten im Haar und Blut bzw. im Haar und Urin mit 0,11 bzw. 0,07 gering sind. Derart geringe Korrelationen ergaben sich bereits bei der Auswertung des 1. Umwelt-Surveys (Schwarz et al. 1993, S. 72).

Die Prädiktorenauswahl und die zu den Prädiktoren gehörenden Varianzkomponenten bestätigen die in der Literatur geäußerte Ansicht, daß die endogene Inkorporation von Cadmium in das Haar eher gering ist (Wilhelm und Idel 1996). Die geringe endogene Inkorporation zeigt sich u. a. in dem relativ kleinen dem Rauchverhalten zuzuordnenden Varianzanteil von Cadmium im Haar im Vergleich zum hohen anteiligen Beitrag des Rauchens an der Varianzaufklärung von Cadmium im Blut und im Urin. Daß das Rauchverhalten offenbar einen stärkeren Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Blut und im Urin als auf den im Haar hat, steht im Einklang mit Resultaten anderer Studien (Fréry et al. 1993, Wilhelm et al. 1988, Wolfspurger et al. 1994).

Einige Autoren gehen davon aus, daß der Cadmiumgehalt im Haar ein guter Indikator für luftgetragenes Cadmium ist (Beck und Schmidt 1993, Chatt und Katz 1988, Wilhelm et al. 1988). Dies wird durch die

durchgeführte Regressionsanalyse insoweit bestätigt, daß Merkmale, wie der Cadmiumgehalt im Staubsaugerbeutel, die Aufenthaltsdauer im Freien und in Werkhallen/Werkstätten sowie die mittlere Tageshöchsttemperatur einen statistisch nachweisbaren Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Haar (nicht aber im Blut und im Urin) haben.

Tab. 8.1: Prädiktoren und Varianzaufklärung für Cadmium im Haar bei Erwachsenen

Prädiktoren									
Z₁ = Geschlecht (weiblich = 0, männlich = 1) Z₂ = Gegenwärtiger Raucher (nein = 0, ja = 1) Z₃ = Alte/ Neue Bundesländer (Alte Länder = 0, Neue Länder = 1) Z₄ = Logarithmus des Cadmiumgehalts im häuslichen Trinkwasser Z₅ = Logarithmus des Cadmiumgehalts im Staubsaugerbeutel Z₆ = Aufenthaltsdauer im Freien und in Werkhallen/Werkstätten (in Stunden/Tag) Z₇ = Mittlere Tageshöchsttemperatur (in °C) Z₈ = Haarwuchs (dichtes Haar = 0, schütteres Haar = 1) Z₉ = Dauerwelle (nein = 0, ja = 1)									
Deutschland				Alte Bundesländer			Neue Bundesländer		
Prä- dik- to- ren	aufgeklärte Varianz : 15,0 %			aufgeklärte Varianz : 11,7 %			aufgeklärte Varianz : 12,7 %		
	nach Korrektur : 14,7 %			nach Korrektur : 11,4 %			nach Korrektur : 12,3 %		
	n = 3592			n = 2273			n = 1319		
	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$
Z₁	0,155	0,129	2,0 %	0,134	0,125	1,7 %	0,197	0,148	2,9 %
Z₂	0,083	0,085	0,7 %	0,078	0,076	0,6 %	0,093	0,119	1,1 %
Z₃	0,190	0,198	3,8 %	-	-	-	-	-	-
Z₄	0,102	0,112	1,1 %	0,073	0,064	0,5 %	0,127	0,155	2,0 %
Z₅	0,089	0,119	1,1 %	0,076	0,127	1,0 %	0,102	0,131	1,3 %
Z₆	0,143	0,215	3,1 %	0,129	0,191	2,4 %	0,166	0,209	3,5 %
Z₇	0,092	0,102	0,9 %	0,144	0,182	2,6 %	-	-	-
Z₈	0,098	0,121	1,2 %	0,136	0,161	2,2 %	0,059	0,083	0,5 %
Z₉	0,190	0,057	1,1 %	0,172	0,042	0,7 %	0,239	0,060	1,4 %

Anmerkungen: n = Stichprobenumfang ; β = standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell); r = Korrelation zwischen Prädiktor und Zielgröße Y (Maß für die Stärke des bivariaten Zusammenhangs); $\beta r \cdot 100 \%$ = der dem Prädiktor zuzuordnende Anteil an der Varianz (Summe über alle Prädiktoren ergibt den durch das Modell aufgeklärten Varianzanteil)

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

8.1.1 Diskussion der Prädiktoren

Geschlecht

Signifikant höhere Cadmiumgehalte im Kopfhhaar der Männer im Vergleich zu Frauen wurden bereits im Rahmen der deskriptiven Auswertung des 2. Umwelt-Surveys nachgewiesen. Der geometrische Mittelwert beträgt 0,052 µg/g bei Männern und ist damit um etwa 27 % höher als der mittlere Cadmiumgehalt im Kopfhhaar der Frauen mit 0,041 µg/g. Bei Ausschluß der Personen mit behandeltem Haar vergrößert sich sogar der relative Unterschied auf 58 % (Krause et al. 1996b).

In der Literatur sind die Angaben zu einem Einfluß des Geschlechts auf den Cadmiumgehalt im Haar widersprüchlich, wobei in einigen Studien (z. B. Wolfspurger et al. 1994) auf Störgrößen aus dem sozialen und beruflichen Umfeld hingewiesen wird. Wilhelm und Ohnesorge (1990) und Wilhelm et al. (1994) berichten über deutsche Studien und dort ermittelte höhere Gehalte im Kopf- und Schamhaar bei Männern. DiPietro et al. (1989) und Leotsinidis und Kondakis (1990) bestimmten bei nordamerikanischen bzw. griechischen Probanden gleichfalls höhere Gehalte im Kopfhhaar der Männer. Wolfspurger et al. (1994) ermittelten allerdings für ein relativ junges Kollektiv von 19- bis 31jährigen durchschnittlich höhere Cadmiumgehalte im Haar bei Frauen und schließen eine biologische Ursache nicht aus.

Gegenwärtiger Raucher

In Anbetracht der herausragenden Bedeutung des Rauchverhaltens für die korporale Cadmiumbelastung (siehe Kapitel 6.1 und 7.1) war ein Einfluß des Tabakkonsums auf den Cadmiumgehalt im Haar zu erwarten. Anders als bei der für Blut und Urin durchgeführten multivariaten Auswertung ist bei den Haaren jedoch lediglich der aktuelle Rauchstatus ein signifikanter Prädiktor für den Cadmiumgehalt. Aufgrund der relativ geringen Korrelation zwischen dem Cadmiumgehalt im Blut bzw. Urin und dem im Haar dürfte die Zunahme der Cadmiumgehalte im Haar eher aus einer exogenen als aus einer endogenen Cadmiumzufuhr resultieren, die über den Tabakrauch oder den durch das Rauchen verursachten Staub erfolgt.

Im Rahmen der deskriptiven Auswertung der Daten des 2. Umwelt-Surveys 1990/92 wurden für Raucher durchschnittlich 18 % höhere Cadmiumgehalte im Haar ermittelt als für Nichtraucher (Krause et al. 1996b). Höhere Cadmiumgehalte im Haar von Rauchern im Vergleich zu Nichtrauchern ergaben sich auch in anderen empirischen Studien (Chattopadhyay et al. 1990, Sukumar und Subramanian 1992, Wolfspurger et al. 1994). Fréry et al. (1993) berichten über eine deutliche Zunahme des Cadmiumgehaltes im Haar ab einem Konsum von mehr als 20 Zigaretten pro Tag. (Ein solcher Effekt läßt sich auf Grundlage der vorliegenden Auswertung nicht bestätigen.)

Alte/ Neue Bundesländer

In Übereinstimmung mit den Ergebnissen für Cadmium im Blut und im Urin wurden auch höhere Cadmiumgehalte im Haar bei Probanden der neuen im Vergleich zu Probanden der alten Bundesländer festgestellt. Dieser regionale Effekt läßt sich nicht mit höheren Cadmiumniederschlägen in der Außenluft der neuen Bundesländer erklären, da die mit Bergerhoff-Geräten gemessenen Niederschläge in den Erhebungspunkten des Umwelt-Surveys keine signifikanten Ost-West-Unterschiede aufweisen. Allerdings wurden in den neuen Bundesländern signifikant höhere Cadmiumniederschläge im Innenraum gemessen (Kap. 9.1). Somit könnten die Gründe möglicherweise in der höheren Staubbelastung im Innenraum zu finden sein, die mit dem häufigeren Vorhandensein einer Ofenheizung mit Holz- oder Kohle, dem durchschnittlich höheren Alter und schlechteren baulichen Zustand der Wohnhäuser und den etwas höheren Cadmiumgehalten der gerauchten Zigaretten zusammenhängen kann. Auch eine höhere Arbeitsplatzbelastung, verbunden mit dem verstärkten Eintrag von Staub in die häusliche Wohnumgebung, ist nicht auszuschließen.

Die Daten der Human-Organprobenbank bestätigen das vorliegende Ergebnis. Dort wurden bei Probanden aus Halle und Leipzig höhere Cadmiumgehalte im Haar ermittelt als bei Probanden aus Münster (UBA 1993).

Cadmiumgehalt im häuslichen Trinkwasser

Ein Grund für die Signifikanz des Prädiktors könnte eine exogene Anlagerung von im Wasser befindlichen Cadmium an das Haar, z. B. bei der Haarwäsche oder beim Duschen, sein. Nach Wilhelm et al. (1989) wird Cadmium aus wäßrigen Lösungen fest an das Haar adsorbiert und durch die gängigen Waschprozeduren nur zu rund 10 % wieder abgelöst.

Cadmiumgehalt im Staubsaugerbeutel

Der Cadmiumgehalt im Staubsaugerbeutel reflektiert die häusliche Cadmiumbelastung des Probanden, die für den Cadmiumgehalt im Haar von Bedeutung sein kann, und zwar in Abhängigkeit von der Aufenthaltsdauer des Probanden in der Wohnung. Ein anderer Indikator ist der Cadmiumniederschlag, welcher in dem vom Probanden meist genutzten Wohnraum gemessen wurde. Der Cadmiumniederschlag hat bei gleicher Varianzaufklärung jedoch den Nachteil, daß sich die für die Regressionsanalyse verfügbare Datensatzzahl verringert, da der Anteil verfügbarer Staubsammelbecherproben 82 % der Nettostichprobe beträgt, der Anteil der Staubbeutelproben hingegen 98 % (vgl. Krause et al. 1996b, S. 30).

Tageshöchsttemperatur und Aufenthaltsdauer

Die beiden Prädiktoren **Mittlere Tageshöchsttemperatur** und **Aufenthaltsdauer im Freien und in Werkhallen/Werkstätten** sind inhaltlich vergleichbar mit den im Rahmen der deskriptiven Auswertung (Krause et al. 1996b) verwendeten signifikanten Gliederungsmerkmalen **Jahreszeit** und **täglicher Aufenthalt außerhalb geschlossener Räume**. In einer statistischen Voruntersuchung hat sich gezeigt, daß die Wirkung einer bestimmten Aufenthaltszeit im Freien auf den Cadmiumgehalt im Haar etwa der Wirkung einer gleichlangen Aufenthaltszeit in Werkhallen, Werkstätten, Lagern und Garagen entspricht. Deshalb wurde eine zusammengefaßte Variable gebildet. Inhaltlich läßt sich die expositionsrelevante Aufenthaltszeit in Werkhallen, Werkstätten, Lagern und Garagen mit dort üblicherweise stärkerem Staubaufkommen und häufigeren Staubaufwirbelungen erklären.

Bei höheren Außentemperaturen sind ebenso wie in der wärmeren Jahreszeit erhöhte Cadmiumgehalte im Haar festzustellen. Auch Wilhelm et al. (1990) fanden im Sommer höhere Gehalte im Haar von Erwachsenen als im Winter und führten als Gründe eine stärkere Außenaktivität, eine höhere Versorgung mit frischen Lebensmitteln und einen stärkeren Wasserkontakt im Sommer an. Die beiden letztgenannten Gründe hängen nicht unmittelbar mit dem Prädiktor **Aufenthaltsdauer im Freien und in Werkhallen/Werkstätten** zusammen, was den eigenständigen Beitrag des Prädiktors **Mittlere Tageshöchsttemperatur** bei der Varianzaufklärung von Cadmium im Haar erklären könnte.

Haarwuchs

Kopfhautnahe Haarsegmente weisen geringere Elementgehalte auf als distale Segmente. Valkovic (1988) stellte fest, daß das proximal gefundene Blei eher endogenen Ursprungs ist und höhere Bleigehalte in distaler Richtung eine zusätzliche Anreicherung durch externe Quellen widerspiegeln, was man auch für Cadmium annehmen kann. Da bei schütterem Haarwuchs quasi eine Deckschicht der Haare fehlt, die den proximalen Teil des Haares vor der exogenen Anreicherung schützt, sind die im Survey festgestellten höheren Cadmiumgehalte bei schütterem Haar im Vergleich zu dichtem Haar plausibel.

Dauerwelle

Die chemische Behandlung der Haare in Form einer Dauerwelle hat einen deutlichen Effekt auf diverse Spurenelementgehalte im Haar. In der Regel führt sie zu höheren Gehalten im Haar, da wahrscheinlich die adsorptiven Eigenschaften der Haare verändert werden (Suzuki 1988). Daß ein entsprechender Einfluß auch für Cadmium vorhanden ist, zeigte sich schon bei der deskriptiven Auswertung der Daten des 2. Umwelt-Surveys (Krause et al. 1996b).

8.1.2 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale

Lebensalter

Zwischen dem Lebensalter und dem Cadmiumgehalt im Haar konnte weder bivariat (vgl. Krause et al. 1996b) noch mittels multivariater Regressionsanalyse ein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden. Auch in anderen Studien (Ashraff et al. 1994, Fréry et al. 1993, Wilhelm et al. 1990, Wolfsperger et al. 1994) sowie im Rahmen des 1. Umwelt-Surveys (Krause et al. 1989, Schwarz et al. 1993) wurde kein Altersgang für Erwachsene festgestellt.

Ernährung

Die von den Probanden gemachten Angaben zur Verzehrshäufigkeit und Verzehrsmenge von tierischen Innereien (Leber, Niere, Herz, Hirn), Fisch, Salat, rohem Gemüse, Bier, Wein/Sekt, hochprozentigen alkoholischen Getränken und Mineralwasser wurden im Rahmen der Prädiktorenwahl einbezogen, führten jedoch zu keiner verbesserten Varianzaufklärung. Dieses Resultat deckt sich mit den Ergebnissen der Regressionsanalysen für Cadmium im Blut und im Urin. Auf die Schwierigkeiten bei der Erfassung des Expositionspfades Nahrung wurde in Kapitel 3.1 hingewiesen.

Chutsch et al. (1990) stellten bei Vegetariern und Nichtvegetariern keine unterschiedlichen Cadmiumgehalte im Haar fest. Srikumar et al. (1992) ermittelten zwar bei dem Vergleich indischer Vegetarier mit schwedischen Nichtvegetariern höhere Cadmiumgehalte im Haar der indischen Probanden, weisen aber ausdrücklich darauf hin, daß in Indien auch höhere Umweltbelastungen als in Schweden vorliegen.

Region und Wohnungsumfeld

Bei der deskriptiven Auswertung der Daten des 1. und 2. Umwelt-Surveys konnte weder ein Zusammenhang zwischen dem Cadmiumgehalt im Haar und dem **Cadmiumniederschlag in der Außenluft** noch zwischen dem Gehalt im Haar und der **Gemeindegröße** festgestellt werden. Wilhelm et al. (1990) fanden bei einer regional begrenzten Untersuchung gleichfalls keinen Effekt der Wohnumgebung. Dabei ist allerdings zu berücksichtigen, daß in dieser Studie keine Probanden einer industriellen Region einbezogen wurden und daher die regionale Variationsbreite nicht adäquat wiedergespiegelt wurde. Höhere Gehalte im Haar von Stadtbewohnern wurden allerdings in einigen internationalen Studien (Chattopadhyay et al. 1990, Sukumar und Subramanian 1992) festgestellt.

Häuslicher Bereich

Das bei der deskriptiven Auswertung (vgl. Krause et al. 1996b) verwendete signifikante Gliederungsmerkmal **Ofenheizung mit Holz oder Kohle** erwies sich im Rahmen der multivariaten Auswertung als vernachlässigbare Einflußgröße.

Arbeitsplatz und soziale Stellung

Wilhelm et al. (1994) ermittelten bei Arbeitern im Vergleich zu anderen Berufstätigen höhere Cadmiumgehalte im Haar. Das bei der vorliegenden Auswertung ebenfalls verfügbare Merkmal **Arbeiter** brachte jedoch keine Modellverbesserung.

Im Rahmen der deskriptiven Auswertung des 2. Umwelt-Surveys erwies sich die Variable **Staub am Arbeitsplatz** als signifikantes Gliederungsmerkmal (Krause et al. 1996b). Ihr Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Haar hat sich jedoch bei der regressionsanalytischen Auswertung nicht bestätigt.

Das Merkmal **Schulabschluß**, als potentieller Prädiktor in die Regressionsanalyse einbezogen, liefert keinen eigenen Beitrag zur Varianzaufklärung von Cadmium im Haar. Bei der deskriptiven Auswertung der Daten wurden zwar höhere Cadmiumgehalte im Haar für Probanden ohne bzw. mit einem weniger qualifizierten Schulabschluß festgestellt, doch wurde bereits dort auf die confoundierende Wirkung des Geschlechts hingewiesen (Krause et al. 1996b).

Weitere Haarmerkmale

In der vorliegenden und in anderen Studien konnte kein Einfluß der **Haarfarbe** und der natürlichen **Haarstruktur** (glatt, gewellt, kraus) auf den Cadmiumgehalt im Kopfhaar von Erwachsenen festgestellt werden (Wilhelm et al. 1990, Wolfsperger et al. 1994). Auch die **Färbung/Tönung** der Haare, der zeitliche Abstand zur **letzten Haarwäsche** sowie die Verwendung von **Antischuppen-Haarwaschmittel** beeinflussen nicht nachweislich den Cadmiumgehalt im Haar, wie die statistische Auswertung der Daten des 2. Umwelt-Surveys zeigt.

8.2 Cadmium im Haar der Kinder

Die multivariate statistische Auswertung für die Cadmiumgehalte im Haar der 6- bis 14jährigen Kinder führte zu keiner befriedigenden Varianzaufklärung, so daß im folgenden auf die explizite Angabe von Modellgleichungen verzichtet wird. Die Ergebnisdarstellung beschränkt sich auf die Angabe der Prädiktoren und ihre Bewertung anhand der zugeordneten standardisierten Regressionskoeffizienten und der bivariaten Korrelationen zum logarithmierten Cadmiumgehalt sowie der daraus ableitbaren Varianzkomponenten. Die Resultate sind in Tabelle 8.2 zusammengestellt.

Tab. 8.2: Prädiktoren und Varianzaufklärung für Cadmium im Haar bei Kindern

Prädiktoren									
Z₁ = Geschlecht (weiblich = 0, männlich = 1) Z₂ = Alte/ Neue Bundesländer (Alte Länder = 0, Neue Länder = 1) Z₃ = Logarithmus des Cadmiumgehalts im häuslichen Trinkwasser Z₄ = Körperliche Betätigung im Freien (seltener = 0, häufiger = 1) Z₅ = Buddeln, Graben, Höhlenbauen (nie, selten oder gelegentlich = 0, häufig oder sehr häufig = 1) Z₆ = Kalte/Warme Jahreszeit (Oktober bis April = 0, Mai bis September = 1)									
	Deutschland			Alte Bundesländer			Neue Bundesländer		
Prä- dik- to- ren	aufgeklärte Varianz : 16,5 %			aufgeklärte Varianz : 16,3 %			aufgeklärte Varianz : 12,9 %		
	nach Korrektur : 15,8 %			nach Korrektur : 15,5 %			nach Korrektur : 11,8 %		
	n = 695			n = 450			n = 245		
	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$
Z₁	0,112	0,154	1,7 %	0,135	0,173	2,3 %	-	-	-
Z₂	0,229	0,169	3,9 %	-	-	-	-	-	-
Z₃	0,179	0,222	4,0 %	0,168	0,208	3,5 %	0,208	0,237	4,9 %
Z₄	0,103	0,146	1,5 %	0,079	0,134	1,1 %	0,173	0,236	4,1 %
Z₅	0,073	0,123	0,9 %	-	-	-	0,167	0,234	3,9 %
Z₆	0,232	0,195	4,5 %	0,297	0,316	9,4 %	-	-	-

Anmerkungen: n = Stichprobenumfang ; β = standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);
r = Korrelation zwischen Prädiktor und Zielgröße Y (Maß für die Stärke des bivariaten Zusammenhangs); $\beta r \cdot 100 \%$
= der dem Prädiktor zuzuordnende Anteil an der Varianz (Summe über alle Prädiktoren ergibt den durch das Modell aufgeklärten Varianzanteil)

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

Bei Verwendung von sechs Prädiktoren lassen sich 16,5 % der Varianz von Cadmium im Haar erklären. Die Varianzaufklärungsraten bei separater Auswertung für die alten und neuen Bundesländer sind 16,3 % und

12,9 % unter Nutzung von vier bzw. drei Prädiktoren. Im 1. Umwelt-Survey 1985/86 wurden keine Kinder untersucht. Vergleichbare andere Studien zur multivariaten Auswertung der Cadmiumgehalte im Haar von Kindern sind uns nicht bekannt.

Die Regressionsergebnisse zeigen, daß die endogene Inkorporation von Cadmium in das Haar ähnlich wie bei den Erwachsenen von geringer, wenn nicht gar von vernachlässigbarer Bedeutung ist. Auch bei Kindern spielen eher Merkmale eine Rolle, die die Expositionszeit und -intensität gegenüber luftgetragendem Cadmium widerspiegeln.

8.2.1 Diskussion der Prädiktoren

Geschlecht

Signifikant höhere Cadmiumgehalte im Kopfhaar der 6- bis 14jährigen Jungen im Vergleich zu den gleichaltrigen Mädchen ergaben sich bereits bei der deskriptiven Auswertung des 2. Umwelt-Surveys (0,056 µg/g gegenüber 0,040 µg/g, Krause et al. 1996b). Der Geschlechtsunterschied ist etwa gleich groß wie bei Erwachsenen (Männer: 0,052 µg/g, Frauen: 0,041 µg/g).

Als naheliegender Grund für den Geschlechtsunterschied in den Cadmiumgehalten im Kopfhaar der 6- bis 14jährigen könnte das unterschiedliche Spielverhalten angeführt werden, da Jungen während des Spielens wahrscheinlich häufigere und intensivere Boden- und Staubkontakte als Mädchen haben. Das Spiel- und Freizeitverhalten ist jedoch im Modell durch zwei spezielle Prädiktoren erfaßt, so daß der zusätzliche Einfluß des Geschlechts als eigenständiger Prädiktor andere Gründe haben muß. Möglicherweise spielt hier die durchschnittlich geringere Haarlänge der Jungen eine Rolle, da bei kurzem Haar der proximale Haarteil, von dem die Haarprobe entnommen wurde, weniger vor einer exogenen Anreicherung geschützt ist. Hinzu kommen die Schwierigkeiten bei der Entnahme von kopfhautnahen Haarproben (Wibowo et al. 1986, Wilbrand et al. 1991), die besonders häufig bei Mädchen auftreten (Prucha 1987), so daß der Geschlechtseffekt möglicherweise durch einen „Bias“ der Probenahme verstärkt wird.

In der Literatur sind die Angaben zum Einfluß des Geschlechts auf den Cadmiumgehalt im Haar der Kinder widersprüchlich. Wilhelm et al. (1988 und 1994) berichten über höhere Gehalte im Kopfhaar bei Jungen, dagegen stellen Bosque et al. (1991) und Senofonte et al. (1989) durchschnittlich höhere Gehalte bei Mädchen fest.

Alte/ Neue Bundesländer

Die 6- bis 14jährigen Kinder aus den neuen Bundesländern haben gegenüber gleichaltrigen Kindern der alten Bundesländer nicht nur höhere Cadmiumgehalte im Blut und im Urin (vgl. Kapitel 6.2 und 6.3), sondern auch im Haar. Die geometrischen Mittelwerte im 2. Umwelt-Survey betragen nach Krause et al. (1996b) 0,065 µg/g bzw. 0,042 µg/g. Dieser Unterschied ist statistisch signifikant. Somit ist bei Kindern ein Ost-West-Effekt in der gleichen Größenordnung wie bei Erwachsenen (0,064 µg/g zu 0,042 µg/g) feststellbar. Mögliche Gründe für die höheren Gehalte in den neuen Bundesländern sind das häufigere Vorhandensein einer Ofenheizung mit Holz oder Kohle, durchschnittlich ältere Wohnhäuser und eine etwas stärkere regionale Cadmiumbelastung, wobei die einzelnen Gründe nicht so bedeutend sind, als daß sie durch eigenständige Prädiktoren im Modell Berücksichtigung finden.

Cadmiumgehalt im häuslichen Trinkwasser

Ähnlich wie bei Erwachsenen ist der logarithmierte Cadmiumgehalt im häuslichen Trinkwasser signifikanter Prädiktor für den Cadmiumgehalt im Haar der Kinder. Die zum Prädiktor gehörende Varianzkomponente ist mit 4 % bei Kindern höher als bei Erwachsenen. Möglicherweise spielt hierbei die Häufigkeit der Haarwäsche, des Duschens und des Tauchens (beim Vollbad) eine Rolle, da von einer Anlagerung von im Wasser befindlichen Cadmium an das Haar auszugehen ist.

Körperliche Betätigung im Freien und Buddeln, Graben, Höhlenbauen

Die beiden Prädiktoren sollen das Spiel- und Freizeitverhalten der Kinder erfassen, welches mit häufigen und intensiven Boden- und Staubkontakten verbunden ist. Kinder, die sich häufiger im Freien körperlich betätigen, haben mit 0,051 µg/g einen deutlich höheren Cadmiumgehalt im Haar als andere Kinder mit 0,035 µg/g (Krause et al. 1996b). Buddeln, Graben und Höhlenbauen spielen eher bei jüngeren Kindern eine Rolle und liefern einen etwas geringeren, aber eigenständigen Beitrag zur Varianzaufklärung von Cadmium im Haar. Bemerkenswert ist, daß beide das Spiel- und Freizeitverhalten charakterisierenden Merkmale in den neuen Bundesländern von größerer Bedeutung sind.

Kalte/ Warme Jahreszeit

Die Jahreszeit steht in engem Zusammenhang zur mittleren Tageshöchsttemperatur, welche im Regressionsmodell der Erwachsenen als Prädiktor aufgenommen und in Kapitel 8.1.1 diskutiert wurde. In der warmen Jahreszeit (Mai bis Oktober) haben Kinder mit durchschnittlich 0,065 µg/g signifikant höhere Cadmiumgehalte im Haar als in der kalten Jahreszeit (Oktober bis April) mit durchschnittlich 0,040 µg/g (Krause et al. 1996b),

was möglicherweise durch eine stärkere Außenaktivität, eine höhere Versorgung mit frischen Lebensmitteln und einen stärkeren Wasserkontakt in der warmen Jahreszeit erklärt werden kann.

Ein Jahreszeiteffekt wird auch in der Literatur beschrieben. Beck und Schmidt (1993) und Wilhelm et al. (1988) fanden bei Kindern in den Sommermonaten bzw. nach den Sommerferien höhere Cadmiumgehalte im Haar.

8.2.2 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale

Lebensalter

Zwischen dem Lebensalter und dem Cadmiumgehalt im Haar konnte weder bivariat (vgl. Krause et al. 1996b) noch mittels multivariater Regressionsanalyse ein signifikanter Zusammenhang nachgewiesen werden.

Wilhelm et al. (1988) untersuchten 3- bis 7jährige Kinder aus Nordrhein-Westfalen und stellten eine Abnahme des Cadmiumgehalts im Kopfhaar mit zunehmendem Lebensalter fest. Die größte Abnahme war zwischen den Altersklassen der 3- bis 4- und 4- bis 5jährigen zu beobachten. Die Autoren führen dies auf sich ändernde Hand-zu-Mund-Bewegungen und ein sich veränderndes Spielverhalten in diesen Altersstufen zurück. In der follow-up Studie an den selben Kindern (5 bis 9 Jahre) war dann ein entsprechender Altersgang weniger deutlich (Wilhelm et al. 1994).

Passivrauchen

In der vorliegenden Auswertung kann so wie in anderen Studien (Wolfspurger et al. 1994, Wilhelm et al. 1988, Moon et al. 1986, Ahmed und Elmubarak 1990) kein Zusammenhang zwischen dem Passivrauchen von Kindern beschreibenden Variablen und dem Cadmiumgehalt im Haar der Kinder festgestellt werden.

Region und Wohnungsumfeld

Im Rahmen der deskriptiven Auswertung des 2. Umwelt-Surveys (Krause et al. 1996b) wurden verschiedene regionale Merkmale und Merkmale des Wohnungsumfelds, wie der **Cadmiumniederschlag in der Außenluft**, die **Gemeindegröße** und die Art des **Wohngebiets**, auf ihren Zusammenhang mit dem Cadmiumgehalt im Haar der 6- bis 14jährigen Kinder geprüft. Es zeigten sich keine signifikanten Zusammenhänge. Dieses Ergebnis wird durch die multivariate Auswertung nunmehr bestätigt, wo sich mit Ausnahme des bereits diskutierten Merkmals **Alte/ Neue Bundesländer** keine weiteren Prädiktoren mit regionalem Bezug ergaben.

Häufiger als bei Erwachsenen konnte in mehreren anderen, meist in den 80er Jahren durchgeführten Studien ein Zusammenhang zwischen dem Wohngebiet (ländlich, städtisch) und dem Cadmiumgehalt im Haar von Kindern ermittelt werden (Bosque et al. 1991, Wibowo et al. 1986). Teilweise gelang es auch, eine statistisch relevante Korrelation zwischen dem Cadmiumgehalt im Haar und dem Cadmiumgehalt im Schwebstaub (Prucha et al. 1987, Beck und Schmidt 1993) bzw. dem Cadmiumniederschlag (Wilhelm et al. 1988) aufzuzeigen. Wie bereits mehrfach erwähnt, sind die Cadmiumemissionen in der Bundesrepublik deutlich gesunken, so daß die damit einhergehende geringere Variabilität der Daten die Ursache dafür sein könnte, daß sich solche Zusammenhänge heute nicht mehr nachweisen lassen.

Weitere Haarmerkmale

Gemäß der vorliegenden Auswertung haben die **Haarfarbe**, die **Haarstruktur**, der zeitliche Abstand zur **letzten Haarwäsche** sowie die Verwendung von **Antischuppen-Haarwaschmittel** bei Kindern keinen Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Haar. Von einigen anderen Autoren wurde ein Anstieg des Cadmiumgehalts mit zunehmender Pigmentierung festgestellt (Bosque et al. 1991, Prucha et al. 1987). Wilhelm et al. (1988) fanden dagegen höhere Gehalte bei blonden Kindern. Sie wiesen darauf hin, daß dies mit dem höheren Anteil blonder Haare bei jüngeren Kindern und dem in dieser Studie stark eingeschränkten Altersbereich (5 bis 9 Jahre) zusammenhängen kann.

9 Cadmium im Hausstaub (Staubniederschlag)

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der multivariaten statistischen Auswertung für Cadmium im Hausstaub (Staubniederschlag) behandelt. Um die bei den eingesetzten statistischen Verfahren teilweise nötige Voraussetzung der Normalverteilung für die als Zielgröße dienende Cadmiumkonzentration zu gewährleisten, werden diese logarithmisch transformiert.

Es werden getrennte Regressionsanalysen für alle Erwachsenen (25 bis 69 Jahre) und für alle Kinder (6 bis 14 Jahre) des Umwelt-Surveys 1990/92 durchgeführt, für die eine Staubniederschlagsprobe vorlag. Voraussetzung war, daß die mittels Staubsammelbecher gesammelte Probe einen Zeitraum von mindestens 300 Tagen repräsentiert. Einen Überblick über die mit den Regressionsanalysen erreichten Varianzaufklärungsraten sowie über die Varianzkomponenten der einzelnen Einflußgrößen (Prädiktoren) gibt Abbildung 9.1. Eine genauere Darstellung und Erörterung der multivariaten Zusammenhangsstruktur und -stärke ist Gegenstand der sich daran anschließenden Abschnitte.

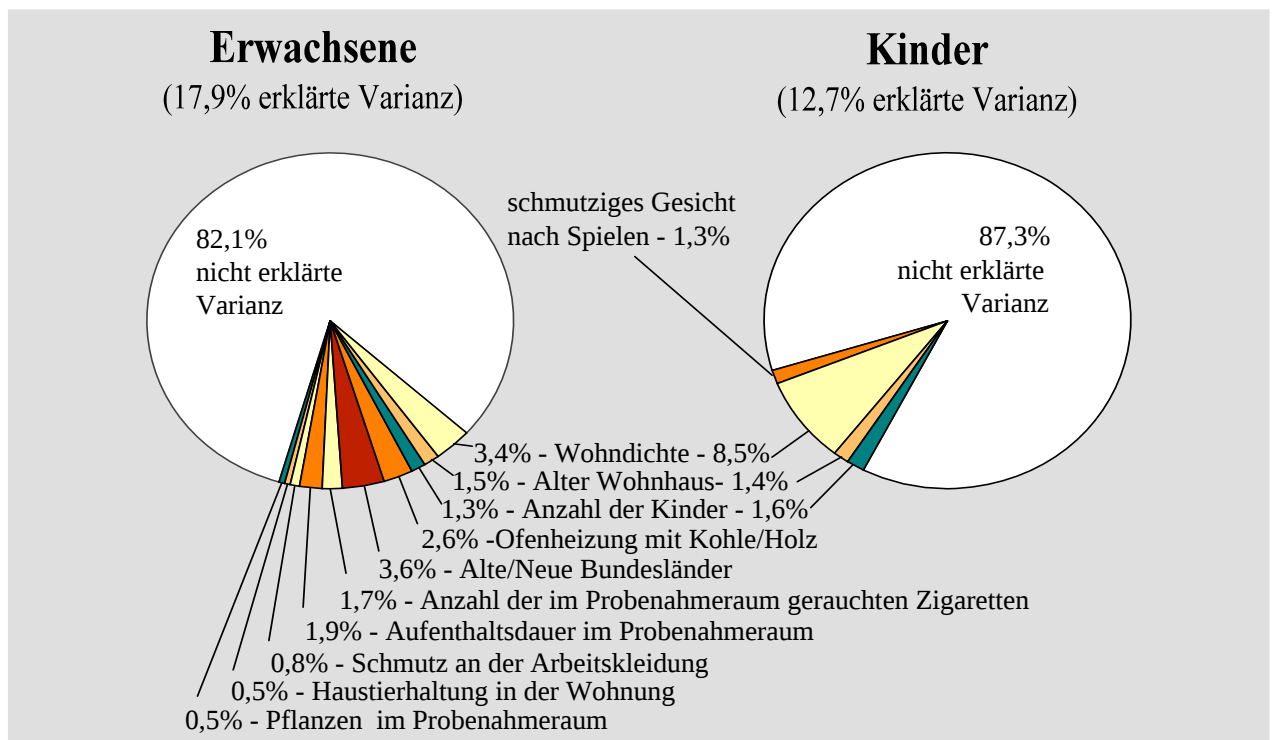


Abb. 9.1: Varianzaufklärung und Varianzkomponenten für Cadmium im Staubniederschlag - Erwachsene und Kinder

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

9.1 Cadmiumniederschlag in den Wohnräumen der Erwachsenen

Bei der multivariaten statistischen Auswertung für Cadmium im Staubniederschlag wurde der im Anhang (Abschnitt 14.4) beschriebene Satz von Merkmalen verwendet, der bereits für die Zusammenhangsanalyse des Cadmiumgehalts in den anderen Medien zur Verfügung stand. Die Prüfung der Merkmale auf ihre Eignung als Prädiktoren des Cadmiumniederschlags erfolgte hypothesenorientiert. Nach Durchführung von schrittweisen Regressionsanalysen (vgl. Kapitel 5.4), die zunächst für die alten und neuen Bundesländer getrennt durchgeführt wurden, sind aus den im Anhang (Abschnitt 14.4) beschriebenen per Fragebogen bzw. Messung erhobenen Merkmale 10 Prädiktoren hergeleitet worden, die in Tabelle 9.1 definiert sind.

Durch diese 10 Prädiktoren werden 17,9 % der Varianz des Cadmiumniederschlags erklärt. Bei getrennter Modellierung für die alten und neuen Bundesländer sind mit neun bzw. sechs Prädiktoren 13,9 % bzw. 13,1 % der Varianz erklärbar (vgl. Tabelle 9.2). Im Vergleich dazu betrug die entsprechende Varianzaufklärung des 1. Umwelt-Surveys 1985/86 in den alten Bundesländern 11,5 % bei 7 Prädiktoren (Schwarz et al. 1993).

Tab. 9.1: Prädiktoren für den Cadmiumniederschlag in Wohnräumen der 25- bis 69jährigen Erwachsenen

<i>Prädiktoren</i>
Z_1 = Alte/Neue Bundesländer (Alte Länder = 0, Neue Länder = 1)
Z_2 = natürlicher Logarithmus des Alters des Wohnhauses in Jahren
Z_3 = Ofenheizung mit Kohle/Holz (nein = 0, ja = 1)
Z_4 = Anzahl der Kinder bis 14 Jahren im Haushalt (metrisch)
Z_5 = Haustiere mit Fell oder Federn werden in der Wohnung gehalten (nein = 0, ja = 1)
Z_6 = natürlicher Logarithmus der Personenzahl pro m² im Probenahmeraum
Z_7 = tägliche Aufenthaltsdauer des Probanden im Probenahmeraum (Stunden)
Z_8 = natürlicher Logarithmus der Anzahl der pro Tag und Quadratmeter im Probenahmeraum gerauchten Zigaretten
Z_9 = Pflanzen im Probenahmeraum (0 = viele, 1 = keine/einige)
Z_{10} = momentane Arbeitsbedingung des Probanden: Schmutz an der Arbeitskleidung (0 = nein, 1 = ja)

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

Tab. 9.2: Varianzaufklärung der Prädiktoren für den Cadmiumniederschlag in Wohnräumen der 25- bis 69jährigen Erwachsenen

	Deutschland			Alte Bundesländer			Neue Bundesländer		
Prä- dik- to- ren	aufgeklärte Varianz : 17,9 %			aufgeklärte Varianz : 13,9 %			aufgeklärte Varianz : 13,1 %		
	nach Korrektur : 17,6 %			nach Korrektur : 13,5 %			nach Korrektur : 12,7 %		
	n = 3120			n = 1988			n = 1162		
	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$
Z ₁	0,151	0,238	3,6 %	-	-	-	-	-	-
Region (Z₁)									
Varianzanteile			3,6 %						
Z ₂	0,100	0,148	1,5 %	0,089	0,116	1,0 %	0,139	0,192	2,7 %
Z ₃	0,126	0,209	2,6 %	0,101	0,116	1,2 %	0,159	0,220	3,5 %
Z ₄	0,086	0,157	1,3 %	0,105	0,155	1,6 %	0,085	0,071	0,6 %
Z ₅	0,065	0,079	0,5 %	0,105	0,137	1,4 %	-	-	n.s.
Haus/Wohnung (Z₂ - Z₅)									
Varianzanteile			5,9 %						
Z ₆	0,138	0,245	3,4 %	0,163	0,242	3,9 %	0,082	0,113	0,9 %
Z ₇	0,137	0,136	1,9 %	0,134	0,117	1,6 %	0,146	0,139	2,0 %
Z ₈	0,111	0,162	1,7 %	0,094	0,174	1,6 %	0,166	0,204	3,4 %
Z ₉	0,051	0,099	0,5 %	0,055	0,101	0,6 %	-	-	n.s.
Probenahmeraum (Z₆ - Z₉)									
Varianzanteile			7,5 %						
Z ₁₀	0,065	0,127	0,8 %	0,083	0,117	1,0 %	-	-	n.s.
individuelle Merkmale (Z₁₀)									
Varianzanteile			0,8 %						

Anmerkungen: n = Stichprobenumfang ; β = standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell); r = Korrelation zwischen Prädiktor und Zielgröße Y (Maß für die Stärke des bivariaten Zusammenhangs); $\beta r \cdot 100 \%$ = der dem Prädiktor zuzuordnende Anteil an der Varianz (Summe über alle Prädiktoren ergibt den durch das Modell aufgeklärten Varianzanteil); n.s. = nicht signifikant

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

9.1.1 Diskussion der Prädiktoren

Alte/Neue Bundesländer

Wie in den anderen im Rahmen des Umwelt-Surveys 1990/92 untersuchten Proben (Blut, Urin, Kopfhare) zeigte sich auch für die Cadmiumniederschlagsrate ein deutlicher Unterschied zwischen den alten und neuen Bundesländern. Während in den Wohnräumen der 25- bis 69jährigen Erwachsenen der neuen Länder ein geometrischer Mittelwert von $15,8 \text{ ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ bestimmt wurde, betrug dieser Wert für die alten Länder nur $10,8 \text{ ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$. Dieser Unterschied kann nicht mit höheren während des Untersuchungszeitraums 1991/92 gemessenen Cadmiumniederschlägen in der Außenluft der neuen Bundesländer erklärt werden, da die bivariate Korrelation zwischen der Cadmiumniederschlagsrate in den Wohnräumen und der Cadmiumniederschlagsrate der Außenluft nur etwa 0,06 beträgt. In der multivariaten statistischen Analyse erweist sich das Merkmal Alte/Neue Bundesländer als stärkster Prädiktor, der allein 3,6 % der Varianz erklärt.

Mit der in den neuen Bundesländern höheren Cadmiumniederschlagsrate in den Wohnräumen der 25- bis 69jährigen Bevölkerung korrespondiert eine in den neuen Ländern höhere industrielle Cadmiumemission. So betrug der Wert 1990 in den alten Ländern 9 t, während für die neuen Länder im gleichen Jahr ein Ausstoß von 21 t ermittelt wurde. Erst danach ist auch dort ein deutlicher Rückgang auf 5 t im Jahre 1995 zu verzeichnen, der sowohl auf die technische Nachrüstung als auch auf die Stilllegung von Altanlagen zurückzuführen ist (Umweltbundesamt 1997). Bei einer Auswertung von Staubniederschlagsmessungen in der Außenluft, die in den Jahren 1983 bis 1988 in der DDR durchgeführt wurden, zeigten insbesondere Standorte der Buntmetallurgie mit $180 \text{ µg}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ Tage})$ einen hohen geometrischen Mittelwert, während im Vergleich dazu in den Städten der Nord- bzw. Südbezirke der DDR mit 28 bzw. $55 \text{ µg}/(\text{m}^2 \cdot 30 \text{ Tage})$ deutlich geringere Werte gefunden wurden (Marquardt et al. 1990).

Alter des Wohnhauses

Bereits im Rahmen der deskriptiven Auswertung des Umwelt-Surveys 1990/92 wurden signifikant höhere Cadmiumniederschläge in älteren Wohnhäusern nachgewiesen (Friedrich et al. in Vorbereitung). Wohnräume in Häusern, die vor 1949 erbaut wurden, weisen eine um etwa 38 % höhere Cadmiumniederschlagsrate auf als solche, die 1981 oder später erbaut wurden.

Als Ursache für die Zunahme der Cadmiumniederschlagsrate mit zunehmendem Alter des Wohnhauses muß die Verwendung von schwermetallhaltigen Baumaterialien in Betracht gezogen werden, aus denen dann durch Abnutzung das Metall in den Staubniederschlag gelangen kann. Hier kommen u. a. Schlacken aus der metallverarbeitenden Industrie in Frage („Hüttenbims“), die früher als Deckenfüllmaterial Verwendung fanden

(Riehm 1994, Hempel und Halász 1963), sowie Steinkohlenflugasche als Betonzusatzstoff (Schrage und Manns 1974), wobei die Asche einen Cadmiumgehalt von 120 bis 190 mg/kg aufweisen kann (Brumsack et al. 1984). Bei der Untersuchung dreier auf Portlandzement basierender Betonprodukte ermittelten Webster und Loehr (1996) Cadmiumgehalte von 19 bis 29 mg/kg. Als weitere, im Baubereich eingesetzte cadmiumhaltige Materialien kommen Dachfolien sowie andere galvanisierte Dachabdeckungen und Lote (Tötsch 1990, Fergusson und Kim 1991) als mögliche Quellen in Betracht. Neben galvanisierten Dächern nennen Fergusson und Kim ausdrücklich auch das Alter des Hauses als einen den Cadmiumgehalt im Hausstaub beeinflussenden Faktor.

Ofenheizung mit Kohle/Holz

Als bedeutsamer Prädiktor erwies sich die Verwendung einer mit Kohle oder Holz betriebenen Ofenheizung in der Wohnung des Probanden. Mit diesem Merkmal konnten 2,6 % der Varianz erklärt werden. Bei der getrennten Betrachtung der Wohnräume der 25- bis 69jährigen Bevölkerung der alten bzw. der neuen Länder ergaben sich Varianzaufklärungsanteile von 1,2 % bzw. 3,5 %. Damit ist die Heizungsart der wichtigste Prädiktor für die Teilstichprobe der neuen Bundesländer. Der regional unterschiedliche Einfluß des Prädiktors ergibt sich aus der stärkeren Verbreitung dieser Heizungsart in den neuen Ländern während des Untersuchungszeitraums: Verfügten 1990/91 nur noch 14,9 % der westdeutschen Probanden über eine Ofenheizung mit Kohle/Holz, so gaben immerhin 37,3 % der 1991/92 in den neuen Ländern Befragten an, eine solche Heizung zu verwenden.

Als Ursache für die im Vergleich zu anderen Heizungsarten höhere Cadmiumniederschlagsrate in Haushalten, die mit Kohleöfen beheizt werden, muß der gegenüber anderen Energieträgern wie z. B. Erdöl (mit 0,01 mg/kg) höhere Cadmiumgehalt von Stein- bzw. Braunkohle (0,15 bzw. 0,8 mg/kg) in Betracht gezogen werden (Fiedler und Rösler 1993). Ein Zusammenhang zwischen Cadmiumniederschlagsrate und Ofenheizung wurde auch bei einer Untersuchung von Berliner Wohnungen gefunden (Moriske et al. 1996, 1997). Für kohlebeheizte Wohnungen resultierte dort ein arithmetischer Mittelwert von $0,05 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ für Messungen während der Heizperiode, der in den Sommermonaten auf $0,01 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ absank, während für zentralbeheizte Wohnungen sowohl im Winter wie auch im Sommer ein Mittelwert von $0,01 \mu\text{g}/\text{m}^2 \cdot \text{Tag}$ erhalten wurde.

Anzahl der Kinder bis 14 Jahre im Haushalt

Mit steigender Anzahl der Kinder, die im Haushalt des Probanden leben, steigt die Cadmiumniederschlagsrate monoton an. Kinderlose Haushalte weisen einen Wert von $10,9 \text{ ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ auf, für Haushalte mit einem Kind werden $12,8 \text{ ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ gemessen (geometrische Mittelwerte). Mit jedem weiteren im Haushalt des Erwachsenen lebenden Kind erhöht sich die Cadmiumniederschlagsrate um ca. 10 % (alte Länder: 13,7 %; neue Länder: 7,6 %).

Dieser Befund ist auch im Zusammenhang mit der erhöhten Cadmiumniederschlagsrate in den von Kindern genutzten Wohnräumen zu sehen (Friedrich et al. in Vorbereitung). So wurde in den Wohnräumen der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder eine Cadmiumniederschlagsrate von $15,9 \text{ ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ gemessen, wogegen für die Wohnräume der 25- bis 69jährigen Erwachsenen nur ein geometrischer Mittelwert von $11,7 \text{ ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ bestimmt werden konnte.

Da mit zunehmender Zahl von Kindern im Haushalt von einer stärkeren Nutzung auch des Probenahmeraumes auszugehen ist, kann es zu einem Eintrag von cadmiumhaltigem Staub aus der Wohnumgebung - insbesondere nach dem Spielen im Freien und wenn daraus eine entsprechende Verschmutzung resultiert - und zu dessen Verwirbelung im Raum kommen, was einen erhöhten Cadmiumniederschlag zur Folge hat.

Haustiere mit Fell oder Federn

Werden in der Wohnung des Probanden Haustiere mit Fell oder Federn (z. B. Katze, Hund, Vögel, Nagetiere, Kaninchen, [Zwerg]Hasen) gehalten, so resultiert daraus eine signifikant erhöhte Cadmiumniederschlagsrate im Vergleich zu Haushalten ohne eine solche Tierhaltung. Auch in der multivariaten Zusammenhangsanalyse erwies sich dieses Merkmal als bedeutsamer Prädiktor für den Cadmiumniederschlag im Probenahmeraum, wenngleich dieser Prädiktor nur einen geringen Beitrag zur Varianzaufklärung liefert (0,5 % für die gesamte Bundesrepublik; 1,4 % für die alten Bundesländer). Für die Cadmiumniederschlagsrate in den am häufigsten genutzten Wohnräumen der 25- bis 69jährigen Ostdeutschen war die Haltung von Haustieren mit Fell oder Federn kein signifikanter Prädiktor. Zwar gibt es keine großen Unterschiede zwischen dem Anteil der Probanden in Ost und West, die Haustiere mit Fell oder Federn halten (ca. 30 bzw. 38 %), dennoch unterscheiden sich alte und neue Bundesländer nach der Art der bevorzugten Haustiere (z. B. Hunde: 31 % bzw. 13 %; Meerschweinchen: 1 % bzw. 4 %).

Durch im Haushalt lebende Tiere, die sich auch außerhalb des Haushaltes aufhalten (z. B. Hunde, Katzen), kann es zu einer Erhöhung der Cadmiumniederschlagsrate infolge des Eintrages von cadmiumhaltigem Straßenstaub oder Bodenpartikeln kommen. Darüber hinaus kann die Aktivität von Haustieren zu einem erhöhten

Staubaufkommen innerhalb der Wohnung durch Aufwirbeln von schon auf Oberflächen sedimentiertem Staub führen und so die im Staubsammelbecher anfallende Cadmiummenge erhöhen.

Wohndichte im Probenahmeraum

Mit steigender Anzahl der Personen, die sich im allgemeinen im Probenahmeraum aufhalten, steigt der Cadmiumniederschlag an; mit steigender Grundfläche des Raumes nimmt er ab. Bezieht man die Personenzahl auf die Grundfläche des Probenahmeraumes, so erhält man einen wirksamen Prädiktor, der beide Effekte in sich vereinigt, und - bezogen auf die von den 25- bis 69jährigen Erwachsenen der Gesamtstichprobe am häufigsten genutzten Wohnräume - einen Anteil von 3,4 % der Varianz erklärt. In den alten Bundesländern sind es 3,9 %, während in den neuen Ländern mit diesem Prädiktor lediglich 0,9 % der Varianz erklärt werden. Der regional unterschiedliche Einfluß des Prädiktors kann möglicherweise damit erklärt werden, daß, obwohl im Westen mit $11,4 \pm 7,0 \text{ m}^2/\text{Person}$ zwar durchschnittlich deutlich geringere Wohndichten zu beobachten sind als im Osten mit nur $8,5 \pm 4,4 \text{ m}^2/\text{Person}$ (arithmetische Mittelwerte und Standardabweichung), in den neuen Bundesländern der Wohnraum gleichmäßiger verteilt ist, während es in den alten Ländern größere Unterschiede innerhalb der erwachsenen Bevölkerung gibt, erkennbar an der relativ höheren Standardabweichung.

Mit pro Fläche zunehmender Zahl von Personen, die den Probenahmeraum nutzen, kann sich der Eintrag von Staub aus anderen Räumen der Wohnung sowie aus der Wohnumgebung (Eintrag von cadmiumhaltigem Straßenstaub) erhöhen und damit - ebenso wie eine durch verstärkte Raumnutzung bedingte Aufwirbelung von Staub auf dem Boden - zu einer Zunahme der Cadmiumniederschlagsrate führen.

Aufenthaltsdauer des Probanden im Probenahmeraum

Obwohl auf der bivariaten Ebene zwischen der Wohndichte und der Aufenthaltsdauer des Probanden eine deutliche und signifikante Korrelation ($r = 0,12$) besteht, ergibt sich aus der Regressionsanalyse, daß neben der Wohndichte auch die Aufenthaltsdauer ein Prädiktor ist, der einen eigenständigen Beitrag zur Varianzaufklärung liefert. Mit jeder Stunde Verlängerung des täglichen Aufenthaltes im Probenahmeraum steigt der Cadmiumniederschlag um ca. 4 % an.

Mit zunehmender Aufenthaltsdauer des Probanden im Probenahmeraum kann es zu einer verstärkten Aufwirbelung von Staub vom Boden und damit zu einer erhöhten Cadmiumniederschlagsrate kommen. Als eine weitere mögliche Ursache ist auch die stärkere Beanspruchung von eventuell vorhandenen Bodenbelägen zu berücksichtigen, die - sofern sie Kunststoffe oder Gummi enthalten - mit cadmiumhaltigen Stabilisatoren und Pigmenten versetzt sein können (Ewers und Wilhelm 1995, Kim und Fergusson 1993, Voigt 1978). Für eine Reihe mit Cadmiumverbindungen eingefärbter Kunststoffe bestehen zwar inzwischen Einsatzbeschränkungen

oder -verbote, diese traten jedoch z. T. erst nach der Datenerhebung des Umwelt-Surveys Mitte 1994 in Kraft (Chemikalienverbotsverordnung 1993).

Anzahl der im Probenahmeraum gerauchten Zigaretten

Bei der Analyse der korporalen Schadstoffbelastung mit Cadmium (vgl. Kapitel 6 und 7) erweist sich das Rauchen von Zigaretten als die dominierende Einflußgröße. Für den Staubniederschlag ist ein geringerer Effekt zu erwarten, da sich durch das Rauchen erzeugter Tabakrauch und Staub mehr oder weniger gleichmäßig über die Wohnfläche des Probenahmeraums verteilen sollte. Nach Schenker (1984) finden sich 52,4 % des Cadmiums einer brennenden Zigarette im Rauch wieder und könnten zur Erhöhung des Cadmiumniederschlags beitragen. Es ist bekannt, daß die Schwebstaubkonzentration in Innenräumen mit der Anzahl der dort gerauchten Zigaretten steigt (Englert 1989). Zu prüfen ist, ob dies auch für Niederschlagstaub gilt.

Wenn die Anzahl der im Raum pro Tag gerauchten Zigaretten auf die Größe des Probenahmeraums bezogen wird, erhält man einen Prädiktor, der für die erwachsene Bevölkerung 1,7 % der Varianz erklärt (alte Länder: 1,6 %; neue Länder: 3,4 %). Der starke regionale Unterschied im Einfluß des Prädiktors dürfte mit dem bereits (Kapitel 6.1.3) diskutierten höheren Cadmiumgehalt einer häufig gerauchten Zigarettenmarke der ehemaligen DDR erklärbar sein.

Die Zunahme der Cadmiumniederschlagsrate in Probenahmeräumen, in denen geraucht wird, ist auf den Cadmiumgehalt des Tabaks zurückzuführen. So enthält der Rauch einer Zigarette bis zu 0,35 µg des Metalls (Fishbein 1991), nach einer Untersuchung von 10 deutschen Zigarettenmarken 0,03 bis 0,08 µg (Schmidt et al. 1985), wobei die Konzentration im Tabak auch vom Cadmiumgehalt des landwirtschaftlich genutzten Bodens abhängt. So wurde für Tabak, der auf klärschlammgedüngtem Boden wuchs, eine Konzentration von 5,33 ppb Cadmium gemessen, während auf cadmiumarmen Böden gezogene Pflanzen nur einen Gehalt von 1,87 ppb aufwiesen (Bache et al. 1985).

Pflanzen im Probenahmeraum

Bereits im Rahmen der deskriptiven Auswertung des Umwelt-Surveys 1990/92 wurde ein signifikanter Effekt von Pflanzen im Probenahmeraum auf den Cadmiumniederschlag nachgewiesen. Befinden sich „viele“ Pflanzen im Raum, dann beträgt der geometrische Mittelwert 10,4 ng Cadmium/(m² * Tag). Sind dagegen keine oder nur „wenige“ Pflanzen vorhanden, dann ist der entsprechende Wert 12,4 bzw. 12,2 ng Cadmium/(m² * Tag). Ein von diesem Merkmal abgeleiteter Prädiktor erklärt 0,5 % der Varianz in der Gesamtstichprobe bzw. 0,6 % für die Teilstichprobe der 25- bis 69jährigen westdeutschen Bevölkerung. In den neuen Bundesländern ist der Prädiktor nicht signifikant, obwohl der Anteil der Probanden, die angaben, „viele“ Pflanzen im Staubsammelzimmer zu pflegen, mit 29 % und 30 % sich in den neuen und alten Bundesländern

kaum unterscheidet. Da der beobachtete Effekt wahrscheinlich durch Adsorption des cadmiumhaltigen Niederschlagstaubs an die Blattoberfläche verursacht wird, ist - bei zahlenmäßig gleichem Pflanzenbestand - davon auszugehen, daß der Unterschied in der Art der jeweils präferierten Pflanzenarten liegt.

Das Vorhandensein vieler Pflanzen im Probenahmerraum beeinflusst, wie sich in der bivariaten Analyse zeigt, neben der Cadmiumniederschlagsrate auch die Niederschlagsraten einer Reihe weiterer Elemente sowie die Gesamtstaubniederschlagsrate (Friedrich et al. in Vorbereitung). Da jedoch kein Zusammenhang zwischen der Konzentration dieser Elemente im Staubniederschlag und der An- oder Abwesenheit von Pflanzen im Raum nachweisbar ist, muß davon ausgegangen werden, daß die Zu- bzw. Abnahme der Cadmiumniederschlagsrate allein auf die Änderung der Gesamtstaubniederschlagsrate zurückzuführen ist.

Schmutz an der Arbeitskleidung

Das Merkmal „momentane Arbeitsbedingung: Schmutz an der Arbeitskleidung“ erlaubt die Bildung eines Prädiktors, der sowohl für die Wohnräume der 25- bis 69jährigen Bevölkerung der alten Bundesländer als auch der gesamten Bundesrepublik einen signifikanten Beitrag zur Varianzaufklärung liefert (0,8 % bzw. 1,0 %). Für die neuen Bundesländer ist der Prädiktor nicht signifikant.

Der Eintrag von Metallen in den Hausstaub durch Staub und Schmutz an der Kleidung, die auch am Arbeitsplatz getragen wird, konnte am Beispiel des Bleis schon Mitte der siebziger Jahre aufgezeigt werden (Archer und Barratt 1976). In Bezug auf eine Cadmiumexposition am Arbeitsplatz wurden im Umweltsurvey zwar auch andere, genauer spezifizierte Variable geprüft, so z. B. die Frage nach dem Umgang mit Cadmiumverbindungen am Arbeitsplatz, diese erwiesen sich jedoch wegen fehlender Signifikanz als Prädiktor nicht geeignet. Als Ursache für das Fehlen des Prädiktors „Schmutz an der Arbeitskleidung“ im Modell für die 25- bis 69jährige Bevölkerung in den neuen Ländern kommt zum einen die ohnehin höhere Cadmiumniederschlagsrate in Betracht, so daß der Eintrag über die Kleidung nicht mehr ins Gewicht fällt, zum anderen ist es denkbar, daß aufgrund einer höheren Arbeitslosigkeit weniger Probanden die Frage nach Schmutz auf der Arbeitskleidung bejahen konnten.

9.1.2 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale

Im Rahmen der Regressionsanalysen wurde eine weitere Anzahl von Meß- und Fragebogenvariablen auf ihre Brauchbarkeit als Prädiktoren für Cadmium im Staubniederschlag geprüft.

Region und Wohnungsumfeld

Der **Cadmiumniederschlag in der Außenluft** hatte einen signifikanten, aber geringen Einfluß auf die Cadmiumkonzentration der Staubprobe. Da sich jedoch die insgesamt aufgeklärte Varianz nicht erhöhte, wurde dieser Prädiktor nicht verwendet. Neben dem Cadmiumniederschlag in der Außenluft wurde eine Reihe weiterer regionaler Merkmale geprüft. Dazu gehören die **Gemeindegröße**, das **Wohngebiet**, die **Bebauungsart** sowie Art, Umfang und Entfernung von **Industrie- und Gewerbe in der Wohnumgebung**. Von Interesse war hier besonders die Nähe von Müllverbrennungs- und Kläranlagen als potentielle Cadmiumemittenten. Aus keinem dieser Merkmale ließen sich signifikante Prädiktoren ableiten.

Auch im Regressionsmodell des 1. Umwelt-Surveys wurden keine regionalen Merkmale verwendet.

Häuslicher Bereich

Im häuslichen Bereich wurden weitere Merkmale auf ihre Verwendbarkeit zur Erklärung der Varianz getestet wie die **Wohndauer** in der momentanen Wohnung, **Wohnbesitz**, die Verwendung von **Luftverbesserern** oder zusätzliche **Lüftungsmöglichkeiten** in der Wohnung, die Existenz eines **Gartens** bei der Wohnung, ohne daß aus diesen Merkmalen geeignete Prädiktoren gebildet werden konnten. Die Verwendung der subjektiven Angaben zur **Luftqualität in der Wohnung** ergab eine geringe Erhöhung des aufgeklärten Varianzanteils um 0,2 %.

Merkmale des Probenahmeraums

Weitere Merkmale, von denen eine Beeinflussung des externen Staubeintrags (**Straße vom Probenahmeraum aus sichtbar**, Anzahl der **Fahrspuren** und **Entfernung** dieser Straße, **Stockwerk**, in dem sich der Probenahmeraum befindet, Art, Ausrichtung und Dichtigkeit der **Fenster**) oder der internen Bildung von Staub (**Art des Raums**, **Bodenbelag**) angenommen werden konnte, wurden geprüft, ohne daß sich durch ihre Verwendung die Varianzaufklärung erhöhte.

Arbeitsplatz und soziale Stellung

Zusätzlich zum Merkmal „Schmutz an der Arbeitskleidung“ wurde eine Reihe von weiteren Arbeitsplatzvariablen geprüft, wie das Vorfinden von **Cadmium am Arbeitsplatz** oder anderer Substanzen am Arbeitsplatz sowie die üblichen Aufenthaltsorte und -zeiten während der Arbeit. Mit Ausnahme des Merkmals „Schmutz an der Arbeitskleidung“ konnten hieraus keine geeigneten Prädiktoren abgeleitet werden. Dies kann durch die geringe Fallzahl beruflich Exponierter bedingt sein. So gaben lediglich 5 Probanden der Stichprobe an, „sehr häufig bzw. immer“ Cadmium am Arbeitsplatz vorzufinden; bei den Antworten „häufig“ und „gelegentlich/selten“ waren es nur 16 und 63 Probanden.

9.2 Cadmiumniederschlag in den Wohnräumen der Kinder

Für die multivariate statistische Auswertung des Cadmiumniederschlags in den Wohnräumen der Kinder wurde der im Anhang (Abschnitt 14.4) beschriebene Satz von Merkmalen zugrunde gelegt. Die Prüfung der Merkmale auf ihre Eignung als Prädiktoren erfolgte wiederum hypothesenorientiert. Nach Durchführung von schrittweisen Regressionsanalysen (vgl. Kapitel 5.4) sind aus den geprüften Merkmalen vier Prädiktoren hergeleitet worden, mit denen 12,7 % der Varianz des Cadmiumniederschlags erklärt werden (Tabelle 9.3). Wegen der geringen Fallzahl wurde keine getrennte Modellierung für die alten und neuen Bundesländer durchgeführt. Im 1. Umwelt-Survey (1985/86) wurde kein Modell für die Kinder berechnet.

Tab. 9.3: Prädiktoren und Varianzaufklärung für den Cadmiumniederschlag in Wohnräumen der Kinder

Prädiktoren			
Z₁ = Quadratwurzel des Alters des Wohnhauses in Jahren			
Z₂ = natürlicher Logarithmus der Personenzahl pro m² in der Wohnung			
Z₃ = natürlicher Logarithmus der Anzahl der im Haushalt lebenden Kinder			
Z₄ = Zustand des Gesichts nach Spielen (0 = völlig/ziemlich sauber, 1 = etwas/sehr schmutzig)			
Prä- dik- to- ren	Deutschland		
	aufgeklärte Varianz : 12,7 %		
	nach Korrektur : 12,1 %		
	n = 582		
	β	r	βr · 100 %
Z ₁	0,096	0,142	1,4 %
Z ₂	0,272	0,312	8,5 %
Z ₃	0,100	0,158	1,6 %
Haus/Wohnung (Z₁ - Z₃)			
Varianzanteile			11,5 %
Z ₄	0,096	0,132	1,3 %
individuelle Merkmale (Z₄)			
Varianzanteile			1,3 %

Anmerkungen: n = Stichprobenumfang ; β = standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell); r = Korrelation zwischen Prädiktor und Zielgröße Y (Maß für die Stärke des bivariaten Zusammenhangs); βr · 100 % = der dem Prädiktor zuzuordnende Anteil an der Varianz (Summe über alle Prädiktoren ergibt den durch das Modell aufgeklärten Varianzanteil)

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

9.2.1 Diskussion der Prädiktoren

Alter des Wohnhauses

Ebenso wie bei den Erwachsenen ergibt das Merkmal „Alter des Wohnhauses“ auch für die Stichprobe der Kinder einen signifikanten Prädiktor, der 1,4 % der Varianz zu erklären vermag. Im Unterschied zu den Erwachsenen wurde hier zur Optimierung des Prädiktors nicht der Logarithmus, sondern die Quadratwurzel als Transformation verwendet. Dieser Unterschied ergibt sich durch eine etwas abweichende Verteilung des Hausalters: die Haushalte der Stichprobe, in denen Kinder leben, befinden sich durchschnittlich häufiger in neueren Häusern als Haushalte ohne Kinder (38 bzw. 47 Jahre).

Wie bereits in Kapitel 9.1.1 ausführlicher beschrieben, gibt es einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Alter des Wohnhauses und der Verwendung von cadmiumhaltigen Baumaterialien.

Wohndichte im Haushalt

Je mehr Personen sich in der Wohnung des Probanden aufhalten, desto höher ist der Cadmiumniederschlag. Im Gegensatz zu den Erwachsenen, wo aus der Anzahl der Personen, die sich im allgemeinen im Probenahmeraum aufhalten, ein signifikanter und aussagekräftigerer Prädiktor abgeleitet werden konnte als bei der Verwendung des Merkmals „Anzahl der Personen im Haushalt“ (beide bezogen auf die jeweilige Grundfläche), ergab die Regressionsanalyse bei den Kindern mit der Belegungsdichte im Haushalt einen wesentlich stärker wirkenden Prädiktor (8,5 %) als die entsprechende Belegungsdichte im Probenahmeraum (3,5 %). Die Erklärung für diesen zunächst überraschenden Befund ist möglicherweise darin zu sehen, daß die Frage „Wie viele Personen halten sich außer Dir/Ihnen im allgemeinen in diesem Raum auf?“ wohl selten ebenso präzise zu beantworten ist wie die Frage nach der Anzahl der im gleichen Haushalt lebenden Personen, besonders dann, wenn der Proband ein Kind ist.

Mit zunehmender Belegungsdichte der Wohnung (und damit i.a. des Probenahmeraums) kann sich die Menge des von außen eingetragenen cadmiumhaltigen Staubs wie auch die Aufwirbelung von bereits vorhandenem Staub erhöhen.

Anzahl der zusätzlich im Haushalt lebenden Kinder

Auch die Anzahl der außer dem Probanden im Haushalt lebenden Kinder bis 14 Jahre erhöht die Cadmiumniederschlagsrate im Probenahmeraum. Ein von diesem Merkmal abgeleiteter Prädiktor erklärt 1,6 % der Varianz.

Wie bereits in Kapitel 9.1.1 diskutiert wurde, kann bei Kindern von einem Eintrag von cadmiumhaltigen Staub in die Wohnung ausgegangen werden. Diese Annahme wird auch durch den folgenden Prädiktor gestützt.

Verschmutztes Gesicht nach dem Spielen

Den Kindern der Stichprobe wurde folgende Frage gestellt: „Wie sehen Deine Kleider, Dein Gesicht und Deine Hände i. a. aus, wenn Du nach dem Spielen nach Hause kommst?“. Die drei damit erfaßten Merkmale können als Indikatoren für den Schmutzeintrag durch das Kind verwendet werden; doch nur der „Zustand des Gesichts nach dem Spielen“ hat einen signifikanten Effekt auf den Cadmiumniederschlag. Der entsprechende Prädiktor erklärt 1,3 % der Varianz.

9.2.2 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale

Region und Wohnungsumfeld

Neben dem Cadmiumniederschlag in der Außenluft wurde eine Reihe weiterer regionaler Merkmale geprüft. Dazu gehören - außer **Alte/Neue Bundesländer** - die **Gemeindegröße**, das **Wohngebiet**, die **Bebauungsart** sowie Art, Umfang und Entfernung von **Industrie- und Gewerbe in der Wohnumgebung**. Von Interesse war hier besonders die Existenz von Müllverbrennungs- und Kläranlagen als potentielle Cadmiumemittenten. Aus keinem dieser Merkmale ließen sich signifikante Prädiktoren ableiten.

Häuslicher Bereich

Ebenso wie bei den Erwachsenen wurden weitere Merkmale von Haus und Wohnung auf ihre Verwendbarkeit zur Erklärung der Varianz getestet wie die **Wohndauer**, **Wohnbesitz**, die Verwendung von **Luftverbesserern** oder zusätzlichen **Lüftungsmöglichkeiten** in der Wohnung und die Existenz eines **Gartens** bei der Wohnung,

ohne daß aus diesen Merkmalen geeignete Prädiktoren gebildet werden konnten. Im Gegensatz zu den Erwachsenen hatte das Merkmal **Tiere in der Wohnung** keinen signifikanten Effekt auf die Cadmium-Niederschlagsrate.

Merkmale des Probenahmeraums

Weitere Merkmale, von denen eine Beeinflussung des externen Staubeintrags (**Straße vom Probenahmeraum aus sichtbar**, Anzahl der **Fahrspuren** und **Entfernung** dieser Straße, **Stockwerk**, in dem sich der Probenahmeraum befindet, Art, Ausrichtung und Dichtigkeit der **Fenster**) oder einer internen Bildung von Staub (**Art des Raums**, **Bodenbelag**) angenommen werden konnte, wurden geprüft, ohne daß sich durch ihre Verwendung die Varianzaufklärung des Cadmiumniederschlags erhöhte. Die Merkmale **Aufenthaltsdauer** und Anzahl der **Pflanzen** ergaben ebenso wie die verschiedenen Rauchmerkmale (**Rauchen im Raum**: (ja/nein), **Anzahl der Raucher** und der **gerauchten Zigaretten**) geringe, jedoch - im Gegensatz zu den Erwachsenen - nicht signifikante Varianzaufklärungsanteile.

Individuelle Merkmale

Im Kinder- und Jugendlichenfragebogen des Umwelt-Surveys wurden außer den bereits erwähnten Fragen zu Schmutz an Kleidung, Händen und Gesicht nach dem Spielen weitere kinderspezifische Merkmale erhoben, von denen eine Erhöhung des Cadmiumniederschlags im Probenahmeraum vermutet werden konnte, so die Aufenthaltsdauer des Probanden im Freien (**Spielplatz**, auf der **Straße** und im **Verkehr**, im **Grünen**) sowie spezielle Aktivitäten (**Buddeln**, **Graben**, **Höhlenbauen**, **Malen mit gelber Farbe**). Keines dieser Merkmale konnte die Varianzaufklärung nachweislich verbessern.

10 Cadmium im Hausstaub (Staubsaugerbeutelinhalt)

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der multivariaten statistischen Auswertung für die Cadmiumkonzentrationen im Hausstaub (Staubsaugerbeutelinhalt) behandelt. Um die bei den eingesetzten statistischen Verfahren teilweise nötige Voraussetzung der Normalverteilung für die Zielgröße zu gewährleisten, werden die Cadmiumkonzentrationen logarithmisch transformiert.

Es werden die Ergebnisse der Regressionsanalysen für alle Erwachsenen (25 bis 69 Jahre) des Umwelt-Surveys 1990/92, für die Staubsaugerproben vorlagen, vorgestellt.

Bei der multivariaten statistischen Auswertung für Cadmium im Hausstaub (Staubsaugerbeutel) wurde der im Anhang (Abschnitt 14.4) beschriebene Satz von Merkmalen verwendet, der bereits für die Zusammenhangsanalyse des Cadmiumgehalts in den anderen Medien zur Verfügung stand. Die Prüfung der Merkmale auf ihre Eignung als Prädiktoren der Cadmiumkonzentration erfolgte hypothesenorientiert. Nach Durchführung von schrittweisen Regressionsanalysen (vgl. Kapitel 5.4), die zunächst für die alten und neuen Bundesländer getrennt durchgeführt wurden, sind aus den im Anhang (Abschnitt 14.4) beschriebenen per Fragebogen bzw. Messung erhobenen Merkmale 8 Prädiktoren hergeleitet worden, die in Tabelle 10.1 definiert sind.

Mit 7 Prädiktoren lassen sich 4,6 % der Varianz im Gesamtmodell erklären. Bei getrennter Modellierung für die alten und neuen Bundesländer sind mit sechs bzw. vier Prädiktoren 8,1 % bzw. 6,6 % der Varianz erklärbar. Die entsprechende Varianzaufklärung des 1. Umwelt-Surveys 1985/86 (nur alte Bundesländer) war 7,8 % bei der Verwendung von fünf Prädiktoren (Schwarz et al. 1993).

Tab. 10.1: Prädiktoren und Varianzaufklärung für die Cadmiumkonzentration im Staubsaugerbeutelinhalt

Prädiktoren									
Z₁ = natürlicher Logarithmus des Cadmiumniederschlags ($\mu\text{g}/(\text{m}^2 \text{ Tag})$) in der Außenluft Z₂ = Größe der Gemeinde (ab 20 000 Einwohner = 0, unter 20 000 Einwohner = 1) Z₃ = Art des Wohngebiets (städtisch = 0, Land/ländlich/vorstädtisch = 1) Z₄ = natürlicher Logarithmus des Alters des Wohnhauses in Jahren Z₅ = Wohndichte im Haushalt (ab 32 m ² /Person = 0, unter 32 m ² /Person = 1) Z₆ = auch außerhalb der Wohnung gesaugt (nein = 0, ja = 1) Z₇ = Anzahl der Wochen, die der Beutel im Staubsauger war (bis zu 4 Wochen = 0, länger als 4 Wochen = 1) Z₈ = mittlere Tageshöchsttemperatur während der Probenahme (°C)									
	Deutschland			Alte Bundesländer			Neue Bundesländer		
Prä- dik- to- ren	aufgeklärte Varianz : 4,6 %			aufgeklärte Varianz : 8,1 %			aufgeklärte Varianz : 6,6 %		
	nach Korrektur : 4,4 %			nach Korrektur : 7,8 %			nach Korrektur : 6,3 %		
	n = 3548			n = 2184			n = 1363		
	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$	β	r	$\beta r \cdot 100 \%$
Z₁	0,046	0,028	0,1 %	-0,064	-0,068	0,4 %	0,211	0,191	4,1 %
Z₂	0,080	0,066	0,5 %	0,057	0,085	0,5 %	-	-	n.s.
Z₃	0,041	0,068	0,3 %	-	-	n.s.	0,084	0,090	0,8 %
Region und Wohnumgebung (Z₁ - Z₃)									
Varianzanteile	0,9 %			0,9 %			4,9 %		
Z₄	0,058	0,051	0,3 %	0,046	0,016	0,1 %	0,072	0,111	0,8 %
Z₅	-	-	n.s.	-	-	n.s.	0,100	0,100	1,0 %
Haus/Wohnung (Z₄ - Z₅)									
Varianzanteile	0,3 %			0,1 %			1,8 %		
Z₆	0,042	0,068	0,3 %	0,042	0,083	0,4 %	-	-	n.s.
Z₇	0,044	0,049	0,2 %	0,058	0,061	0,3 %	-	-	n.s.
Z₈	0,170	0,169	2,9 %	0,253	0,254	6,4 %	-	-	n.s.
Probenahme (Z₆ - Z₈)									
Varianzanteile	3,4 %			7,1 %			n.s.		

Anmerkungen: n = Stichprobenumfang ; β = standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell); r = Korrelation zwischen Prädiktor und Zielgröße Y (Maß für die Stärke des bivariaten Zusammenhangs); $\beta r \cdot 100 \%$ = der dem Prädiktor zuzuordnende Anteil an der Varianz (Summe über alle Prädiktoren ergibt den durch das Modell aufgeklärten Varianzanteil); n.s. = nicht signifikant

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

10.1 Diskussion der Prädiktoren

Cadmiumniederschlag in der Außenluft

Der Prädiktor Cadmiumniederschlag in der Außenluft hat für die Varianzaufklärung der Gesamtstichprobe nur eine geringe Bedeutung (0,1 %), während er für die neuen Länder mit 4,1 % erklärter Varianz den wichtigsten Prädiktor bildet. In den alten Bundesländern beträgt dieser Wert 0,4 %.

Der Beitrag externer Quellen zum Cadmiumgehalt im Hausstaub, der sich in dem Prädiktor „Cadmiumniederschlag in der Außenluft“ widerspiegelt, entspricht insofern den Ergebnissen anderer Untersuchungen, als dort ebenfalls keine dominierende Cadmiumquelle innerhalb des Haushaltes identifiziert werden konnte (Kim und Fergusson 1993). Vielmehr werden Zusammenhänge zwischen dem Cadmiumgehalt im Hausstaub und in Bodenproben aus der Wohnumgebung (Davies et al. 1985) bzw. im Straßenstaub (Madany et al. 1994) nachgewiesen. Der relativ hohe Beitrag, den der Prädiktor in den neuen Bundesländern leistet, kann einerseits auf die dort höhere Cadmiumemission (1990: 21 t gegenüber 9 t in den alten Ländern; UBA 1997), andererseits auf eine große Variationsbreite der Emission an verschiedenen Standorten (Marquardt et al. 1990) zurückzuführen sein.

Gemeindegrößenklasse und Wohngebiet

Die Gemeindegrößenklasse und die Art des Wohngebiets ergeben zwei schwache, aber signifikante Prädiktoren mit unterschiedlicher regionaler Wirkung. Wird die Gemeindegrößenklasse binär codiert (ab 20 000 Einwohner = 0, unter 20 000 Einwohner = 1), dann können mit diesem Prädiktor für die Gesamtstichprobe sowie für die Teilstichprobe der alten Bundesländer jeweils 0,5 % der Varianz erklärt werden. Im Gegensatz dazu ist die Art des Wohngebiets (städtisch = 0, Land/ländlich/vorstädtisch = 1) für die gesamte Bundesrepublik und die neuen Länder signifikant.

Für den in Gemeinden mit weniger als 20 000 Einwohnern und in ländlichen bzw. vorstädtischen Wohngebieten höheren Cadmiumgehalt im Hausstaub muß als Ursache in Betracht gezogen werden, daß dort Ein- und Zweifamilienhäuser häufiger vorkommen als in größeren Gemeinden und infolge eines geringeren Abstandes zwischen der Straße und dem Wohnhaus ein stärkerer Eintrag an Straßenstaub in die Wohnung erfolgen dürfte. Möglicherweise erhöht auch der Eintrag von Bodenpartikeln, die von landwirtschaftlich genutzten Flächen stammen und mit cadmiumhaltigem Phosphatdünger (Ewers und Wilhelm 1995) oder Klärschlamm behandelt wurden, die Cadmiumkonzentration im Hausstaub.

Alter des Wohnhauses

Ebenso wie für den Cadmiumgehalt des Staubniederschlags ist das Alter des Wohnhauses für die Cadmiumkonzentration der Staubsaugerprobe ein geeigneter Prädiktor. Der stärkere Einfluß des Prädiktors in der Stichprobe der neuen Ländern wird verständlich, wenn man das Alter der Wohnhäuser in beiden Teilgebieten betrachtet. Hatten die Wohnhäuser der West-Stichprobe ein mittleres Alter von 42 Jahren, so waren es im Osten 48 Jahre. Bereits im Rahmen der deskriptiven Auswertung des Umwelt-Surveys 1990/92 wurden signifikant höhere Cadmiumniederschläge in älteren Wohnhäusern nachgewiesen (Friedrich et al. in Vorbereitung). Wohnräume in Häusern, die vor 1949 erbaut wurden, weisen eine etwa um 38 % höhere Cadmiumniederschlagsrate auf als solche, die 1981 oder später erbaut wurden.

Wie bereits in Kapitel 9.1.1 ausführlicher beschrieben, gibt es einen möglichen Zusammenhang zwischen dem Alter des Wohnhauses und der Verwendung von cadmiumhaltigen Baumaterialien.

Wohndichte im Haushalt

Je mehr Personen sich in der Wohnung des Probanden aufhalten, desto höher ist die Cadmiumkonzentration. Ein von dem Merkmal „Wohndichte im Haushalt“ abgeleiteter Prädiktor erklärt für die Stichprobe der neuen Bundesländer einen Varianzanteil von 1,0 %.

Mit zunehmender Belegungsdichte der Wohnung (und damit i.a. des Probenahmerraums) kann sich die Menge des von außen eingetragenen cadmiumhaltigen Staubs wie auch die Aufwirbelung von bereits vorhandenem Staub erhöhen.

Saugen auch außerhalb der Wohnung / des Hauses

Wird auch außerhalb der Wohnung gesaugt, dann steigt die Cadmiumkonzentration des Staubes an. Der von diesem Merkmal abgeleitete Prädiktor ist für die gesamte Stichprobe und die alten Bundesländer signifikant, wenn auch von schwacher Wirkung. Für die neuen Länder konnte kein Effekt des Saugverhaltens auf die Cadmiumkonzentration nachgewiesen werden. Allerdings ist der Anteil der Probanden, die angaben, auch außerhalb der Wohnung gesaugt zu haben, regional betrachtet sehr unterschiedlich: waren es im Westen knapp über 20 %, so waren es im Osten nur halb so viele.

Die höheren Cadmiumkonzentrationen in Proben, die auch außerhalb der Wohnung gesaugten Staub enthalten, sind ein weiterer Hinweis auf die Bedeutung des Eintrages von kontaminiertem Staub aus der Wohnumgebung. Insbesondere wenn der Eingangsbereich vor der Wohnungstür beim Saugen miterfaßt wird, ist dies für Ele-

mente, die im Straßenstaub angereichert sind, nachvollziehbar, wie in Studien am Beispiel des Bleis gezeigt werden konnte. So fanden Davies et al. (1987) im Staub, der sich unter den Fußmatten der beprobten Haushalte angesammelt hatte, die im Vergleich zu Proben aus den Innenräumen mit Abstand höchsten Bleikonzentrationen. Auch Feng und Barratt (1993) berichten über eine Untersuchung, bei der in den Eingangsbereichen von Häusern annähernd doppelt so hohe Konzentrationen wie im Wohnungsinnen gefunden wurden.

Verweildauer des Beutels im Staubsauger

Mit steigender Verweildauer des Staubsaugerbeutels im Staubsauger steigt die Cadmiumkonzentration des Beutelstaubs an. Wird dieses Merkmal in binärer Ausprägung (bis zu 4 Wochen = 0, länger als 4 Wochen = 1) als Prädiktor verwendet, dann können 0,2 % (Gesamt) bzw. 0,3 % (alte Länder) der Varianz erklärt werden. In den neuen Bundesländern ist das Merkmal nicht signifikant.

Mittlere Tageshöchsttemperatur während der Untersuchung

Die mittlere Tageshöchsttemperatur während der Probenahme ist der bedeutsamste Prädiktor für den Cadmiumgehalt im Staubsaugerbeutelinhalt. Bezogen auf die Gesamtstichprobe erklärt dieses Merkmal 2,9 % der Varianz; in den alten Bundesländern sind es sogar 6,4 %. Für die Staubproben aus den neuen Ländern ist die Tageshöchsttemperatur dagegen kein signifikanter Prädiktor. Der Grund für die unterschiedliche Wirkung des Merkmals ist vermutlich darin zu sehen, daß in den neuen Ländern 81 % der Proben während der Heizperiode gewonnen wurden, während es in den alten Ländern nur 64 % waren.

Dieser Prädiktor deutet auf einen Eintrag von cadmiumhaltigem Staub aus der Wohnumgebung hin. Hierbei kommt vor allem Straßenstaub in Frage, in dem das Element gegenüber Bodenproben angereichert ist. Als eine Quelle wurde der Kraftverkehr identifiziert, insbesondere der Reifenabrieb sowie die Korrosion metallischer Bauteile von Fahrzeugen tragen zur Anreicherung bei (Fergusson und Kim 1991, Harrison 1979). Die Temperaturabhängigkeit der Cadmiumkonzentration in Richtung höherer Werte bei erhöhten Temperaturen läßt auf einen Zusammenhang mit einer längeren Lüftungsdauer im Sommer und daher einem erhöhten Eintrag über die geöffneten Fenster schließen. Darüber hinaus ist auch ein erhöhter Eintrag über Schuhe oder Kleidung der Probanden infolge längerer Aufenthaltszeiten im Freien während der warmen Jahreszeit denkbar.

10.2 Diskussion weiterer geprüfter Merkmale

Region und Wohnungsumfeld

Weitere Merkmale, die im Rahmen der linearen Regressionsanalyse getestet wurden, waren die **Region** (Alte/Neue Bundesländer), Anzahl der **Einwohner pro Hektar**, die **Bebauungsart** sowie die Existenz von **Industrieanlagen und Gewerbebetriebe in der Wohnumgebung** (Art, Umfang und Entfernung). Von Interesse waren hier besonders Kläranlagen als potentielle Emittenten cadmiumhaltiger Stäube. Aus keinem dieser Merkmale ließen sich signifikante Prädiktoren ableiten.

Im Regressionsmodell des 1. Umwelt-Surveys wurden regionale Merkmale verwendet, die für die vorliegende Untersuchung nicht zur Verfügung standen: „industrielle Stickoxide-Emission in der Raumordnungsregion“, „Regionen mit großen Verdichtungsräumen“, „Regionen mit mittlerer Wirtschaftsdichte“ (Schwarz et al. 1993).

Häuslicher Bereich

Aus dem häuslichen Bereich wurden weitere Merkmale auf ihre Verwendbarkeit zur Erklärung der Varianz der Cadmiumkonzentration getestet wie die **Heizungsart**, die **Wohndauer** in der momentanen Wohnung, **Wohnbesitz**, die Verwendung von **Luftverbesserern** oder zusätzliche **Lüftungsmöglichkeiten** in der Wohnung, die Existenz eines **Gartens** bei der Wohnung, ohne daß aus diesen Merkmalen geeignete Prädiktoren gebildet werden konnten.

Arbeitsplatz und soziale Stellung

Die Datenerhebung des Umwelt-Surveys 1990/92 umfaßte eine Reihe von Merkmalen, die zur Abschätzung einer Cadmiumexposition am Arbeitsplatz geeignet sind. Dazu gehören Fragen nach dem Vorkommen von **Cadmium am Arbeitsplatz** und die **Berufstätigkeit in einer potentiell belasteten Branche**. Die Merkmale **Berufstätigkeit** (ja/nein), **berufliche Stellung**, **Haushaltseinkommen** und **Schulbildung** wurden ebenfalls in die Liste der potentiellen Prädiktoren aufgenommen. Von diesen Merkmalen konnten keine Prädiktoren abgeleitet werden.

11 Schlußbemerkungen

Die multivariaten statistischen Auswertungen zu den Cadmiumgehalten im Blut, Urin und Kopfhaar sowie im Hausstaub auf der Grundlage der Daten des Umwelt-Surveys 1990/92 haben die bisherigen Kenntnisse über expositionsrelevante Cadmiumquellen, Umgebungsbedingungen und Verhaltensweisen bestätigt und erweitert. Gegenüber den im Rahmen des 1. Umwelt-Surveys 1985/86 entwickelten Regressionsmodellen konnte die Varianzaufklärung der Modelle durch Ableitung neuer Prädiktoren verbessert werden. Zugleich wurde der Gültigkeitsbereich der Modelle erweitert. Erstmals wurden Daten zur Cadmiumbelastung aus den alten und neuen Bundesländern zusammen inferenzstatistisch ausgewertet und separate Regressionsmodelle für 6- bis 14jährige Kinder entwickelt.

Die umfangreiche Datenbasis (4021 Erwachsene im Alter von 25 bis 69 Jahren und 736 Kinder im Alter von 6 bis 14 Jahren) und die randomisierte Auswahl der Bruttostichprobe der Erwachsenen bei gleichzeitiger Wahrung der Populationsproportionen hinsichtlich beider Geschlechter und mehrerer Altersstufen und Gemeindegrößenklassen gewährleisteten die Repräsentativität der Ergebnisse und eine gute Absicherung der statistisch abgeleiteten Aussagen. Die Resultate der multivariaten Auswertung stellen die aus Einzelstudien an ausgewählten Bevölkerungsgruppen abgeleiteten Erkenntnisse auf eine sichere Grundlage und verifizieren bisherige Befunde als repräsentativ für die deutsche Wohnbevölkerung. Die wesentlichen Ergebnisse, die durch die Auswertung der Daten des Umwelt-Surveys belegt werden können, sind im folgenden aufgeführt.

Rauchen

- Der wichtigste Expositionspfad für die korporale Cadmiumbelastung ist das aktive Rauchen. Dabei spielt vor allem das häufige und andauernde Rauchen von Zigaretten mit und ohne Filter eine deutlich expositionserhöhende Rolle, während das Rauchen von Zigarren, Zigarillos, Stumpen und Pfeifen für die Cadmiumexposition der Allgemeinbevölkerung von eher vernachlässigbarer Bedeutung ist.
- Das Rauchen hat auf den Cadmiumgehalt im Blut und im Urin sowohl eine Kurzzeit- als auch eine Langzeitwirkung. Während beim Blutcadmiumgehalt die Kurzzeitkomponente mit einer Halbwertszeit von 3 Monaten dominiert und die Langzeitkomponente eine geringere Bedeutung hat, wird der Cadmiumgehalt im Urin mehr durch eine Langzeitkomponente (Halbwertszeit ca. 30 Jahre) beeinflusst.
- Die verschiedenartigen Informationen zum Rauchverhalten sind vor der multivariaten statistischen Auswertung zu einem Rauchindikator zusammenzufassen. Bei einem derartigen Vorgehen lassen sich statistische Modelle herleiten, die die Rauchbelastung sowohl der gegenwärtigen Raucher als auch der Exraucher adäquat erfassen.

- Das Passivrauchen hat keinen statistisch nachweisbaren Einfluß auf den Cadmiumgehalt im Blut und im Urin.
- Der Cadmiumgehalt im Haar eignet sich nicht als Indikator der individuellen Rauchbelastung.

Ernährung

- Die Ernährung als der für Nichtraucher wesentlichste Aufnahmepfad von Cadmium hat bei der statistischen Auswertung des Umwelt-Surveys keinen belegbaren Einfluß auf die Cadmiumgehalte im Blut und im Urin. Dies gilt gleichermaßen für Erwachsene und Kinder.
- Um den Einfluß der Ernährung auf die korporale Cadmiumbelastung quantifizieren zu können, ist eine noch detailliertere Abfrage von Verzehrshäufigkeiten und -mengen nötig, um sowohl den Konsum besonders cadmiumhaltiger Lebensmittel zu erfassen als auch die über alle Lebensmittel aufgenommene Cadmiummenge abschätzen zu können. Wegen der starken Variation des Cadmiumgehalts spezieller Lebensmittel in Abhängigkeit von Herkunft, Anbaugebiet, Herstellungsdatum, Verarbeitung und Säuberung sind ergänzende Informationen notwendig.

Lebensalter und Geschlecht

- Mit zunehmendem Lebensalter nimmt der Cadmiumgehalt im Urin zu. Dies gilt auch für Nichtraucher. Der Altersgang reflektiert die Langzeitwirkung der Cadmiumaufnahme über alle Expositionspfade.
- Der vom Rauchen unabhängige Einfluß des Lebensalters auf den Cadmiumgehalt im Urin ist bei Frauen deutlich stärker als bei Männern. Beim Cadmiumgehalt im Blut ist nur für Frauen ein vom Rauchen unabhängiger Altersgang nachweisbar.
- Für die 25- bis 69jährige Allgemeinbevölkerung sind keine signifikanten Geschlechtsunterschiede in den Cadmiumgehalten sowohl im Blut als auch im Urin festzustellen. Die durchschnittlich größere Rauchhäufigkeit, stärkere Rauchintensität und längere Rauchdauer bei Männern wird durch den stärkeren Einfluß des Lebensalters bei Frauen kompensiert. Für die 6- bis 14jährigen Mädchen wurden dagegen signifikant höhere Cadmiumgehalte im Urin (nicht jedoch im Blut) als für die gleichaltrigen Jungen gefunden.
- Im Kopfhair sind die Cadmiumgehalte von Männern bzw. Jungen signifikant höher als für Frauen bzw. Mädchen. Hier sind starke exogene Einflüsse zu vermuten.

Region, Wohnungsumfeld und häuslicher Bereich

- Für die Cadmiumgehalte im Blut sind regionale Merkmale und Merkmale des häuslichen Bereichs von vernachlässigbarer Bedeutung. Bei Cadmium im Urin ist ein geringer Einfluß des in der Außenluft gemessenen Cadmiumniederschlags feststellbar.
- In das Haar gelangt Cadmium vorwiegend durch exogene Anlagerung. Als Reflektor der häuslichen Cadmiumbelastung kann der im Hausstaub gemessene Cadmiumgehalt verwendet werden. Als Indikator für das bei der Haarwäsche und beim Duschen an das Haar angelagerte Cadmium kann der Cadmiumgehalt im häuslichen Trinkwasser angesehen werden.

Arbeitsplatzbelastungen

- In der vorliegenden Untersuchung kann statistisch kein Einfluß des Arbeitsplatzes und der beruflichen Tätigkeit auf den im Blut gemessenen Cadmiumgehalt nachgewiesen werden.
- Ist die berufliche Tätigkeit mit einem häufigen oder lang andauernden Aufenthalt in Fabrikhallen, Werkhallen, Werkstätten oder Lagerräumen verbunden, so sind höhere Cadmiumgehalte im Urin und im Haar nachweisbar.
- Da in eine repräsentative Bevölkerungsstudie, wie sie der Umwelt-Survey darstellt, beruflich hoch cadmiumexponierte Probanden nur vereinzelt einbezogen werden und der Grad ihrer Exposition durch übliche Fragebögen nur grob erfaßt werden kann, ist ein Vergleich mit speziellen Arbeitsplatzstudien nicht möglich.

Datenerhebung

Für künftige Studien sollte die hypothesengeleitete Entwicklung des **Fragebogens** beibehalten werden. Aus Gründen der Vergleichbarkeit ist eine Gleichartigkeit der Fragen wünschenswert, sollte jedoch nicht die Umsetzung neuer Erkenntnisse behindern. Als Schlußfolgerung aus den Ergebnissen der Studie könnte z. B. die Frage nach der Rauchhäufigkeit auf die zu erfragende Anzahl täglich gerauchter Zigaretten reduziert werden und die genaue Anzahl von Monaten seit Beendigung des Rauchens bei Exrauchern erfragt werden.

Nutzen der Studie

Die deskriptiven Ergebnisse des Umwelt-Surveys liefern repräsentative Daten zur Cadmiumbelastung der Wohnbevölkerung 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 wer-

den die Belastungspfade (Rauchen, Ernährung, häuslicher Bereich, Arbeitsplatz) identifiziert und bewertet. Hierdurch ist eine wesentliche Grundlage für die Einleitung belastungsverringender Maßnahmen geschaffen.

12 Literatur

- Abe, H., Watanabe, T., Ikeda, M.: Cadmium levels in the urine of female farmers in nonpolluted areas in Japan, *J. Tox. Environ. Health* 18 (1986) 357-367
- Ahmed, A.F.M., Elmubarak, A.H.: Assessment of trace elements in hair of a Saudi Arabian suburban adult male population, *Environ. Technol.* 12 (1990) 387-392
- Alessio, L.: Reference values for the study of low doses of metals, *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 65 (1993) 23-27
- Alessio, L., Apostoli, P., Ferioli, A.: Identification of reference values for metals in general population groups. The example of cadmium, *Toxicol. Environ. Chem.* 27 (1990) 39-48
- Alessio, L., Apostoli, P., Duca, P.G., Herber, R.F.M., Nordberg, G., Vesterberg, O.: Estimation of pooled reference values for cadmium in blood using meta-analysis and TRACY criteria, *Sci. Total Environ.* 152 (1994) 169-177
- Angerer, P., Kessel, R., Bencze, K., Tewordt, M., Mauermayer, R., Friesen, A.: Der Cadmiumgehalt biotisch gewonnener menschlicher Gewebe, *Zbl. Bakt. Hyg. B* 187 (1988) 18-30
- Archer, A., Barratt, R. S.: Lead Levels in Birmingham Dust, *Sci. Tot. Environ.* 6 (1976) 275-286
- Arnetz, B.B., Nicolich, M.J.: Modelling of environmental lead contributors to blood lead in humans, *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 62 (1990) 397-402
- Ashraf, W., Jaffar, M., Anwer, K., Ehsan, U.: Age- and sex-based comparative distributions of selected metals in the scalp hair of an urban population from two cities in Pakistan, *Environ. Pollution* 87 (1994) 61-64
- Aurand, K., Drews, M., Seifert, B.: A passive sampler for the determination of the heavy metal burden of indoor environments, *Environ. Technol. Letters* 4 (1983) 433-440
- Bache, C. A., Lisk, D. J., Doss, G. J., Hoffmann, D., Adams, J. D.: Cadmium and nickel in mainstream particulates of cigarettes containing tobacco grown on a low-cadmium soil-sludge mixture. *Environ. Health* 16 (1985) 547-552
- Balzer, D.: Eintrag von Blei, Cadmium und Quecksilber in die Umwelt, Bilanzen über Verbrauch und Verbleib, Band 1: Blei und Cadmium, Landesgewerbeanstalt Bayern, Bereich Technische Information, Umweltbundesamt, Forschungsbericht 106 01 047, 1996
- Beck, E.G., Schmidt, P.: Umweltmedizinische gruppendiagnostische Kinderuntersuchungen 1982-1990, Übersicht, *Zbl. Hyg.* 193, 5 (1993) 395-417
- 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 3/1996a
- Becker, K., Seiwert, M., Bernigau, W., Hoffmann, K., Krause, C., Nöllke, P., Schulz, C., Schwabe, R.: Umwelt-Survey 1990/92, Band VII: Quecksilber - Zusammenhangsanalyse, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, WaBoLu-Hefte 6/1996b
- Becker, K., Müssig-Zufika, M., Hoffmann, K., Krause, C., Meyer, E., Nöllke, P., Schulz, C., Seiwert, M.: Umwelt-Survey 1990/92, Band V: Trinkwasser, Deskription der Spurenelementgehalte im Haushalts- und

Wasserwerks-Trinkwasser der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, WaBoLu-Hefte 5/1997

Begerow, J., Freier, I., Turfeld, M., Krämer, U., Dunemann, L.: Internal lead and cadmium exposure in 6-year-old children from western and eastern Germany, *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 66 (1994) 243-248

Blanusa, M., Kralj, Z., Bunarecic A.: Interaction of cadmium, zinc and copper in relation to smoking habit, age and histopathological findings in human kidney cortex, *Arch. Toxicol* 58 (1985) 115-117

Bortz, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler. 4. Aufl., Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, 1993

Bosque, M.A., Domingo, J.L., Llobet, J.M., Corbella, J.: Cadmium in hair of school children living in Tarragona province, Spain, *Biol. Trace Element Res.* 28 (1991) 147-155

Brockhaus, A., Freier, I., Ewers, U., Jermann, E., Dolgner, R.: Levels of cadmium and lead in blood in relation to smoking, sex, occupation, and other factors in an adult population of the FRG, *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 52 (1983) 167-175

Brockhaus, A., Collet, W., Dolgner, R., Engelke, R., Ewers, U., Freier, I., Jermann, E., Krämer, U., Manojlovic, M., Turfeld, M., Winneke, G.: Exposure to lead and cadmium of children living in different areas of North-West Germany: Results of biological monitoring studies 1982 - 1986, *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 60 (1988) 211-222

Brumsack, H., Heinrichs, H., Lange, H.: West German coal power plants as sources of potentially toxic emissions. *Environ. Technol. Lett.*, 5 (1984) 7-22

Buchet, J.P., Lauwerys, R., Roels, H., Bernard, A., Bruaux, P., Claeys, F., Ducoffre, G., de Plaen, P., Staessen, J., Amery, A., Lijnen, P., Thijs, L., Rondia, D., Sartor, F., Saint Remy A., Nick, L.: Renal effects of cadmium body burden of the general population, *Lancet* 336 (1990) 699-702

Chatt, A., Katz, A.: Hair analysis. Applications in the biological and environmental sciences, VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim, 1988

Chattopadhyay, P.K., Joshi, H.C., Samaddar, K.R.: Hair cadmium level of smoker and non-smoker human volunteers in and around Calcutta City, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 45 (1990) 177-180

Chemikalienverbotsverordnung: Verordnung über Verbote und Beschränkungen des Inverkehrbringens gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse nach dem Chemikaliengesetz (ChemVerbotsV). BGBl. I (1993) 1720

Christensen, J.M.: Human exposure to toxic metals: Factors influencing interpretation of biomonitoring results, *Sci. Total Environ.* 166 (1995) 89-135

Chutsch, M., Krause, C.: Zusammenfassende Bewertung von Haaranalysen, in: Krause, C., Chutsch, M.: Haaranalyse in Medizin und Umwelt, Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene 71, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, 1987

Chutsch, M., Henke, M., Herman-Kunz, E., Krause, C., Rottka, H., Schwarz, E., Thefeld, W.: Vergleich korporaler Spurenelementgehalte bei Vegetariern und Nichtvegetariern, *Bundesgesundhbl.* 12 (1990) 564-572

Cumbrowsi, J.: Die Schwermetallbelastung des Menschen durch die Umwelt - Eine Betrachtung aus hygienischer Sicht, *Forum Städte-Hygiene* 42 (1991) 134-142

- Davies, B. E., Elwood, P. C., Gallacher, J., Ginnever, R. C.: The relationships between heavy metals in garden soils and house dusts in an old lead mining area of North Wales, Great Britain. *Environ. Pollut. (Series B)* 9 (1985) 255-266
- Davies, D. J. A., Watt, J. M., Thornton, I.: Lead levels in Birmingham dusts and soils, *Sci. Tot. Environ.* 67 (1987) 177-185
- DiPietro, E., Phillips, D.L., Paschal, D.C., Neese, J.W.: Determination of trace elements in human hair, reference intervals for 28 elements in nonoccupationally exposed adults in the US and effects of hair treatments, *Biol. Trace Element Res.* 22 (1989) 83-100
- Drasch, G., Kauert, G., von Meyer, L.: Cadmium body burden of an occupationally non burdened population in southern Bavaria (FRG), *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 55 (1985) 141-148
- Ducoffre, G., Claeys, F., Sartor, F.: Decrease in blood cadmium levels over time in Belgium, *Arch. Environ. Health* 47, 5 (1992) 354-356
- Elinder, C.G., Friberg, L., Lind, B., Jawaideh, M.: Lead and cadmium levels in blood samples from the general population of Sweden, *Environ. Research* 30 (1983a) 233-253
- Elinder, C.G., Kjellström, T., Lind, B., Linnemann, L., Piscator, M., Sundstedt, K.: Cadmium exposure from smoking cigarettes. Variations with time and country purchased, *Environ. Res.* 32 (1983b) 220-227
- Elinder, C.-G., Friberg, L., Kjellström, T., Nordberg, G., Oberdoerster, G.: Biological monitoring of metals, *Chemical Safety Monographs*, WHO, Genf, 1994
- Englert, N.: Untersuchungen in Berlin über Zusammenhänge zwischen Luftverunreinigungen und obstruktiver Bronchitis bei Kindern, in: *Gesundheit und Umwelt '89*, BGA-Schriften 1/89, München, MMV Medizin Verlag, 1989
- Ewers, U.: Untersuchungen zur Cadmiumbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1990
- Ewers, U., Wilhelm, M.: Metalle/Cadmium, in: Wichmann, H.E., Schlipköter, H.W., Füllgraff, G. (Hrsg.): *Handbuch der Umweltmedizin*, 6. Ergänzungslieferung, Ecomed Verlag, Landsberg, 1995
- Ewers, U., Brockhaus, A., Dolgner, R., Freier, I., Jermann, E., Bernard, A., Stiller-Winkler, R., Hahn, R., Manojlovic, N.: Environmental exposure to cadmium and renal function of elderly women living in cadmium-polluted areas of the Federal Republic of Germany, *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 55 (1985) 217-239
- Ewers, U., Freier, I., Krämer, U., Jermann, E., Brockhaus, A.: Schwermetalle im Staubbiederschlag und Boden und ihre Bedeutung für die Schwermetallbelastung von Kindern, *Staub-Reinh. der Luft* 48 (1988) 27-33
- Ewers, U., Freier, I., Turfeld, M., Brockhaus, A., Hofstetter, I., König, W., Leisner-Saaber, J., Delschen, T.: Untersuchungen zur Schwermetallbelastung von Böden und Gartenprodukten aus Stolberger Hausgärten und zur Blei- und Cadmiumbelastung von Kleingärtnern aus Stolberg, *Gesundh.-Wes.* 55 (1993) 318-325
- Feng, Y., Barratt, R. S.: An assessment of data of trace elements in indoor and outdoor dusts, *Int. J. Environ. Health Res.* 3 (1993) 18-31
- Fergusson, J. E., Kim, N. D.: Trace elements in street and house dusts: sources and speciation, *Sci. Total Environ.* 100 (1991) 125-150
- Fiedler, H. J., Rösler, H. J.: Spurenelementemissionen aus Kraftwerken und Abfallverbrennungsanlagen, in: Fiedler, H. J., Rösler, H. J. (Hrsg.): *Spurenelemente in der Umwelt*. Gustav Fischer Verlag, Jena 1993, 161-170

- Fishbein, L.: Indoor Environments: The role of metals, in: Merian, E. (Hrsg.): Metals and their compounds in the environment - occurrence, analysis, and biological relevance, VCH, Weinheim 1991, 287-309
- Flanagan, P.R., McLellan, J., Haist, J., Cherian, G., Chamberlain, M.J., Valberg, L.S.: Increased dietary cadmium absorption in mice and human subjects with iron deficiency, *Gastroenterology* 74 (1978) 841-846
- Franzke, C., Ruick, G., Schmidt, M.: Untersuchungen zum Schwermetallgehalt von Tabakwaren und Tabakrauch, *Die Nahrung* 21 (1977) 417-428
- Fréry, N., Girard, F., Moreau, T., Blot, P., Sahoquillo, J., Hajem, S., Orssaud, G., Huel, G.: Validity of hair cadmium in detecting chronic cadmium exposure in general populations, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 50 (1993) 736-743
- Friberg, L., Vahter, M.: Assessment of exposure to lead and cadmium through biological monitoring, *Environ. Research* 30 (1983) 95-128
- Friberg, L., Kjellström, T., Nordberg, G.F.: Cadmium, in: Friberg, L., Nordberg, G.F., Vouk, V. (Eds): Handbook on the toxicology of metals, 2nd edition, Elsevier Science Publishers, 1986
- Friedrich, C., K. Becker, W. Bernigau, D. Helm, K. Hoffmann, C. Krause, C. Schulz and M. Seiwert: The German Environmental Survey (GerES) - Trace Elements in Domestic Dust in the FRG. In: In: Abstracts of the 6th NORDIC SYMPOSIUM: Trace Elements in Human Health and Disease, June 29 July 3, 1997, Roskilde University, Denmark, p. 30.
- Friedrich, C., D. Helm, K. Becker, K. Hoffmann, C. Krause, P. Nöllke, C. Schulz, M. Seiwert, B. Seifert: Umwelt-Survey, Band VI: Hausstaub, Deskription der Element- und Biozidgehalte in Staub (Staubniederschlag, Konzentrationen im Hausstaub) der Haushalte in der Bundesrepublik Deutschland, in Vorbereitung als WaBoLu-Heft
- Goyer, R.A.: Mechanism of lead and cadmium nephrotoxicity, *Toxicol. Letters* 46 (1989) 153-162
- 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 (1992) 321-337
- Grasmick, C., Huel, G., Moreau, T. Sarmini, H.: The combined effect of tobacco and alcohol consumption on the level of lead and cadmium in blood, *Sci. Total Environ.* 41 (1985) 207-217
- Hahn, R., Ewers, U., Jermann, E., Freier, I., Brockhaus, A., Schlipköter, H.W.: Cadmium in kidney cortex of inhabitants of North-West Germany: ist relationship to age, sex, smoking and environmental pollution by cadmium, *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 59 (1987) 165-176
- Harrison, R. M.: Toxic metals in street and household dust, *Sci. Total Environ.* 11 (1979) 89-97
- Hempel, G., Halász, R. v.: Decken im Wohnungsbau. in: Halász, R. v. (Hrsg.): Holzbau-Taschenbuch, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin, 1963, 207-209
- Herber, R.F.M., Stoeppler, M., Tonks, D.B.: Cooperative interlaboratory surveys of cadmium analysis in urine, *Fresenius J. Anal. Chem.* 338 (1990) 279-286
- Herber, R.F.M.: The World Health Organization study on health effects of exposure to cadmium: Morbidity studies, in: Nordberg, G.F., Herber, R.F.M., Alessio, L.: Cadmium in the human environment: Toxicity and carcinogenicity, IARC, Lyon, France, 1992
- 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
- Hofstetter, I., Ewers, U., Turfeld, M., Freier, I., Westerweiler, S., Brockhaus, A.: Untersuchungen zur Blei- und Cadmiumbelastung von Kindern aus Stolberg, Öff. Gesundh.-Wes. 52 (1990) 232-327
- Hovinga, M.E., Sowers, M., Humphrey, H.E.B.: Environmental exposure and lifestyle predictors of lead, cadmium, PCB, and DDT levels in great lakes fish eaters, Arch. Environ. Health 48, 2 (1993) 98-104
- Järup, L., Rogenfelt, A., Elinder, C.-G., Nogawa, K., Kjellström, T.: Biological half-time of cadmium in the blood of workers after cessation of exposure, Scand. J. Work Environ. Health 9 (1983) 327-331
- Jessen, H., Kruse, H., Piechotowski, I.: Cadmiumkonzentrationen im Blut von Stadt- und Inselbewohnern in Schleswig-Holstein, Int. Arch. Occup. Environ. Health 54 (1984) 45-54
- Karakya, A., Süzen, S., Vural, N., Oflaz, G.: Evaluation of the biological threshold value of urinary cadmium concentration in a group of workers, Bull. Environ. Contam. Toxicol. 51 (1993) 483-489
- Kawada, T., Tohyama, C., Suzuki, S.: Significance of the excretion of urinary indicator proteins for a low level of occupational exposure to cadmium, Int. Arch. Occup. Environ. Health 62 (1990) 95-100
- Kim, N. D., Fergusson, J.: Concentrations and sources of cadmium, copper, lead and zinc in house dust in Christchurch, New Zealand. Sci. Total Environ., 138 (1993) 1-21
- Kommission Human-Biomonitoring: Konzept der Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte (HBM) in der Umweltmedizin, Berichte, Bundesgesundhbl. 6/96, 1996, S. 221 - 224
- Kommission Human-Biomonitoring: Stoffmonographie Cadmium - Referenz- und Human-Biomonitoring-Werte (HBM), Bekanntmachung des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, Bundesgesundhbl. 5/98, 1998, S. 218 - 226
- König, W.: Untersuchung und Beurteilung von Kulturböden bei der Gefährdungsabschätzung von Altlasten, in: Rosenkranz, D., Einsele, G., Harress, H.-M. (Hrsg.): Bodenschutz, Erich Schmidt Verlag, Berlin, 4. Lfg. I/1990, 3550, 1990
- Kowal, N.E., Zirkes, M.: Urinary cadmium and Beta₂-Microglobulin: Normal values and concentration adjustment, J. Tox. Environ. Health 11 (1983) 607-624
- 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: Deskription der Spurenelementgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, WaBoLu-Hefte 1/1996a
- Krause C., Schulz, C., Becker, K., Bernigau, W., Hoffmann, K., Nöllke, P., Schulz, C., Schwabe, R., Seiwert, M.: Umwelt-Survey 1990/92, Band Ib: Human-Biomonitoring: Deskription der Spurenelementgehalte im Haar der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, Berlin, WaBoLu-Heft 2/1996b

- Kreis, I.A., de Bruin, M., Coumans, C.G.H., Derks, H.J.G.M., van Dreumel, H.J., van der Ende, A., Helleman, P.W., Herber, R.F.M., Hofman, A.: Rapportage van een onderzoek naar effecten op de nierfunctie in een langdurig aan cadmium blootgestelde populatie in de Kempen en een controle populatie, Report 528303010, Bilthoven, Delft, Geldrop, Valkenswaard, Amsterdam and Rotterdam, Nederland, 1987
- Kreuter, H., Klaes, L., Hoffmeister, H., Laaser, U.: Prävention von Herz-Kreislaufkrankheiten, Juventa-Verlag GmbH, Weinheim, 1995
- Lahmann, E.: Staub und Staubinhaltsstoffe, in: Wichmann, H.E., Schlipkötter, H.W., Füllgraff, G. (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin, Ecomed Verlag, Landsberg, 1993
- Lauwerys, R., Bernard, A., Buchet, J.P., Roels, H., Bruaux, P., Claeys, F., Ducoffre, G., De Plaen, P., Staessen, J., Amery, A., Fagard, R., Lijnen, P., Thijs, L., Rondia, D., Sartor, F., Saint Remy, A., Nick, L.: Does environmental exposure to cadmium represent a health risk? Conclusions from the CADMIBEL study, *Acta Clinica Belgica* 46 (1991) 219-225
- Leotsinidis, M., Kondakis, X.: Trace metals in scalp hair of Greek agricultural workers, *Sci. Total Environ.* 95 (1990) 149-156
- Lopez-Artiguez, M., Camean, A., Conzaes, G., Repetto, M.: Cadmium concentrations in human renal cortex tissue, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 54 (1995) 841-847
- Madany, I. M., Akhter, M. S., Al Jowder, O. A.: The correlations between heavy metals in residential indoor dust and outdoor street dust in Bahrain, *Environ. Int.* 20 (1994) 483-492
- Mai, S., Alsen-Hinrichs, C.: Wie sieht die derzeitige alters- und geschlechtsabhängige Cadmiumausscheidung in der menschlichen Nierenrinde aus, *Gesundheitswesen* 59 (1997) 332-337
- Maranelli, G., Apostoli, P., Ferrari, P.: Influence of smoking, alcohol, and dietary habits on blood Pb and Cd levels, *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 45 (1990) 804-810
- Marquardt, D., Lüderitz, P., Leppin, S.: Untersuchung der Immission von Schwermetallen mit dem Staubbienerschlag in verschiedenen Regionen der DDR, *Z. gesamte Hyg.* 36 (1990) 484-488
- Moon, J., Davison, A.J., Smith, T.J., Fadl, S.: Correlation clusters in the accumulation of metals in human scalp hair: Effects of age, community of residence, and abundances of metals in air and water supplies, *Sci. Total Environ.* 72 (1986) 87-112
- Morisi, G., Menditto, A., Spagnolo, A., Patriarca, M., Menotti, A.: Association of selected social, environmental and constitutional factors to blood lead levels in men aged 55-75 years, *Sci. Total Environ.* 126 (1992) 209-229
- Moriske, H.-J.: Persönliche Mitteilung (1997)
- Moriske, H.-J., Drews, M., Ebert, G., Menk, C., Scheller, M., Schöndube, M., Konieczny, L.: Indoor air pollution by different heating systems: Coal burning, open fire place and central heating, *Toxicol. Lett.* 88(1996) 349-354
- Müller, G.: Schwermetallgehalte (Cd, Zn, Pb, Cu, Cr) im Tabak häufig in der BR Deutschland gerauchter Zigaretten, *Chemiker-Zeitung* 103 (1979) 133-137
- Müller, M., Anke, M., Thiel, C., Hartmann, E.: Zur Cadmiumaufnahme Erwachsener in den neuen Bundesländern, *Ernährungs-Umschau* 40, 6 (1993) 240-243

- MURL: Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes Nordrhein-Westfalen (Hrsg.): Wirkungskataster zu den Luftreinhalteplänen des Ruhrgebietes 1993, Woeste Verlag, Essen, 1993
- Ott, W.R.: A physical explanation of the lognormality of pollutant concentrations, J. Air Waste Management Assoc. 40 (1990) 1378-1383
- Paulsen, F., Mai, S., Zellmer, U., Alsen-Hinrichs, C.: Untersuchungen von Arsen, Blei und Cadmium in Blut und Haaren von Erwachsenen und Korrelationsanalysen unter besonderer Berücksichtigung von Ernährungsgewohnheiten und anderen verhaltensbedingten Einflüssen, Gesundheitswesen 58 (1996) 459-464
- Pocock, S.J., Delves, H.T., Ashby, D., Shaper, A.G., Clayton, B.E.: Blood cadmium of British middle-aged men, Human Toxicol. 7 (1988) 95-103
- Prucha, J.: Schwermetallgehalt des Kinderhaares, Zbl. Bakt. Hyg. B 185 (1987) 273-290
- Radoschewski, M., Kirschner, R., Kunert, M.: Umwelt-Survey 1990/91, Band IIa: 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, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, WaBoLu-Hefte 3/1997
- Riehm, G.: Schwermetalle im Innenraum - Nachweis und Vorkommen in Hausstaub und Materialien. Wissenschafts-Verlag Dr. Wigbert Maraun, Frankfurt/Main 1994, 63
- Sartor, F.A., Rondia, D.J., Claes, F.D., Staessen, J.A., Lauwerys, R.R., Bernard, A.M., Roels, J.P., Bruaux, P.J., Ducoffre, G.M., Lijnen, P.J., Thijs, L.B., Amery, A.K.: Impact of environmental cadmium pollution on cadmium exposure and body burdens, Arch. Environ. Health 47, 5 (1992) 347-353
- Schenker, D.: Betrachtungen zum Cadmiumgehalt von Tabakerzeugnissen, Forum Städte-Hygiene 35 (1984) 17-18
- Scherer, G., Conze, C., v. Meyerinck, L., Sorsa, M., Adlkofer, F.: Importance of exposure to gaseous and particulate phase components of tobacco smoke in active and passive smokers, Int. Arch. Occup. Environ. Health 62 (1990) 459-466
- Schmidt, J. A., Fischbach, E.-D., Burkart, F.: Cadmium-Untersuchungen im Bereich von Umwelt-, Boden- und Sorteneinflüssen bei Tabak sowie der Cadmium-Übergang in den Zigarettenrauch, Z. Lebensm. Unters. Forsch. 180 (1985) 306-311
- Schrage, I., Manns, W.: Baustoffe. In: Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie, 4. Aufl., Verlag Chemie, Weinheim 1978, Bd. 8, 312-342
- Schwarz, E., Chutsch, M., Krause, C., Schulz, C., Thefeld, W.: Umwelt-Survey Band IVa: Cadmium, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, WaBoLu-Hefte 2/1993
- Scott, R., Aughey, E., Fell, G.S., Quinn, M.J.: Cadmium concentrations in human kidneys from the UK, Human Toxicol. 6 (1987) 111-119
- Seidel, H.J.: Umweltmedizin, Georg Thieme Verlag Stuttgart, New York, 1996
- Seifert, B., Drews, M.: Blei- und Cadmiumbelastung ausgewählter Innenräume von Häusern in Oker/Harlingerode (1983/1984), WaBoLu-Heft 3/1985, Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin, 1985

- Senofonte, O., Violante, N., Fornarelli, L., Beccaloni, E., Powar, A., Caroli, S.: Reference values for elements of toxicological, clinical and environmental interest in hair of urban subjects, *Ann. Ist. Super. Sanità* 25, 3 (1989) 385-392
- SPSS: SPSS Base System Syntax Reference Guide, Release 6.0, SPSS Inc., 1993
- Srikumar, T.S., Öckerman, P.A., Akesson, M.B.: Trace element status in vegetarians from southern India, *Nutrition Research* 12 (1992) 187-198
- Staessen, J., Yeoman, W.B., Fletcher, A.E., Markowe, H.L.J., Marmot, M.G., Rose, G., Semmences, A., Shipley, M.J., Bulpitt, C.J.: Blood cadmium in London civil servants, *Int. J. Epidemiol.* 19 (1990) 362-366
- Strehlow, C.D., Barltrop, D.: Health studies, *Sci. Total Environ.* 75 (1988) 101-133
- Sukumar, A., Subramanian, R.: Elements in hair and nails of residents from a village adjacent to New Delhi. Influence of place of occupation and smoking habits, *Biol. Trace Element Res.* 34 (1992) 99-105
- Summer, K.H., Drasch, G.A., Heilmaier, H.E.: Metallothionein and cadmium in human kidney cortex: Influence of smoking, *Human Toxicol.* 5 (1986) 27-33
- Suzuki, S.: Hair and nails: Advantages and pitfalls when used in biological monitoring, in: Clarkson, T.W., Friberg, L., Nordberg, G.F., Sager, P.R.: *Biological monitoring of toxic metals*, Plenum Press, New York, 1988, 623-640
- 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 Environ.* 136 (1993) 213-227
- Svensson, B.G., Björnham, A., Schütz, A., Lettevall, U., Nilsson, A., Skerfving, S.: Acidic deposition and human exposure to toxic metals, *Sci. Total Environ.* 67 (1987) 101-115
- Thürauf, J., Schaller, K.H., Valentin, H., Weltle, D., Grote, K., Schellmann, B.: Cadmium concentrations in autopsy material from differently polluted areas of West Germany (FRG), *Zbl. Bakt. Hyg. B* 182 (1986) 337-347
- Tötsch, W.: Cadmium - Anwendung, Recycling und Ersatzprodukte, *Z. Umweltchem. Ökotox.* 2 (1990) 226-230
- Travis, C.C., Haddock, A.G.: Interpretation of the observed age-dependency of cadmium body burdens in man, *Environ. Research* 22 (1980) 46-60
- UBA: Umweltprobenbank, Jahresbericht 1991, Texte des Umweltbundesamtes 3, 1993
- UBA: Daten zur Umwelt, der Zustand der Umwelt in Deutschland, Umweltbundesamt (Hrsg.), Erich Schmidt Verlag, Berlin, 1997
- Valkovic, V.: *Human hair Vol. II, trace element levels*, Boca Raton, Florida, 1988
- Voigt, J.: Kunststoffe, Zusätze. In: *Ullmanns Encyklopädie der technischen Chemie*, 4. Aufl., Verlag Chemie, Weinheim 1978, Bd. 15, 253-274
- Watanabe, T., Koizumi, A., Fujita, H., Kumai, M., Ikeda, M.: Cadmium levels in the blood of inhabitants in nonpolluted areas in Japan with special references to aging and smoking, *Environ. Res.* 31 (1983) 472-483
- Watanabe, T., Kasahara, M., Nakatsuka, H., Ikeda, M.: Cadmium and lead contents of cigarettes produced in various areas of the world, *Sci. Total Environ.* 66 (1987) 29-37

- Webster, M. T., Loehr, R. C.: Long-term leaching of metals from concrete products, *J. Environ. Engrg.* (1996) 714-721
- Weishoff-Houben, M., Sidaoui, H., Jakobi, K., Krumbeck, P.: Cadmium-Konzentrationen im Urin bei Schulanfängern in Sachsen und Sachsen-Anhalt, *Wissenschaft und Umwelt* 3 (1992) 215-220
- Wetzel, S., Heeschen, W., Reichmuth, J., Stelte, W., Stüber, C., Kübler, W., Eberhardt, W.: Belastung Erwachsener mit persistenten Organochlorverbindungen, toxischen Schwermetallen und Nitrat in der Bundesrepublik Deutschland, *VERA-Schriftenreihe Band IV*, Fleck Verlag, Niederkleen, 1994
- WHO: Cadmium, *Environmental Health Criteria* 134, World Health Organization, Geneva, 1992
- Wibowo, A.A.E., Herber, R.F.M., Das, H.A., Roeleveld, N., Zielhuis, R.L.: Levels of metals on hair of young children as an indicator of environmental pollution, *Env. Res.* 40 (1986) 346-356
- Wietlisbach, V., Rickenbach, M., Berode, M., Guillemin, M.: Time trend and determinants of blood lead levels in a Swiss population over a transition period (1984-1993) from leaded to unleaded gasoline use, *Environ. Res.* 68 (1995) 82-90
- Wilbrand, B., Marquard, D., Lüderitz, P.: Spurenelementgehalt im Kopfhaar Berliner Kinder, *Forum Städte-Hygiene* 42 (1991) 351-354
- Wilhelm, M., Idel, H.: Hair analysis in environmental medicine, *Zbl. Hyg.* 198 (1996) 485-501
- Wilhelm, M., Hafner, D., Lombeck, I., Ohnesorge, F.K.: Variables influencing cadmium concentrations in hair of pre-school children living in different areas of the Federal Republic of Germany, *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 60 (1988) 43-50
- Wilhelm, M., Ohnesorge, F.K., Lombeck, I., Hafner, D.: Uptake of aluminium, cadmium, copper, lead, and zinc by human scalp hair and elution of the adsorbed metals, *J. Analyt. Toxicol.* 13 (1989) 17-21
- Wilhelm, M., Ohnesorge, F.K., Hötzel, D.: Cadmium, copper, lead and zinc concentrations in human scalp and pubic hair, *Sci. Total Environ.* 92 (1990) 199-206
- Wilhelm, M., Lombeck, I., Ohnesorge, F.K.: Cadmium, copper, lead and zinc concentrations in hair and toenails of young children and family members: A follow-up study, *Sci. Total Environ.* 141 (1994) 275-280
- Willers, S., Schütz, A., Attewell, R., Skerfving, S.: Relation between lead and cadmium in blood and the involuntary smoking of children, *Scand. J. Work Environ. Health* 14 (1988) 385-389
- Willers, S., Attewell, R., Bensryd, I., Schutz, A., Skarping, G., Vahter, M.: Exposure to environmental tobacco smoke in the household and urinary cotinine excretion, heavy metals retention, and lung function, *Arch. Environ. Health* 47 (1992) 357-363
- Wolfsperger, M., Hauser, G., Gößler, W., Schlagenhaufen, C.: Heavy metals in human hair samples from Austria and Italy: Influence of sex and smoking habits, *Sci. Total Environ.* 156 (1994) 235-242
- World Mineral Statistics: British Geological Survey, *World Mineral Statistics 1990-1994*, Nottingham, Keyworth, 1995

13 Verzeichnisse

13.1 Abkürzungs- und Symbolverzeichnis

AAS	Atomabsorptionsspektrometrie
a_i	i-ter Regressionsparameter
AM	arithmetischer Mittelwert
β	standardisierter Regressionskoeffizient
BG	Bestimmungsgrenze
BGA	Bundesgesundheitsamt
BMI	Body-Mass-Index
Cd	Cadmium
DHP	Deutsche Herz-Kreislauf-Präventionsstudie
Einw.	Einwohner
GGK	Gemeindegroßenklasse
GM	geometrischer Mittelwert
HBM	Human-Biomonitoring
HBM-I, -II	Human-Biomonitoring-Wert-I, -II
I	Rauchindikator
I_B	Rauchindikator für Cadmium im Blut
I_U	Rauchindikator für Cadmium im Urin
ICP-MS	induktiv gekoppelte Plasmaemissionsspektrometrie mit gekoppelter Massenspektrometrie
KI	Konfidenzintervall
ln	natürlicher Logarithmus
Max	Maximum
MZ	Mikrozensus
NRW	Nordrhein-Westfalen
n.s.	nicht signifikant
n	Stichprobenumfang
Ost	neue Bundesländer
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
P	Perzentil
r	bivariate Korrelation
R	multiple Korrelation
s	Standardabweichung
SE	Standardfehler
SWA	Sollwertabweichung
TRGS	Technische Regel für Gefahrstoffe
τ	Parameter (Halbwertszeit)
UBA	Umweltbundesamt
VK	Variationskoeffizient
WaBoLu	Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene
West	alte Bundesländer
WHO	World Health Organisation
X_i	i-tes Merkmal
Y	Zielgröße, Kriterium
Z_i	i-ter Prädiktor

13.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 4.	Interne Qualitätskontrolle für die Analyse von Cadmium im Blut und im Urin.....	30
Tab. 4.2	Vergleich zwischen Erst- und Wiederholungsmessungen der Umwelt-Surveys bei Cadmium im Blut und im Urin	31
Tab. 6.1	Prädiktoren für Cadmium im Blut bei Erwachsenen	48
Tab. 6.2	Simulationsergebnisse zur Bestimmung der optimalen Halbwertszeit von Cadmium im Blut	53
Tab. 6.3	Regressionsmodelle für Cadmium im Blut bei Erwachsenen	54
Tab. 6.4	Korrelationen zwischen den Prädiktoren der Cadmium/Blut-Modelle bei Erwachsenen.....	67
Tab. 6.5	95%-Konfidenzintervalle für die Parameter der Cadmium/Blut-Modelle bei Erwachsenen.....	68
Tab. 6.6	Vergleich der Regressionsmodelle des 1. und 2. Umwelt-Surveys für Cadmium im Blut.....	69
Tab. 6.7	Prädiktoren und Varianzaufklärung für Cadmium im Blut bei Kindern	73
Tab. 7.1	Prädiktoren für Cadmium im Urin bei Erwachsenen	79
Tab. 7.2	Regressionsmodelle für Cadmium im Urin bei Erwachsenen.....	82
Tab. 7.3	Korrelationen zwischen den Prädiktoren der Cadmium/Urin-Modelle bei Erwachsenen	93
Tab. 7.4	95%-Konfidenzintervalle für die Parameter der Cadmium/Urin-Modelle bei Erwachsenen	94
Tab. 7.5	Vergleich der Regressionsmodelle des 1. und 2. Umwelt-Surveys für Cadmium im Urin	96
Tab. 7.6	Prädiktoren und Varianzaufklärung für Cadmium im Urin bei Kindern.....	99
Tab. 7.7	Vergleich der Regressionsmodelle für creatinbezogene und volumenbezogene Cadmiumgehalte im Urin bei Erwachsenen	105
Tab. 7.8	Vergleich der Regressionsmodelle für creatinbezogene und volumenbezogene Cadmiumgehalte im Urin bei Kindern	106
Tab. 8.1	Prädiktoren und Varianzaufklärung für Cadmium im Haar bei Erwachsenen	109
Tab. 8.2	Prädiktoren und Varianzaufklärung für Cadmium im Haar bei Kindern.....	116
Tab. 9.1	Prädiktoren für den Cadmiumniederschlag in Wohnräumen der 25- bis 69jährigen Erwachsenen.....	122
Tab. 9.2	Varianzaufklärung der Prädiktoren für den Cadmiumniederschlag in Wohnräumen der 25 bis 69jährigen Erwachsenen.....	123
Tab. 9.3	Prädiktoren und Varianzaufklärung für den Cadmiumniederschlag in Wohnräumen der Kinder.....	132
Tab. 10.1	Prädiktoren und Varianzaufklärung für die Cadmiumkonzentration im Staubsauger- beutelinhalt	138

Tab. 14.1 Cadmium im Blut ($\mu\text{g/l}$) der 25- bis 69jährigen deutschen Bevölkerung, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells..... 162

Tab. 14.2 Cadmium im Blut ($\mu\text{g/l}$) der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells 163

Tab. 14.3 Cadmium im Urin ($\mu\text{g/l}$) der 25- bis 69jährigen deutschen Bevölkerung, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells 164

Tab. 14.4 Cadmium im Urin ($\mu\text{g/l}$) der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells 166

Tab. 14.5 Cadmium im Haar ($\mu\text{g/g}$) der 25- bis 69jährigen deutschen Bevölkerung, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells..... 167

Tab. 14.6 Cadmium im Haar ($\mu\text{g/g}$) der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells 168

Tab. 14.7 Cadmiumniederschlag ($\text{ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$) in Wohnräumen der 25- bis 69jährigen deutschen Bevölkerung, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells 169

Tab. 14.8 Cadmiumniederschlag ($\text{ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$) in Wohnräumen der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells 170

Tab. 14.9 Cadmiumkonzentration im Staubsaugerbeutelinhalt ($\mu\text{g/g}$) der 25- bis 69jährigen deutschen Bevölkerung, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells 171

Tab. 14.10 Prozentuale Angaben zu den im Umwelt-Survey 1990/92 bestimmten Cadmiumgehalten im Urin ($\mu\text{g/g}$ Creatinin) in Bezug auf die Überschreitung der HBM-Werte..... 172

13.3 Abbildungsverzeichnis

Abb. 6.1	Varianzaufklärung und Varianzkomponenten für Cadmium im Blut - Erwachsene und Kinder	47
Abb. 6.2	Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Blut in Abhängigkeit von der Anzahl täglich gerauchter Zigaretten (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) bei Rauchern mit einer Rauchdauer von drei und mehr Jahren - bestimmt auf Grundlage des Gesamt- Regressionsmodells für Erwachsene	57
Abb. 6.3	Cadmiumgehalt im Blut eines männlichen Exrauchers aus den alten Ländern in Abhängigkeit von der Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens und der Rauchdauer bei einer angenommenen Rauchintensität von 20 Zigaretten/Tag - bestimmt auf Grundlage des Gesamt-Regressionsmodells für Erwachsene	59
Abb. 6.4	Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Blut als Langzeiteffekt (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) - bestimmt auf Grundlage des Gesamt-Regressionsmodells für Erwachsene	63
Abb. 7.1	Varianzaufklärung und Varianzkomponenten für Cadmium im Urin - Erwachsene und Kinder	77
Abb. 7.2	Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Urin in Abhängigkeit von der Rauchdauer (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) bei einem gegenwärtigen Raucher und einer angenommenen Rauchintensität von 20 Zigaretten pro Tag - bestimmt auf Grundlage des Gesamt-Regressionsmodells für Erwachsene	84
Abb. 7.3	Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Urin in Abhängigkeit vom Lebensalter (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) - bestimmt auf Grundlage des Gesamt- Regressionsmodells für Erwachsene	87
Abb. 7.4	Relative Zunahme des Cadmiumgehalts im Urin in Abhängigkeit vom Creatiningehalt im Urin (mit Angabe von 95%-Konfidenzbändern) - bestimmt auf Grundlage der beiden Gesamt-Regressionsmodelle für Erwachsene und Kinder	101
Abb. 8.1	Varianzaufklärung und Varianzkomponenten für Cadmium im Haar - Erwachsene und Kinder	107
Abb. 9.1	Varianzaufklärung und Varianzkomponenten für Cadmium im Staubbiederschlag - Erwachsene und Kinder	121

14 Anhang

14.1 Deskription von Cadmium im Blut, im Urin, im Haar und im Hausstaub, gegliedert nach den Prädiktoren der Regressionsmodelle

Erläuterungen zu den Tabellen 14.1 bis 14.9

- **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 einem „Ausgleich“ der in der Stichprobe unterrepräsentierten alten Bundesländer zu sehen, der bei gesamtdeutschen Auswertungen notwendig ist.

- **Stichprobenumfang**

Differenzen zwischen der Summe der Teilstichprobenumfänge 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 ist 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.

Tab. 14.8: Cadmiumniederschlag ($\text{ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$) in Wohnräumen der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells
[gewichtete Daten]

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Alter des Wohnhauses ¹												
unter 20 Jahren	259	0	6	14	32	35	61	100	17.7	14.6	13.6 - 5.7	
ab 20 bis unter 40 Jahren	134	0	8	16	33	39	56	68	18.6	15.6	14.1 - 7.2	
ab 40 Jahre	189	0	8	18	43	77	134	316	28.0	18.4	16.4 - 0.7	
Wohndichte im Haushalt ¹												
ab 40 m ² /Person	66	0	5	12	31	40	73	90	16.2	12.3	10.4 - 4.6	
ab 30 bis unter 40 m ² /Person	119	0	6	13	24	34	60	63	15.1	12.8	11.6 - 4.2	
ab 20 bis unter 30 m ² /Person	228	0	7	16	35	42	59	88	19.4	16.0	14.7 - 7.3	
unter 20 m ² /Person	128	0	12	23	39	63	98	102	26.3	22.2	20.1 - 4.6	
weitere Kinder bis 14 Jahre im Haushalt ¹												
nein	267	0	7	14	34	51	84	100	19.2	15.1	13.9 - 6.3	
ja	332	0	7	17	35	43	71	316	22.7	16.6	15.4 - 7.9	
Gesicht nach Spielen												
völlig/ziemlich sauber	370	0	6	14	34	48	63	316	19.4	14.7	13.7 - 5.8	
etwas/sehr schmutzig	228	0	9	18	35	43	97	316	23.9	18.0	16.6 - 9.6	

Anmerkungen: ¹ = Kategorisierung des metrischen Prädiktors; N = Stichprobenumfang; n<BG = Anzahl Werte unter der BG (Bestimmungsgrenze); 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. 14.2: Cadmium im Blut ($\mu\text{g/l}$) der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells
[gewichtete Daten]

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Gelegentliches oder regelmäßiges Rauchen												
nein	707	55	0,1	0,1	0,3	0,3	0,5	2,1	0,16	0,14	0,13 -	,14
ja	6	0		0,9				4,2	1,06	0,53	0,17 -	,65
Alte/Neue Bundesländer												
Alte Bundesländer	512	36	0,1	0,1	0,3	0,3	0,5	1,6	0,15	0,13	0,12 -	,14
Neue Bundesländer	201	19	0,1	0,2	0,4	0,5	0,7	4,2	0,21	0,17	0,15 -	,18
Städtisches Wohngebiet												
nein	528	41	0,1	0,1	0,2	0,3	0,4	2,1	0,15	0,13	0,13 -	,14
ja	177	13	0,1	0,2	0,3	0,5	1,0	4,2	0,22	0,17	0,15 -	,19
Kalte/Warme Jahreszeit												
Oktober bis April	456	38	0,1	0,1	0,3	0,3	0,6	4,2	0,17	0,13	0,13 -	,14
Mai bis September	257	17	0,1	0,2	0,3	0,3	0,5	1,2	0,18	0,15	0,14 -	,16

Anmerkungen: N = Stichprobenumfang; n<BG = Anzahl Werte unter der BG (Bestimmungsgrenze) von 0,1 $\mu\text{g/l}$; 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. 14.3: Cadmium im Urin ($\mu\text{g/l}$) der 25- bis 69jährigen deutschen Bevölkerung, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells
[gewichtete Daten]

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Rauchindikator (Männer) ¹												
0	535	46	0,06	0,18	0,42	0,58	0,78	2,84	0,228	0,163	0,151-	,175
über 0 bis 1,5	1020	39	0,10	0,33	0,94	1,22	1,78	6,94	0,452	0,307	0,290-	,325
über 1,5	236	2	0,26	0,76	1,59	2,03	2,81	4,24	0,895	0,698	0,633-	,771
Rauchindikator (Frauen) ¹												
0	1172	42	0,09	0,28	0,74	0,97	1,42	4,06	0,377	0,262	0,249-	,275
über 0 bis 1,5	776	18	0,11	0,33	0,95	1,31	1,72	4,23	0,460	0,320	0,301-	,340
über 1,5	75	1	0,27	0,58	1,68	2,00	2,34	2,34	0,778	0,587	0,486-	,709
Tägliche Zigarettenzahl (Alte Länder) ¹												
0 Zigaretten	1701	91	0,08	0,25	0,70	0,93	1,36	4,06	0,339	0,231	0,217-	,245
1-5 Zigaretten	98	6	0,08	0,20	0,87	1,03	2,27	2,48	0,379	0,235	0,193-	,287
6-10 Zigaretten	136	3	0,12	0,36	1,23	1,66	2,25	2,77	0,548	0,367	0,313-	,431
11-15 Zigaretten	100	4	0,16	0,40	0,99	1,42	1,96	3,48	0,539	0,390	0,328-	,464
16-20 Zigaretten	225	4	0,13	0,49	1,49	1,72	2,84	4,24	0,687	0,467	0,412-	,529
ab 21 Zigaretten	186	2	0,13	0,56	1,32	1,74	1,99	6,94	0,696	0,484	0,424-	,553
Tägliche Zigarettenzahl (Neue Länder) ¹												
0 Zigaretten	1063	18	0,11	0,30	0,75	0,99	1,67	3,81	0,400	0,293	0,281-	,306
1-5 Zigaretten	71	0	0,17	0,35	0,94	1,64	2,06	2,14	0,500	0,379	0,320-	,448
6-10 Zigaretten	112	0	0,15	0,47	1,14	1,42	1,69	2,89	0,578	0,444	0,386-	,511
11-15 Zigaretten	86	0	0,26	0,61	1,34	1,52	1,69	4,23	0,715	0,579	0,502-	,667
16-20 Zigaretten	98	1	0,22	0,60	1,52	1,62	2,23	3,95	0,738	0,570	0,488-	,665
ab 21 Zigaretten	47	0	0,19	0,65	1,50	2,09	3,22	4,04	0,809	0,604	0,479-	,761
Lebensalter (Männer) ¹												
25-29 Jahre	274	23	0,05	0,18	0,48	0,67	1,17	6,94	0,281	0,167	0,149-	,187
30-39 Jahre	478	24	0,08	0,25	0,71	0,99	1,30	2,19	0,345	0,242	0,224-	,263
40-49 Jahre	415	13	0,09	0,34	0,99	1,30	1,83	4,24	0,460	0,309	0,282-	,338
50-59 Jahre	468	20	0,09	0,32	1,22	1,54	2,14	3,95	0,524	0,328	0,299-	,360
60-69 Jahre	320	9	0,12	0,45	1,22	1,57	1,94	2,87	0,565	0,394	0,356-	,437
Lebensalter (Frauen) ¹												
25-29 Jahre	265	17	0,06	0,23	0,57	0,86	1,42	3,24	0,312	0,214	0,192-	,239
30-39 Jahre	473	16	0,09	0,25	0,76	0,96	1,66	4,04	0,372	0,251	0,231-	,272
40-49 Jahre	414	14	0,10	0,31	0,83	1,07	1,65	4,23	0,408	0,286	0,262-	,312
50-59 Jahre	476	6	0,12	0,36	1,09	1,41	1,94	4,06	0,508	0,356	0,330-	,385
60-69 Jahre	420	8	0,12	0,34	0,98	1,34	2,02	3,73	0,476	0,341	0,315-	,370
Creatinin im Urin (Männer) ¹												
unter 1 g/l	314	34	<0,05	0,19	0,69	0,87	1,45	1,96	0,282	0,174	0,155-	,194
1 bis unter 1,5 g/l	520	27	0,07	0,28	0,85	1,17	1,47	3,95	0,392	0,259	0,238-	,281
1,5 bis unter 2 g/l	490	8	0,10	0,35	1,16	1,56	2,07	4,24	0,513	0,343	0,316-	,373
ab 2 g/l	631	20	0,11	0,33	1,09	1,39	1,93	6,94	0,499	0,331	0,308-	,356
Creatinin im Urin (Frauen) ¹												
unter 1 g/l	669	35	0,07	0,21	0,58	0,81	1,35	4,06	0,304	0,208	0,195-	,223
1 bis unter 1,5 g/l	593	14	0,10	0,30	0,73	0,94	1,64	4,23	0,393	0,286	0,268-	,306
1,5 bis unter 2 g/l	411	9	0,12	0,36	0,99	1,43	1,97	3,89	0,516	0,360	0,331-	,392
ab 2 g/l	374	4	0,16	0,45	1,18	1,54	2,25	4,04	0,589	0,435	0,401-	,472

Tab. 14.3: Fortsetzung

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Alte/Neue Bundesländer												
Alte Bundesländer	2508	110	0,08	0,29	0,92	1,27	1,73	6,94	0,421	0,274	0,264 -	,285
Neue Bundesländer	1494	20	0,13	0,34	0,93	1,28	1,80	4,23	0,474	0,341	0,327 -	,356
Cadmium-Niederschlag (Außenluft, Bergerhoff-Gerät) ¹												
bis 0,25 µg/(m² · Tag)	2351	100	0,09	0,28	0,87	1,20	1,62	6,94	0,407	0,268	0,258 -	,278
über 0,25 bis 0,5 µg/(m² · Tag)	1085	35	0,10	0,31	0,91	1,27	1,87	4,24	0,447	0,301	0,285 -	,318
über 0,5 µg/(m² · Tag)	566	15	0,12	0,37	1,14	1,36	1,82	3,46	0,505	0,348	0,323 -	,375
Fabrikhallen/Werkhallen als Arbeitsplatz												
nie/selten/gelegentlich	3200	120	0,09	0,29	0,87	1,20	1,67	4,06	0,411	0,278	0,269 -	,287
ständig/häufig	802	30	0,10	0,34	1,12	1,54	2,05	6,94	0,513	0,327	0,305 -	,350

Anmerkungen: ¹ = Kategorisierung des metrischen Prädiktors; N = Stichprobenumfang; n<BG = Anzahl Werte unter der BG (Bestimmungsgrenze) von 0,05 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;

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

Tab. 14.4: Cadmium im Urin ($\mu\text{g/l}$) der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells
[gewichtete Daten]

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Creatinin im Urin¹												
unter 1 g/l	126	52	<0,05	0,06	0,18	0,22	0,71	1,11	0,090	0,058	0,050 -	,067
1 bis unter 1,5 g/l	262	58	<0,05	0,08	0,18	0,25	0,31	10,65	0,120	0,076	0,069 -	,084
1,5 bis unter 2 g/l	185	21	<0,05	0,11	0,21	0,26	0,41	0,80	0,122	0,099	0,090 -	,110
ab 2 g/l	159	8	0,05	0,14	0,29	0,36	0,42	0,62	0,156	0,129	0,116 -	,143
Alte/Neue Bundesländer												
Alte Bundesländer	525	117	<0,05	0,09	0,18	0,24	0,30	1,44	0,100	0,077	0,072 -	,082
Neue Bundesländer	208	22	<0,05	0,13	0,28	0,39	0,57	10,65	0,182	0,119	0,107 -	,133
Geschlecht												
Jungen	377	85	<0,05	0,09	0,19	0,24	0,34	0,55	0,102	0,078	0,072 -	,084
Mädchen	355	54	<0,05	0,11	0,24	0,30	0,45	10,65	0,146	0,098	0,090 -	,106
Cadmium-Niederschlag (Außenluft, Bergerhoff-Gerät)¹												
bis 0,25 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$	421	99	<0,05	0,08	0,20	0,26	0,37	10,65	0,116	0,078	0,072 -	,084
über 0,25 bis 0,5 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$	218	20	0,05	0,12	0,24	0,30	0,42	1,44	0,144	0,112	0,102 -	,123
über 0,5 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$	93	21	<0,05	0,09	0,20	0,34	0,39	0,46	0,105	0,079	0,067 -	,092

Anmerkungen : ¹ = Kategorisierung des metrischen Prädiktors; N = Stichprobenumfang; n<BG = Anzahl Werte unter der BG (Bestimmungsgrenze) von 0,05 $\mu\text{g/l}$; 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. 14.5: Cadmium im Haar ($\mu\text{g/g}$) der 25- bis 69jährigen deutschen Bevölkerung, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells
[gewichtete Daten]

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Geschlecht												
Männer	1809	21	0.02	0.05	0.20	0.34	0.56	7.10	0.099	0.052	0.050 -	.055
Frauen	1916	35	0.02	0.04	0.13	0.20	0.36	8.19	0.070	0.041	0.040 -	.043
Gegenwärtiger Raucher												
nein	2565	40	0.02	0.04	0.15	0.26	0.43	7.10	0.078	0.044	0.042 -	.046
ja	1159	15	0.02	0.05	0.18	0.32	0.57	8.19	0.097	0.052	0.049 -	.055
Alte/Neue Bundesländer												
Alte Bundesländer	2962	40	0.02	0.04	0.13	0.22	0.39	7.10	0.071	0.042	0.041 -	.044
Neue Bundesländer	762	16	0.02	0.06	0.28	0.47	0.72	8.19	0.133	0.064	0.059 -	.069
Cadmiumgehalt im Trinkwasser¹												
bis 0,05 $\mu\text{g/l}$	1265	19	0.02	0.04	0.15	0.28	0.47	7.10	0.081	0.043	0.041 -	.045
über 0,05 bis 0,5 $\mu\text{g/l}$	2085	30	0.02	0.04	0.15	0.25	0.42	8.19	0.079	0.045	0.044 -	.047
über 0,5 $\mu\text{g/l}$	375	6	0.02	0.06	0.26	0.38	0.60	6.59	0.122	0.065	0.058 -	.072
Cadmiumkonzentration im Hausstaub¹												
bis 0,5 $\mu\text{g/g}$	1173	20	0.02	0.04	0.13	0.21	0.39	2.21	0.069	0.041	0.039 -	.043
über 0,5 bis 2 $\mu\text{g/g}$	1559	20	0.02	0.04	0.17	0.28	0.46	8.19	0.089	0.047	0.045 -	.049
über 2 $\mu\text{g/g}$	883	14	0.02	0.05	0.18	0.34	0.60	2.59	0.094	0.053	0.049 -	.056
Aufenthalt im Freien und in Werkhallen/Werkstätten¹												
bis 4 Stunden	2012	34	0.02	0.04	0.12	0.19	0.34	8.19	0.066	0.040	0.039 -	.042
über 4 bis 7 Stunden	723	10	0.02	0.04	0.15	0.24	0.38	0.78	0.069	0.044	0.041 -	.047
über 7 Stunden	968	11	0.02	0.06	0.28	0.46	0.87	7.10	0.133	0.064	0.059 -	.068
Mittlere Tageshöchsttemperatur¹												
unter 10 °C	1347	22	0.02	0.04	0.15	0.25	0.41	8.19	0.080	0.042	0.040 -	.045
10 bis 20 °C	1723	31	0.02	0.04	0.15	0.26	0.50	6.60	0.083	0.046	0.044 -	.048
über 20 °C	655	2	0.02	0.05	0.20	0.32	0.47	7.10	0.097	0.057	0.053 -	.061
Haarwuchs												
dichtes Haar	2977	48	0.02	0.04	0.15	0.24	0.43	7.10	0.076	0.043	0.042 -	.045
schütteres Haar	748	7	0.02	0.06	0.25	0.36	0.76	8.19	0.116	0.060	0.056 -	.065
Dauerwelle												
nein	2696	44	0.02	0.04	0.16	0.28	0.47	7.10	0.083	0.045	0.043 -	.046
ja	1028	11	0.02	0.05	0.17	0.26	0.48	8.19	0.088	0.050	0.048 -	.053

Anmerkungen: ¹ = Kategorisierung des metrischen Prädiktors; N = Stichprobenumfang; n<BG = Anzahl Werte unter der BG (Bestimmungsgrenze) von 0,006 $\mu\text{g/g}$; 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. 14.6: Cadmium im Haar ($\mu\text{g/g}$) der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells
[gewichtete Daten]

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Geschlecht												
Jungen	363	21	0.01	0.06	0.23	0.32	0.61	1.16	0.102	0.056	0.050 -	.063
Mädchen	342	9	0.02	0.04	0.11	0.25	0.67	3.66	0.089	0.040	0.036 -	.044
Alte/Neue Bundesländer												
Alte Bundesländer	509	30	0.01	0.04	0.16	0.25	0.49	3.66	0.086	0.042	0.038 -	.047
Neue Bundesländer	196	0	0.02	0.06	0.27	0.41	0.77	1.87	0.121	0.065	0.056 -	.074
Cadmiumgehalt im Trinkwasser¹												
bis 0,05 $\mu\text{g/l}$	231	14	0.01	0.04	0.12	0.22	0.30	0.81	0.065	0.037	0.032 -	.042
über 0,05 bis 0,5 $\mu\text{g/l}$	403	11	0.02	0.05	0.20	0.32	0.56	3.66	0.105	0.052	0.047 -	.058
über 0,5 $\mu\text{g/l}$	70	5	0.02	0.07	0.29	0.40	1.04	1.64	0.141	0.066	0.049 -	.091
Körperliche Betätigung im Freien												
seltener	119	2	0.01	0.03	0.10	0.17	0.41	3.66	0.089	0.035	0.029 -	.042
häufiger	583	27	0.02	0.05	0.21	0.30	0.66	1.87	0.097	0.051	0.046 -	.055
Buddeln, Graben, Höhlenbauen												
nie / selten / gelegentlich	522	21	0.01	0.04	0.18	0.26	0.57	3.66	0.090	0.044	0.040 -	.048
häufig / sehr häufig	180	8	0.02	0.06	0.25	0.36	0.92	1.64	0.111	0.059	0.050 -	.069
Jahreszeit												
kalte (Oktober bis April)	455	30	0.01	0.04	0.14	0.27	0.52	1.87	0.080	0.040	0.036 -	.045
warme (Mai bis September)	250	0	0.02	0.06	0.23	0.33	0.81	3.66	0.124	0.065	0.057 -	.073

Anmerkungen: ¹ = Kategorisierung des metrischen Prädiktors; N = Stichprobenumfang; n<BG = Anzahl Werte unter der BG (Bestimmungsgrenze) von 0,006 $\mu\text{g/g}$; 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. 14.7: Cadmiumniederschlag (ng/(m² · Tag)) in Wohnräumen der 25- bis 69jährigen deutschen Bevölkerung, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells
[gewichtete Daten]

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Alte/Neue Bundesländer												
Alte Bundesländer	2602	0	4	10	28	40	66	332	15,4	10,8	10,5 -	1,1
Neue Bundesländer	680	0	7	15	38	53	88	833	22,1	15,8	15,0 -	6,7
Alter des Wohnhauses ¹												
unter 20 Jahre	938	0	4	10	27	35	49	204	13,8	10,4	9,9 -	0,8
20-39 Jahre	1146	0	5	11	28	39	64	332	15,4	11,1	10,6 -	1,6
ab 40 Jahre	1161	0	5	13	37	59	90	833	20,7	13,6	12,9 -	4,2
Ofenheizung mit Kohle/Holz												
nein	2677	0	5	10	27	38	64	332	15,1	10,9	10,6 -	1,2
ja	602	0	6	14	44	64	122	833	24,5	15,7	14,6 -	6,8
Anzahl der Kinder bis 14 Jahre im Haushalt ¹												
kein Kind	2542	0	5	10	29	43	67	833	15,9	11,0	10,7 -	1,3
1 Kind	470	0	6	13	32	44	80	245	18,3	13,5	12,7 -	4,4
mindestens 2 Kinder	267	0	7	14	35	48	99	316	22,2	15,6	14,3 -	7,0
Haustiere mit Fell/Federn												
nein	2128	0	5	11	29	42	67	833	16,1	11,1	10,7 -	1,5
ja	1146	0	5	12	34	53	76	316	18,2	12,8	12,2 -	3,4
Wohndichte im Probenahmeraum ¹												
ab 12 m ² /Person	1076	0	4	9	24	35	64	264	13,6	9,5	9,1 -	0,0
ab 9 bis unter 12 m ² /Person	682	0	5	11	26	38	62	833	15,7	10,9	10,3 -	1,5
ab 6 bis unter 9 m ² /Person	872	0	6	12	33	45	86	318	18,6	12,9	12,2 -	3,5
unter 6 m ² /Person	584	0	7	15	40	56	73	402	20,9	15,7	14,8 -	6,7
tägliche Aufenthaltsdauer des Probanden im Probenahmeraum ¹												
unter 5 Stunden	1324	0	4	10	27	37	60	332	15,2	10,7	10,3 -	1,1
5 bis unter 9 Stunden	1566	0	5	11	31	45	68	402	16,7	11,8	11,4 -	2,3
ab 9 Stunden	377	0	6	14	42	62	112	833	22,6	14,8	13,6 -	6,0
Anzahl täglich gerauchter Zigaretten im Probenahmeraum (pro m²) ¹												
0	2190	0	4	10	29	40	66	332	15,6	10,9	10,6 -	1,3
über 0 bis unter 0,3	374	0	5	11	28	35	51	90	14,3	11,3	10,6 -	2,1
0,3 bis unter 0,6	311	0	5	12	35	49	106	402	19,7	12,9	11,8 -	4,1
ab 0,6	381	0	7	15	46	64	110	833	24,1	16,2	15,0 -	7,5
Pflanzen im Probenahmeraum												
keine/einige	995	0	5	10	24	32	54	178	13,6	10,4	10,0 -	0,9
viele	2279	0	5	11	33	48	76	833	18,2	12,2	11,8 -	2,6
Schmutz an der Arbeitskleidung												
nie oder selten	2218	0	5	10	28	42	66	402	15,5	10,9	10,5 -	1,2
häufig/immer	1035	0	5	13	35	48	84	332	18,9	13,5	12,8 -	4,1

Anmerkungen: ¹ = Kategorisierung des metrischen Prädiktors; N = Stichprobenumfang; n<BG = Anzahl Werte unter der BG (Bestimmungsgrenze); 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. 14.8: Cadmiumniederschlag ($\text{ng}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$) in Wohnräumen der 6- bis 14jährigen deutschen Kinder, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells [gewichtete Daten]

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Alter des Wohnhauses ¹												
unter 20 Jahren	259	0	6	14	32	35	61	100	17.7	14.6	13.6 -	5.7
ab 20 bis unter 40 Jahren	134	0	8	16	33	39	56	68	18.6	15.6	14.1 -	7.2
ab 40 Jahre	189	0	8	18	43	77	134	316	28.0	18.4	16.4 -	0.7
Wohndichte im Haushalt ¹												
ab 40 m ² /Person	66	0	5	12	31	40	73	90	16.2	12.3	10.4 -	4.6
ab 30 bis unter 40 m ² /Person	119	0	6	13	24	34	60	63	15.1	12.8	11.6 -	4.2
ab 20 bis unter 30 m ² /Person	228	0	7	16	35	42	59	88	19.4	16.0	14.7 -	7.3
unter 20 m ² /Person	128	0	12	23	39	63	98	102	26.3	22.2	20.1 -	4.6
weitere Kinder bis 14 Jahre im Haushalt ¹												
nein	267	0	7	14	34	51	84	100	19.2	15.1	13.9 -	6.3
ja	332	0	7	17	35	43	71	316	22.7	16.6	15.4 -	7.9
Gesicht nach Spielen												
völlig/ziemlich sauber	370	0	6	14	34	48	63	316	19.4	14.7	13.7 -	5.8
etwas/sehr schmutzig	228	0	9	18	35	43	97	316	23.9	18.0	16.6 -	9.6

Anmerkungen: ¹ = Kategorisierung des metrischen Prädiktors; N = Stichprobenumfang; n<BG = Anzahl Werte unter der BG (Bestimmungsgrenze); 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. 14.9: Cadmiumkonzentration im Staubsaugerbeutelinhalt ($\mu\text{g/g}$) der 25- bis 69jährigen deutschen Bevölkerung, gegliedert nach den Prädiktoren des Regressionsmodells [gewichtete Daten]

	N	n<BG	10	50	90	95	98	MAX	AM	GM	KI	GM
Cadmium-Niederschlag (Außenluft, Bergerhoff-Gerät) ¹												
bis 0,25 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$	2289	22	0.2	0.9	3.8	5.5	10.1	220.0	2.09	0.89	0.85 -	.94
über 0,25 bis 0,5 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$	1060	10	0.2	0.8	3.9	5.6	9.7	81.3	1.82	0.77	0.71 -	.83
über 0,5 $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$	551	5	0.2	1.0	4.6	6.5	15.2	74.9	2.25	0.92	0.82 -	.02
Gemeindegröße												
ab 20 000 Einwohner	2223	23	0.2	0.8	3.8	5.4	9.8	220.0	1.91	0.80	0.76 -	.84
unter 20 000 Einwohner	1677	14	0.2	1.0	4.0	5.9	13.1	91.3	2.21	0.95	0.89 -	.01
Art des Wohngebiets												
städtisch	1161	16	0.2	0.8	3.4	4.9	8.0	220.0	1.90	0.78	0.73 -	.84
Land/ländlich/vorstädtisch	2702	20	0.2	0.9	4.1	5.9	13.1	91.3	2.09	0.89	0.85 -	.94
Alter des Wohnhauses ¹												
unter 20 Jahren	913	13	0.2	0.9	3.8	5.2	12.9	56.2	1.86	0.82	0.75 -	.89
ab 20 bis unter 40 Jahren	1157	9	0.2	0.9	3.8	5.5	10.3	91.3	1.94	0.84	0.78 -	.90
ab 40 Jahre	1116	10	0.2	0.9	3.8	5.5	8.5	86.0	1.88	0.86	0.80 -	.93
Wohndichte im Haushalt												
ab 32 m^2/Person	2211	21	0.2	0.9	4.1	5.8	11.4	220.0	2.13	0.87	0.82 -	.91
unter 32 m^2/Person	1610	15	0.2	0.9	3.7	5.3	10.2	91.3	1.95	0.85	0.80 -	.91
Auch außerhalb der Wohnung gesaugt												
nein	3095	32	0.2	0.8	3.8	5.5	10.4	220.0	2.02	0.82	0.79 -	.86
ja	676	4	0.2	1.1	4.3	5.9	10.1	51.8	2.13	1.04	0.95 -	.13
Verweildauer des Beutels im Staubsauger war												
bis zu 4 Wochen	2751	31	0.2	0.9	3.7	5.3	10.7	91.3	1.93	0.81	0.78 -	.85
länger als 4 Wochen	899	5	0.2	1.0	4.2	6.0	9.6	220.0	2.36	0.96	0.88 -	.04
Mittlere Tageshöchsttemperatur ¹												
unter 10 °C	1420	18	0.1	0.7	3.4	5.0	7.6	220.0	1.76	0.68	0.64 -	.73
10 bis 20 °C	1809	14	0.2	0.9	3.7	5.4	9.8	81.3	1.78	0.88	0.83 -	.93
über 20 °C	670	5	0.3	1.4	5.0	9.9	32.4	91.3	3.34	1.32	1.20 -	.46

Anmerkungen: ¹ = Kategorisierung des metrischen Prädiktors; N = Stichprobenumfang; n<BG = Anzahl Werte unter der BG (Bestimmungsgrenze) von 0,5 $\mu\text{g/g}$; 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

14.2 Angaben zu Überschreitungen der Human-Biomonitoring-Werte (HBM-Werte)

Tab. 14.10: Prozentuale Angaben zu den im Umwelt-Survey 1990/92 bestimmten Cadmiumgehalten im Urin ($\mu\text{g/g}$ Creatinin) in Bezug auf die Überschreitung der HBM-Werte (Kommission Human-Biomonitoring, 1998)

Bevölkerungs- gruppe	HBM-Werte		Umwelt-Survey 1990/92		
	[µg/g Creat.]		Deutschland	Alte Länder	Neue Länder
Erwachsene 25 - 69 Jahre					
Erwachsene > 25 Jahre	< HBM-I	< 2	99,4 %	99,4 %	99,0 %
	HBM-I bis -II	2- 5	0,6 %	0,6 %	1,0 %
	>HBM-II	> 5	0,0 %	0,0 %	0,0 %
Kinder/Jugendliche 6 - 14 Jahre					
Kinder, Jugendl. und Erwachsene < 25 Jahre	< HBM-I	< 1	99,7 %	100,0 %	99,0 %
	HBM-I bis -II	1- 3	0,2 %	0,0 %	0,8 %
	>HBM-II	> 3	0,1 %	0,0 %	0,2 %

Anmerkungen: HBM-Werte = Human-Biomonitoring-Werte, Kommission Human-Biomonitoring (1996);
 unterhalb HBM-I = Gesundheitliche Beeinträchtigung nach derzeitiger Bewertung unbedenklich, kein Handlungsbedarf;
 zwischen HBM-I und HBM-II = Gesundheitliche Beeinträchtigung nicht ausreichend sicher ausgeschlossen, Handlungsbedarf:
 Kontrolle der Werte und Suche nach spezifischen Belastungsquellen, ggf. Verminderung der Belastung unter vertretbarem Aufwand;
 oberhalb HBM-II = Gesundheitliche Beeinträchtigung möglich, Handlungsbedarf: umweltmedizinische Betreuung, akuter Handlungsbedarf zur Reduktion der Belastung

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

14.3 Ableitung des Rauchindikators mittels Integralberechnung

In Kapitel 6.1.1 ist der Rauchindikator in einer etwas vereinfachten Weise hergeleitet worden, nachdem der Zeitraum des Rauchens in Monate unterteilt wurde, d. h. die kontinuierliche Zeitvariable diskretisiert wurde. Es soll nun gezeigt werden, daß die gleiche Formel für den Rauchindikator entsteht, wenn man die Zeit als kontinuierliche Variable beibehält.

Wie in stetigen Halbwertszeitmodellen üblich (vgl. Järup et al. 1983, Pocock et al. 1988, Travis and Haddock 1980), setzen wir für die Wirkung $W(t)$ zum Zeitpunkt t eine exponentielle Abklingfunktion an:

$$W(t) = c e^{-a t}.$$

Hierbei ist c eine Konstante und a ein Parameter, der die Geschwindigkeit des Abkling- oder Abbauprozesses beschreibt. Wenn wir jetzt die Gesamtwirkung G für einen Zeitraum berechnen wollen, der vor X_2 Jahren und X_3 Monaten begann und der vor X_3 Monaten aufhörte, so ist das bestimmte Integral über $W(t)$ mit Anfangs- und Endzeitpunkt als Integralgrenzen zu berechnen:

$$G = \int_{X_3}^{12X_2+X_3} W(t) dt = c \int_{X_3}^{12X_2+X_3} e^{-at} dt = \frac{c}{a} e^{-aX_3} \left[1 - e^{-a(12X_2)} \right] \quad (*)$$

Sei τ nun der Halbwertszeitparameter, d. h. es gelte $W(\tau) = 0,5 \cdot W(0)$. Dann folgt $e^{-a} = 0,5^{1/\tau}$. Nach Ersetzen von e^{-a} durch $0,5^{1/\tau}$ in $(*)$ ergibt sich

$$G = \frac{c}{a} 0,5^{X_3/\tau} \left[1 - 0,5^{(12X_2)/\tau} \right]$$

Nach Vernachlässigung des nur vom Parameter a abhängenden Faktors c/a und Multiplikation der Gesamtwirkung G mit dem die Expositionsstärke (Rauchintensität) erfassenden Faktor $\ln(X_1+1)$, wobei X_1 die Zigarettenzahl ist, ergibt sich der Rauchindikator zu

$$I = 0,5^{X_3/\tau} \cdot \left[1 - 0,5^{(12X_2)/\tau} \right] \ln(X_1 + 1).$$

14.4 Erläuterungen zu den in den Regressionsanalysen benutzten Merkmalen

Allgemeine Individualvariablen

- 1) **Lebensalter:** Lebensalter des Probanden in Jahren
Ausprägungen: metrisch [Jahre]
im Modell für: Cd/Blut, Cd/Urin (Erwachsene)
- 2) **Geschlecht:** Geschlecht des Probanden
Codierung: 0: „männlich“, 1: „weiblich“ (bzw. umgekehrt)
im Modell für: Cd/Blut, Cd/Urin, Cd/Haar (Erwachsene); Cd/Urin (Kinder)
- 3) **Body-Mass-Index:** Körpergewicht des Probanden dividiert durch das Quadrat der Körpergröße
Ausprägungen: metrisch [kg/m^2]

Medizinische Meßgrößen

- 1) **Creatinin im Urin:** Creatiningehalt in der Urinprobe des Probanden
Ausprägungen: metrisch [g/l]
im Modell für: Cd/Urin (Erwachsene, Kinder)
- 2-46) **Blutmerkmale:** Im Blut wurden 45 Merkmale gemessen, darunter Thiocyanat, Harnstoffgehalt, Zellpackungsvolumen, Hämoglobin, Eisengehalt und Calciumgehalt

Rauchen

- 1) **Gegenwärtiger Raucher (Erwachsene):** Proband ist zum Zeitpunkt der Befragung Raucher
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
im Modell für: Cd/Urin, Cd/Haar (Erwachsene)
- 2) **Gegenwärtiges Rauchen (Kinder):** gelegentliches oder regelmäßiges gegenwärtiges Rauchen
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
im Modell für: Cd/Blut (Kinder)
- 3) **Zigarettenzahl (nur Erwachsene):** durchschnittliche Anzahl gegenwärtig (bei Rauchern) bzw. früher (bei Exrauchern) gerauchter Zigaretten (mit Filter, ohne Filter, selbstgedreht) pro Tag
Bemerkung: Die Anzahl der täglich gerauchten Zigarren, Zigarillos, Stumpen und Pfeifen stand gleichfalls als Information zur Verfügung, wurde jedoch nach statistischen Voruntersuchungen nicht in die Anzahlberechnung aufgenommen
Ausprägungen: metrisch
im Modell für: Cd/Blut, Cd/Urin (Erwachsene)
- 4) **Gesamtrauchdauer (Erwachsene):** Gesamtrauchdauer in Jahren
Ausprägungen: metrisch [Jahre] (bei Nieraucher = 0)
im Modell für: Cd/Blut, Cd/Urin (Erwachsene)

- 5) **Zeitdauer seit Beendigung des Rauchens (Erwachsene):** Abstand zwischen dem Zeitpunkt der Beendigung des Rauchens und dem Zeitpunkt der Befragung
Ausprägungen: metrisch [Monate] (bei Raucher = 0)
im Modell für: Cd/Blut, Cd/Urin (Erwachsene)
- 6) **Regelmäßiges Rauchen im Raum:** regelmäßiges Rauchen in dem Raum bzw. in den Räumen, in denen der Proband seiner Hauptbeschäftigung nachgeht
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 7) **Rauchstatus des Ehepartners:** Ehepartner raucht gegenwärtig (zum Zeitpunkt der Befragung)
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 8) **Anzahl der im selben Haushalt lebenden Raucher:** Anzahl der Personen, die im Haushalt des Probanden leben und gegenwärtig rauchen
Ausprägungen: metrisch

Ernährung

- 1) **Häufigkeit des Fischkonsums:** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von Fisch
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 2) **Häufigkeit des Fleischkonsums:** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von Fleisch (ohne Wurstwaren)
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 3) **Häufigkeit des Wurstkonsums:** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von Wurstwaren und Schinken
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 4) **Häufigkeit des Geflügelkonsums:** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von Geflügel
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 5) **Häufigkeit des Konsums tierischer Innereien:** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von tierischen Innereien (Leber, Niere, Herz, Hirn)
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 6) **Häufigkeit des Konsums von Salat und rohem Gemüse:** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von Salat und rohem Gemüse
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 7) **Häufigkeit des Bierkonsums (nur Erwachsene):** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von Bier
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 8) **Menge des konsumierten Biers (nur Erwachsene):** durchschnittlich konsumierte Biermenge (Liter) am Tag
Ausprägungen: metrisch [l] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen

- 9) **Bierkonsum vor Blutabnahme (nur Erwachsene):** in den 24 Stunden vor Blutabnahme konsumierte Biermenge (Liter)
Ausprägungen: metrisch [l] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 10) **Häufigkeit des Wein/Sekt-Konsums (nur Erwachsene):** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von Wein, Sekt und Obstwein
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 11) **Menge des konsumierten Weins und Sekts (nur Erwachsene):** durchschnittlich konsumierte Menge (Liter) an Wein, Sekt und Obstwein am Tag
Ausprägungen: metrisch [l] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 12) **Weinkonsum vor Blutabnahme (nur Erwachsene):** in den 24 Stunden vor Blutabnahme konsumierter Wein (Anzahl Gläser)
Ausprägungen: metrisch [Anzahl Gläser] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 13) **Häufigkeit des Konsums hochprozentiger alkoholischer Getränke (nur Erwachsene):** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von hochprozentigen alkoholischen Getränken, wie Rum, Weinbrand, Likör, klare Schnäpse u.ä.
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 14) **Menge der konsumierten hochprozentigen alkoholischen Getränke (nur Erwachsene):** durchschnittlich konsumierte Menge (Liter) hochprozentiger alkoholischer Getränke am Tag
Ausprägungen: metrisch [l] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 15) **Konsum hochprozentiger alkoholischer Getränke vor Blutabnahme (nur Erwachsene):** in den 24 Stunden vor Blutabnahme konsumierte hochprozentige alkoholische Getränke (Anzahl Gläser)
Ausprägungen: metrisch [Anzahl Gläser] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 16) **Menge des konsumierten Alkohols (nur Erwachsene):** durchschnittlich konsumierte Alkoholmenge (Gramm) am Tag
Ausprägungen: metrisch [g] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 17) **Alkoholkonsum vor Blutabnahme (nur Erwachsene):** Alkoholkonsum in den 24 Stunden vor Blutabnahme
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 18) **Häufigkeit des Konsums von Mineralwasser:** durchschnittliche Verzehrshäufigkeit von Mineralwasser
Ausprägungen: metrisch [Tage/Monat] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 19) **Menge des konsumierten Mineralwassers (nur Erwachsene):** durchschnittlich konsumierte Menge (Liter) an Mineralwasser am Tag
Ausprägungen: metrisch [l] sowie verschiedene Varianten von Binärcodierungen
- 20) **Besondere Ernährungsweise:** Besondere Ernährungsweise des Probanden (Diät oder vegetarisch)
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“

- 1) **Aufenthaltsdauer in der Wohnung (nur Erwachsene):** Mittlere tägliche Aufenthaltszeit des Probanden in der Wohnung über das ganze Jahr
Ausprägungen: metrisch [Minuten/Tag]
- 2) **Aufenthaltsdauer in Werkhallen/Werkstätten (nur Erwachsene):** Mittlere tägliche Aufenthaltszeit des Probanden in Werkhallen, Werkstätten, Lagern und Garagen über das ganze Jahr
Ausprägungen: metrisch [Minuten/Tag]
- 3) **Aufenthaltsdauer im Freien und in Werkhallen/Werkstätten (nur Erwachsene):** Mittlere tägliche Aufenthaltszeit des Probanden im Freien und in Werkhallen, Werkstätten, Lagern und Garagen über das ganze Jahr
Ausprägungen: metrisch [Stunden/Tag]
im Modell für: Cd/Haar (Erwachsene)
- 4) **Aufenthaltsdauer im Grünen (nur Erwachsene):** Mittlere tägliche Aufenthaltszeit des Probanden im Grünen über das ganze Jahr
Ausprägungen: metrisch [Minuten/Tag]
- 5) **Aufenthaltsdauer in motorisierten Fahrzeugen (nur Erwachsene):** Mittlere tägliche Aufenthaltszeit des Probanden in PKW, Taxi, LKW, Bus, Straßenbahn und motorisiertem Zweirad über das ganze Jahr
Ausprägungen: metrisch [Minuten/Tag]
- 6) **Aufenthalt im Grünen im Sommer (nur Kinder):** Aufenthaltshäufigkeit des Kindes im Grünen, bezogen auf den Sommer
Codierung: 0: „nie oder selten“, 1: „häufig oder sehr häufig“
- 7) **Aufenthalt auf dem Spielplatz im Sommer (nur Kinder):** Aufenthaltshäufigkeit des Kindes auf dem Spielplatz, bezogen auf den Sommer
Codierung: 0: „nie oder selten“, 1: „häufig oder sehr häufig“
- 8) **Aufenthalt auf der Straße im Sommer (nur Kinder):** Aufenthaltshäufigkeit des Kindes auf der Straße, bezogen auf den Sommer
Codierung: 0: „nie oder selten“, 1: „häufig oder sehr häufig“
- 9) **Aufenthaltsdauer in motorisierten Fahrzeugen (nur Kinder):** Mittlere tägliche Aufenthaltszeit des Probanden in Auto, Bus, Straßenbahn und auf dem Mofa über das ganze Jahr
Ausprägungen: metrisch [Minuten/Tag]

Tätigkeiten

- 1) **Sportliche Betätigung (nur Erwachsene):** durchschnittlicher wöchentlicher Zeitaufwand für Sport
Codierung: 0: „bis 2 Stunden pro Woche“, 1: „über 2 Stunden pro Woche“
- 2) **Buddeln, Graben, Höhlenbauen (nur Kinder):** Häufigkeit von Buddeln, Graben und Höhlenbauen
Codierung A: 0: „nie“, 1: „selten, häufig oder sehr häufig“
Codierung B: 0: „nie oder selten“, 1: „häufig oder sehr häufig“

- 3) **Anstrengende Betätigung im Freien (nur Kinder):** Häufigkeit der Tätigkeiten Fahrrad, Roller, Skateboard fahren, Rollschuh laufen, Ball spielen, toben, rennen, klettern.
Codierung: 0: „seltener“, 1: „häufiger“
- 4) **Hobby Löten, Töpfern oder Metallarbeiten (nur Kinder):** Tätigkeiten Löten, Töpfern oder Metallarbeiten als Hobby
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 5) **Malen mit gelber Farbe (nur Kinder):** Malen mit gelber oder roter Farbe in den letzten vier Wochen
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 6) **Verschmutztes Gesicht nach dem Spielen (nur Kinder):** Zustand des Gesichts, wenn das Kind vom Spielen nach Hause kommt (Probandenangabe)
Codierung A: 0: „völlig“, 1: „ziemlich sauber/etwas/sehr schmutzig“
Codierung B: 0: „völlig/ziemlich sauber“, 1: „etwas/sehr schmutzig“
Codierung C: 0: „völlig/ziemlich sauber/etwas schmutzig“, 1: „sehr schmutzig“
im Modell für Cd/Staubniederschlag (Kinder)
- 7) **Verschmutzte Hände nach dem Spielen (nur Kinder):** Zustand der Hände, wenn das Kind vom Spielen nach Hause kommt (Probandenangabe)
Codierung A: 0: „völlig“, 1: „ziemlich sauber/etwas/sehr schmutzig“
Codierung B: 0: „völlig/ziemlich sauber“, 1: „etwas/sehr schmutzig“
Codierung C: 0: „völlig/ziemlich sauber/etwas schmutzig“, 1: „sehr schmutzig“
- 8) **Verschmutzte Kleidung nach dem Spielen (nur Kinder):** Zustand der Kleidung, wenn das Kind vom Spielen nach Hause kommt (Probandenangabe)
Codierung A: 0: „völlig“, 1: „ziemlich sauber/etwas/sehr schmutzig“
Codierung B: 0: „völlig/ziemlich sauber“, 1: „etwas/sehr schmutzig“
Codierung C: 0: „völlig/ziemlich sauber/etwas schmutzig“, 1: „sehr schmutzig“

Krankheiten und Medikamentengebrauch

- 1) **Grippaler Infekt:** Häufigkeit von grippalen Infekten in den letzten 12 Monaten
Codierung A: 0: „nie“, 1: „selten, häufig oder sehr häufig“
Codierung B: 0: „nie oder selten“, 1: „häufig oder sehr häufig“
- 2) **Grippe:** Häufigkeit von echter Grippe in den letzten 12 Monaten
Codierung A: 0: „nie“, 1: „selten, häufig oder sehr häufig“
Codierung B: 0: „nie oder selten“, 1: „häufig oder sehr häufig“
- 3) **Schnupfen:** Häufigkeit von Schnupfen in den letzten 12 Monaten
Codierung A: 0: „nie“, 1: „selten, häufig oder sehr häufig“
Codierung B: 0: „nie oder selten“, 1: „häufig oder sehr häufig“

- 4) **Starke Infektionsanfälligkeit:** Häufigkeit von (Anfälligkeit gegenüber) Infektionen in den letzten 12 Monaten
Codierung A: 0: „nie“, 1: „selten, häufig oder sehr häufig“
Codierung B: 0: „nie oder selten“, 1: „häufig oder sehr häufig“
- 5) **Erkältungs-/Grippemittel:** Häufigkeit der Einnahme von Erkältungs-/Grippemittel
Codierung A: 0: „weniger als 1 mal/Monat“, 1: „mindestens 1 mal/Monat“
Codierung B: 0: „weniger als 1 mal/Woche“, 1: „mindestens 1 mal/Woche“
- 6) **Schmerzmittel:** Häufigkeit der Einnahme von Schmerzmittel
Codierung A: 0: „weniger als 1 mal/Monat“, 1: „mindestens 1 mal/Monat“
Codierung B: 0: „weniger als 1 mal/Woche“, 1: „mindestens 1 mal/Woche“

Region und Wohnungsumfeld

- 1) **Cadmiumniederschlag in der Außenluft:** Jahresmittelwert des Cadmiumniederschlags, der aus den Monatsmessungen des im Point (Wohnort) aufgestellten Bergerhoff-Geräts berechnet wurde
Ausprägungen: metrisch [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$]
im Modell für: Cd/Urin (Erwachsene, Kinder); Cd/Staubsaugerbeutelinhalt
- 2) **Alte/Neue Bundesländer:** Proband lebt in den alten bzw. neuen Bundesländern
Codierung: 0: „Alte Länder“, 1: „Neue Länder“
im Modell für: Cd/Blut, Cd/Urin, Cd/Haar (Erwachsene, Kinder), Cd/Staubniederschlag (Erwachsene)
- 3) **Einwohner pro Hektar:** Anzahl der Einwohner pro Hektar in der Gemeinde
Ausprägungen: metrisch
- 4) **Gemeindegröße:** Gemeindegrößenklasse der Gemeinde, in der der Proband wohnt
Codierung A: 0: „ab 20 000 Einwohner“, 1: „unter 20 000 Einwohner“
Codierung B: 0: „unter 100 000 Einwohner“, 1: „ab 100 000 Einwohner“
im Modell für: Cd/Staubsaugerbeutelinhalt (Codierung A)
- 5) **Wohngebiet:** Art des Wohngebiets, in dem der Proband wohnt
Codierung: 0: „städtisch“, 1: „Land/ländlich/vorstädtisch“
im Modell für: Cd/Staubsaugerbeutelinhalt
- 6) **Städtisches Wohngebiet:** Art des Wohngebiets, in dem der Proband wohnt
Codierung: 0: „Land/ländlich/vorstädtisch“, 1: „städtisch“
im Modell für: Cd/Blut (Kinder)
- 7) **Bebauungsart der Wohnumgebung:** Bebauungsart der Wohnumgebung des Probanden
Codierung A: 0: „Blockbebauung ohne Grün“, 1: „andere Bebauungsarten“
Codierung B: 0: „Blockbebauung ohne oder mit Grün“, 1: „andere Bebauungsarten“
Codierung C: 0: „Blockbebauung ohne oder mit Grün bzw. aufgelockerte Bebauung“, 1: „Ein-, Zweifamilienhäuser, Villenviertel“

- 8) **Industrie/Gewerbe in Wohnumgebung:** Häufigkeit von Industrie- oder Gewerbebetrieben in einem Umkreis von 3 km der Wohnung des Probanden
Codierung A: 0: „keine Betriebe“, 1: „fast keine, wenige oder viele Betriebe“
Codierung B: 0 „keine oder fast keine Betriebe“, 1: „wenige oder viele Betriebe“
Codierung C: 0: „keine, fast keine oder wenige Betriebe“, 1: „viele Betriebe“
- 9) **Kläranlage/Deponie in Wohnumgebung:** Vorhandensein von Kläranlagen oder Deponien in einem Umkreis von 3 km der Wohnung des Probanden
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 10) **Müllverbrennungsanlage in Wohnumgebung:** Vorhandensein von Müllverbrennungsanlagen in einem Umkreis von 3 km der Wohnung des Probanden
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 11) **Werkstätte in Hausnähe:** Vorhandensein von Werkstätten in einer Entfernung zum Wohnhaus des Probanden von maximal 10 m
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 12) **Fahrstraße in Hausnähe:** Vorhandensein von Fahrstraßen des öffentlichen Ffz-Verkehrs in einer Entfernung zum Wohnhaus des Probanden von maximal 10 m
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 13) **Landwirtschaftsfläche in Hausnähe:** Vorhandensein von Landwirtschaftsflächen in einer Entfernung zum Wohnhaus des Probanden von maximal 10 m
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 14) **Garten:** Vorhandensein und Zugänglichkeit eines Gartens am Haus bzw. eines Schrebergartens
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 15) **Garten am Haus:** Vorhandensein und Zugänglichkeit eines Gartens am Haus
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 16) **Schlechte Luftqualität durch Industrie/Gewerbe:** Eine Ursache für die schlechte Luftqualität in der Wohnung oder Wohnumgebung sind Luftverschmutzungen durch Industrie/Gewerbe (Probandenangabe)
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 17) **Schlechte Luftqualität durch private Verbraucher:** Eine Ursache für die schlechte Luftqualität in der Wohnung oder Wohnumgebung sind Luftverschmutzungen durch private Verbraucher, z. B. Verschmutzungen durch Heizungen und Kamine (Probandenangabe)
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 18) **Schlechte Luftqualität durch andere Verbrennungsprozesse :** Eine Ursache für die schlechte Luftqualität in der Wohnung oder Wohnumgebung sind Luftverschmutzungen durch andere Verbrennungsprozesse aus Kraftwerken, Heizwerken und Müllverbrennungsanlagen (Probandenangabe)
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“

Häuslicher Bereich

- 1) **Cadmiumgehalt im häuslichen Staubbiederschlag:** Cadmiumgehalt im Staubbiederschlag aus einem Staubsammelbecher. Der normierte Staubsammelbecher wurde in dem Raum der Wohnung aufgestellt, in dem sich der Proband gewöhnlich am längsten aufhält, und stand dort ein Jahr lang.
Ausprägungen: metrisch [$\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$]

- 2) **Cadmiumgehalt im Staubsaugerbeutel:** Cadmiumgehalt in dem gesaugten Staub, der sich zum Zeitpunkt der Befragung im Staubsaugerbeutel befand
Ausprägungen: metrisch [$\mu\text{g}/\text{g}$]
im Modell für: Cd/Haar (Erwachsene)

- 3) **Cadmiumgehalt im häuslichen Trinkwasser:** Cadmiumgehalt im Haushaltstrinkwasser, welches in Form einer Spontanprobe (Entnahme zum Zeitpunkt der Befragung) und einer Stagnationsprobe (nach nächtlicher Stagnation) entnommen wurde.
Ausprägungen: metrisch [$\mu\text{g}/\text{l}$]
Variante A: Cadmiumgehalt in der Spontanprobe
Variante B: Cadmiumgehalt in der Stagnationsprobe
Variante C: Mittelwert aus den Cadmiumgehalten in der Spontan- und Stagnationsprobe
im Modell für: Cd/Haar (Erwachsene, Variante C)

- 4) **Alter des Wohnhauses:** Alter des Hauses, in dem der Proband wohnt
Ausprägungen: metrisch [Jahre]
im Modell für: Cd/Staubbiederschlag (Erwachsene, Kinder), Cd/Staubsaugerbeutelinhalt

- 5) **Baujahr des Wohnhauses:** Baujahr des Hauses, in dem der Proband wohnt
Codierung A: 0: „bis 1949“, 1: „ab 1950“
Codierung B: 0: „bis 1980“, 1: „ab 1980“

- 6) **Typ des Wohnhauses:** Typ des Hauses, in dem der Proband wohnt
Codierung A: 0: „Hochhaus, Wohnblock“, 1: „Ein-, Zwei- oder Mehrfamilienhaus“
Codierung B: 0: „kein Ein- oder Zweifamilienhaus“, 1: „Ein- oder Zweifamilienhaus“
Codierung C: 0: „kein Einfamilienhaus“, 1: „Einfamilienhaus“

- 7) **Wohndauer:** Anzahl der Jahre, die der Proband im jetzigen Wohnhaus wohnt
Ausprägungen: metrisch [Jahre]

- 8) **Wohndichte im Haushalt:** durchschnittlich Quadratmeterzahl Wohnfläche pro Person
Ausprägungen: metrisch [m^2/Person]
Codierung: 0: „ab 32 m^2/Person “, 1: „unter 32 m^2/Person “
im Modell für: Cd/Staubbiederschlag (Kinder) [metrisch], Cd/Staubsaugerbeutelinhalt [codiert]

- 9) **Wohnbesitz:** Proband ist Eigentümer der genutzten Wohnung bzw. des bewohnten Hauses
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“

- 10) **Kleinkinder im Haushalt:** Zum Haushalt gehören Kinder unter 6 Jahren
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 11) **Kinder bis 14 Jahre im Haushalt:** Zum Haushalt gehören Kinder bis 14 Jahre
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 12) **Anzahl der Kinder bis 14 Jahre im Haushalt:** Anzahl der zum Haushalt gehörenden Kinder bis 14 Jahre
Ausprägung: metrisch
im Modell für: Cd/Staubniederschlag (Erwachsene, Kinder)
- 13) **Haustier:** In der vom Probanden genutzten Wohnung leben Haustiere
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 14) **Haustiere mit Fell oder Federn:** In der vom Probanden genutzten Wohnung leben Haustiere mit Fell oder Federn
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
im Modell für: Cd/Staubniederschlag (Erwachsene)
- 15) **Hund:** In der vom Probanden genutzten Wohnung lebt mindestens ein Hund
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 16) **Ofenheizung mit Kohle/Holz:** Ofenheizung mit Kohle/Holz ist die vorherrschende Heizungsart in der Wohnung des Probanden
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
im Modell für: Cd/Staubniederschlag (Erwachsene)
- 17) **Einzeln zu bedienende Öfen:** Einzeln zu bedienende Öfen in der Wohnung des Probanden
Codierung: 0: „nicht vorhanden“, 1: „vorhanden“
- 18) **Einzeln zu bedienende Holz/Kohle-Öfen:** Einzeln zu bedienende Holz/Kohle-Öfen in der Wohnung des Probanden
Codierung: 0: „nicht vorhanden“, 1: „vorhanden“
- 18) **Heizen mit Holz und Kohle:** Wohnung des Probanden wird mit Holz und Kohle geheizt
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 19) **Kochen mit Holz und Kohle:** Proband kocht mit Holz und Kohle
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 20) **Warmwasser mit Holz und Kohle:** Proband bereitet warmes Wasser mit Holz und Kohle
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 21) **Holzschutzmittel:** In der Wohnung wurden chemische Holzschutzmittel verstrichen
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“

- 22) **Luftverbesserer:** In der Wohnung werden Geräte zur Luftverbesserung verwendet (Verdampfer, Zerstäuber, Verdunster, Wasserbehälter, Luftbefeuchter, Klimaanlage)
Codierung: 0: „ja“, 1: „nein“
- 23) **Lüftungsmöglichkeiten:** Wohnung des Probanden verfügt über zusätzliche Lüftungsmöglichkeiten außer den Fenstern (Belüftungsschächte, Lüftungsgitter)
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 24) **Luftqualität in der Wohnung:** Einschätzung der Luftqualität in der Wohnung durch den (erwachsenen) Probanden; im Sommer und in der Heizperiode
Ausprägungen: sehr gut, gut, befriedigend, ausreichend, mangelhaft
Codierung A: 0: „sehr gut/gut/befriedigen/ausreichend“, 1: „mangelhaft“
Codierung B: 0: „sehr gut/gut/befriedigend“, 1: „ausreichend/mangelhaft“
Codierung C: 0: „sehr gut/gut“, 1: „befriedigend/ausreichend/mangelhaft“
Codierung D: 0: „sehr gut“, 1: „gut/befriedigend/ausreichend/mangelhaft“

Arbeitsplatz und soziale Stellung (nur Erwachsene)

- 1) **Berufstätigkeit:** Momentane Berufstätigkeit des Probanden
Codierung: 0: „nein“ 1: „ja“
- 2) **Cadmium am Arbeitsplatz:** Cadmium am derzeitigen Arbeitsplatz nach Probandenangabe
Codierung: 0: „nie“ 1: „selten/gelegentlich, häufig, sehr häufig/immer“
- 3) **Staub am Arbeitsplatz:** Staub am derzeitigen Arbeitsplatz nach Probandenangabe.
Bemerkung: Im Umwelt-Fragebogen wurde hinsichtlich des Arbeitsplatzes die Häufigkeit von Staub in der Luft, von Staub an Arbeitsmitteln und Produkten, von Staub am Boden sowie von Schmutz an der Arbeitskleidung erfragt. Es wurden alle Varianten geprüft.
Codierung: 0: „nie oder selten/gelegentlich“ 1: „häufig, sehr häufig/immer“
- 4) **Schmutz an der Arbeitskleidung:** Schmutz an der Arbeitskleidung nach Probandenangabe
Ausprägungen: nie, selten/gelegentlich, häufig, sehr häufig/immer
Codierung: 0: „nie/selten/gelegentlich“, 1: „häufig/sehr häufig/immer“
im Modell für: Cd/Staubniederschlag (Erwachsene)
- 5) **Metalle und Metallverbindungen am Arbeitsplatz:** Metalle und Metallverbindungen am derzeitigen Arbeitsplatz nach Probandenangabe
Codierung A: 0: „nie“ 1: „selten/gelegentlich, häufig, sehr häufig/immer“
Codierung B: 0: „nie, selten/gelegentlich“ 1: „häufig, sehr häufig/ immer“
Codierung C: 0: „nie, selten/gelegentlich, häufig“ 1: „sehr häufig/immer“
- 6) **Arbeiter:** Derzeitige berufliche Stellung des Probanden ist Arbeiter
Codierung: 0: „nein“ 1: „ja“

- 7) **Fabrik-/Werkhallen als Arbeitsplatz** : Häufiger/ständiger Arbeitsplatz in Fabrikhallen, Werkhallen, Werkstätten oder Lagerräumen
Codierung: 0: „nein“ 1: „ja“
im Modell für: Cd/Urin (Erwachsene)
- 8) **Beschäftigter in Land- bzw. Forstwirtschaft:** Proband ist gegenwärtig in der Land- bzw. Forstwirtschaft tätig
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 9) **Beschäftigter in Energiewirtschaft bzw. Bergbau:** Proband ist gegenwärtig in der Energiewirtschaft bzw. im Bergbau tätig
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 10) **Beschäftigter in Eisen- und Stahlindustrie:** Proband ist gegenwärtig in der Eisen- und Stahlindustrie tätig
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 11) **Beschäftigter im Maschinenbau:** Proband ist gegenwärtig im Maschinenbau tätig
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 12) **Beschäftigter in Automobilindustrie und Kfz-Gewerbe:** Proband ist gegenwärtig in der Automobilindustrie bzw. im Kfz-Gewerbe tätig
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 13) **Beschäftigter in der Elektrotechnik, Feinmechanik oder Optik:** Proband ist gegenwärtig in der Elektrotechnik, Feinmechanik oder Optik tätig
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 14) **Berufliche Stellung:** Momentane berufliche Stellung des Probanden
Ausprägungen: Arbeiter, Angestellter, Beamter, Selbständiger (ohne Landwirte), selbständiger Landwirt, mithelfender Familienangehöriger
Codierung: verschiedene Binärodierungen
- 15) **Schulabschluß:** höchster Schulabschluß des Probanden
Codierung A: 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“
Codierung B: 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“
Codierung C: 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“

- 16) **Haushaltseinkommen:** Monatliches Nettoeinkommen des Haushalts, in dem der Proband lebt
Ausprägungen: metrisch [DM]

Haarmerkmale

- 1) **Haarwuchs:** Haarwuchs an der Stelle des Hinterkopfes, wo die Haarprobe entnommen wurde
Codierung: 0: „dicht“ 1: „schütter“
im Modell für: Cd/Haar (Erwachsene)
- 2) **Dauerwelle:** Proband hat eine Dauerwelle zum Zeitpunkt der Entnahme der Haarprobe
Codierung: 0: „nein“ 1: „ja“
im Modell für: Cd/Haar (Erwachsene)
- 3) **Haarstruktur:** Natürliche Haarstruktur des Probanden
Ausprägungen: glatt, gewellt, kraus
Codierungen: verschiedene Binärcodierungen
- 4) **Färbung/Tönung:** Proband hat gefärbtes oder getöntes Haar zum Zeitpunkt der Entnahme der Haarprobe
Codierung: 0: „nein“ 1: „ja“
- 5) **Haarfarbe:** Natürliche Haarfarbe des Probanden
Ausprägungen: teilweise/überwiegend grau, blond, braun (Erwachsene)
 blond, braun (Kinder)
Codierungen: verschiedene Binärcodierungen
- 6) **Letzte Haarwäsche:** Zeitpunkt der letzten Haarwäsche des Probanden
Ausprägungen: vor 0 bis 1 Tag, vor 2 bis 3 Tagen, vor 4 und mehr Tagen (Erwachsene, Kinder)
Codierungen: verschiedene Binärcodierungen
- 7) **Antischuppen-Haarwaschmittel:** Proband hat bei der letzten Haarwäsche ein Antischuppen-Haarwaschmittel benutzt
Codierung: 0: „nein“ 1: „ja“

Probenahmeraum (Staubbiederschlag)

- 1) **Art des Raums:** Art des Probenahmeraumes, in dem der Staubsammelbecher stand
Ausprägungen: Wohnzimmer, (Eß-)Küche, Eßzimmer, Arbeitszimmer, Näh-, Bügel-, Hobbyraum, Jugend/Kinderzimmer, Wohn- und Schlafrum, Wohnküche, Wohn- und Eßzimmer
Codierung: verschiedene Binärcodierungen
- 2) **Stockwerk:** Stockwerk, in dem sich der Probenahmeraum befindet
Ausprägungen: Erdgeschoß/Keller, 1. Stock, 2. Stock, 3. Stock oder höher
Codierung: verschiedene Binärcodierungen

- 3) **Bodenbelag:** Art des Bodenbelags im Probenahmeraum
Ausprägungen: Teppichboden/Teppich, glatter Boden mit Teppichen, glatter Boden ohne Teppiche
Codierung: verschiedene Binärcodierungen
- 4) **Fenster:** Art der Fenster, über die der Probenahmeraum verfügt
Ausprägungen: Einfachfenster, Kastendoppelfenster
Codierung: 0: „Kastendoppelfenster“, 1: „Einfachfenster“
- 5) **Fensterdichtung:** Art der Fenster-Dichtung im Probenahmeraum
Ausprägungen: Keine Dichtung, Einfachdichtung, Mehrfachdichtung
Codierung: verschiedene Binärcodierungen
- 6) **Dichtigkeit der Fenster:** Dichtigkeit der geschlossenen Fenster im Probenahmeraum
Ausprägungen: sehr dicht oder dicht, eher zugig
Codierung: 0: „sehr dicht/dicht“, 1: „eher zugig“
- 7) **Wohndichte im Probenahmeraum:** Anzahl der Personen, die sich im allgemeinen im Probenahmeraum aufhalten, bezogen auf die Grundfläche des Probenahmeraumes
Ausprägungen: metrisch [m^2/Person]
im Modell für: Cd/Staubniederschlag (Erwachsene)
- 8) **Aufenthaltsdauer des Probanden im Probenahmeraum:** Anzahl der Stunden, die sich der Proband im allgemeinen im Probenahmeraum aufhält
Ausprägungen: metrisch [Stunden]
im Modell für: Cd/Staubniederschlag (Erwachsene)
- 9) **Rauchen im Probenahmeraum:** Wird in diesem Raum gewöhnlich geraucht?
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
- 10) **Anzahl der Raucher im Probenahmeraum:** Anzahl der Personen, die im allgemeinen in diesem Raum rauchen
Ausprägungen: metrisch
- 11) **Anzahl der im Probenahmeraum gerauchten Zigaretten:** Anzahl der gewöhnlich pro Tag im Probenahmeraum gerauchten Zigaretten
Ausprägungen: metrisch
im Modell für: Cd/Staubniederschlag (Erwachsene)
- 12) **Pflanzen im Probenahmeraum:** Anzahl der Zimmerpflanzen in diesem Raum
Ausprägungen: keine, einige, viele
Codierung: 0: „keine/einige“, 1: „viele“
im Modell für: Cd/Staubniederschlag (Erwachsene)
- 13) **Luftverbesserer im Probenahmeraum:** Im Probenahmeraum werden Geräte zur Luftverbesserung verwendet (Verdampfer, Zerstäuber, Verdunster, Wasserbehälter, Luftbefeuchter, Klimaanlage)
Codierung: 0: „ja“, 1: „nein“

- 14) **Lüftungsmöglichkeiten im Probenahmeraum:** Probenahmeraum verfügt über zusätzliche Lüftungsmöglichkeiten außer den Fenstern (Belüftungsschächte, Lüftungsgitter)
Codierung: 0: „ja“, 1: „nein“
- 15) **Straße vom Probenahmeraum aus sichtbar:** Eine Straße ist vom Probenahmeraum aus sichtbar (Probandenangabe)
Codierung: 0: „ja“, 1: „nein“
- 16) **Entfernung:** Entfernung dieser Straße
Ausprägungen: metrisch [Anzahl der Spuren]
Codierung: verschiedene Binärcodierungen
- 17) **Fahrspuren:** Anzahl der Spuren dieser Straße
Ausprägungen: metrisch [Meter]
Codierung: verschiedene Binärcodierungen

Probenahme (Staubsaugerbeutelinhalt)

- 1) **Auch außerhalb der Wohnung gesaugt:** Es wurde mit dem Staugsauger auch außerhalb des Hauses bzw. der Wohnung, z. B. in der Garage, auf der Terrasse oder auf dem Balkon, gesaugt
Codierung: 0: „nein“, 1: „ja“
im Modell für: Cd/Staubsaugerbeutelinhalt
- 2) **Verweildauer des Beutels im Staubsauger:** Anzahl der Wochen, die sich der entnommene Staubsaugerbeutel im Staubsauger befand
Ausprägungen: bis 1; über 1 bis 2; über 2 bis 4; über 4 Wochen
Codierung: 0: „bis zu 4 Wochen“, 1: „über 4 Wochen“
im Modell für: Cd/Staubsaugerbeutelinhalt
- 3) **Art der gesaugten Böden:** Art der Böden, auf denen gesaugt wurde
Ausprägungen: nur glatter Boden, Teppichboden/Teppich, glatter Boden und Teppichboden/Teppich
Codierung: 0: „auch glatter Boden“, 1: „nur Teppich“

Jahreszeit und Temperatur

- 1) **Kalte/Warme Jahreszeit:** Jahreszeitliche Einordnung des Untersuchungszeitraumes
Codierung: 0: „Oktober bis April“ 1: „Mai bis September“
im Modell für: Cd/Blut (Kinder)
- 2) **Mittlere Tageshöchsttemperatur:** Mittlere Tageshöchsttemperatur während des Untersuchungszeitraumes am Wohnort des Probanden
Ausprägungen: metrisch [° C]
im Modell für: Cd/Haar (Erwachsene), Cd/Staubsaugerbeutelinhalt