

---

# WaBoLu Hefte

---

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

---

Umwelt  
Bundes  
Amt

WaBoLu

7

93

ISSN  
0175-4311

**Umwelt-Survey 1985/86**

**Band IVb:**

## **Blei**

von

W. Bernigau, K. Becker,  
M. Chutsch-Abelmann, M. Henke,  
G. Krause, G. Schulz, E. Schwarz,  
W. Thefeld

WaBoLu

7

93

ISSN  
0175-4311

**Umwelt-Survey 1985/86**

**Band IVb:**

# **Blei**

von

**W. Bernigau, K. Becker,  
M. Ghutsch-Abelmann, M. Henke,  
C. Krause, C. Schulz, E. Schwarz,  
W. Thefeld**

Die diesem Berichtsband zugrunde liegenden Arbeiten wurden im Rahmen der vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit geförderten Forschungsvorhaben "Messung und Analyse von Umweltbelastungsfaktoren in der Bundesrepublik Deutschland" (FKZ 116 06 067) durchgeführt.

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

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

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

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

Redaktion: Fachgebiet V 4.3  
Dr. Christian Krause

Berlin, September 1996

- Durchführung:** Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes,  
(früher: Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes)  
Corrensplatz 1, 14195 Berlin,  
Robert Koch-Institut - Bundesinstitut für Infektionskrankheiten  
und nicht übertragbare Krankheiten -,  
Infratest Gesundheitsforschung, München
- Auftraggeber:** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU)
- Projektträger:** Umweltbundesamt (UBA)
- Projektbegleiter:** Dr. Jutta Dürkop / Dr. D. Eis
- Projektleitung:** Dr. C. Krause
- Berichtersteller:** W. Bernigau, K. Becker, M. Chutsch-Abelmann, M. Henke, C. Krause,  
C. Schulz, E. Schwarz, W. Thefeld
- unter weiterer Mitarbeit von:** S. Ackerschewski, L. Donner, M. Drews, P. Dube, N. Englert, C. Fleischer,  
T. Gieczinski, D. Hähnlein, H. Hähnlein, K. Hoffmann, C. Hohmann, U. Kaiser,  
U. Kortwich, G. Kramm, M. Leiske, B. Mack, E. Meyer, D. Neumann, B. Nowack,  
I. Peros, H. Pick-Fuss, C. Rettich, E. Roßkamp, W. Rotard, B. Seifert, M. Thiel,  
L. Windmüller, R. Wolter, C. Woodgett,  
Institut für Sozialmedizin und Epidemiologie des Bundesgesundheitsamtes,  
Feldteams des Nationalen Untersuchungs-Surveys,  
Infratest Gesundheitsforschung und  
Epidemiologische Forschung Berlin
- Sachverständige, die dem Projekt begleitend zur Seite gestanden haben:**  
Prof. Dr. J. Bortz (Institut für Psychologie der TU Berlin)  
Prof. Dr. U. Ewers (Hygieneinstitut des Ruhrgebiets Gelsenkirchen,  
Abt. Umweltmedizin und Umwelttoxikologie; früher: Medizinisches Institut  
für Umwelthygiene an der Universität Düsseldorf)  
Prof. Dr. K. H. Jöckel (Institut für medizinische Informatik, Biometrie und  
Epidemiologie, Universitätsklinikum Essen; früher: Bremer Institut  
für Präventionsforschung und Sozialmedizin, Bremen)
- Danksagung:** Wir möchten an dieser Stelle allen Beteiligten an dieser Studie und den Bürgern, die  
an dieser zeitintensiven Untersuchung teilgenommen haben, sowie den Mitarbeitern  
der örtlichen Gesundheits- und Umweltämter, Krankenhäuser, Rathäuser usw., die  
uns bei der Durchführung unterstützt haben, unseren herzlichen Dank aussprechen.

## Inhaltsverzeichnis

<b>Zusammenfassung</b> .....	<b>1</b>
<b>Summary</b> .....	<b>7</b>
<b>1. Problemstellung und Methoden</b> .....	<b>13</b>
1.1 Vorbemerkungen.....	13
1.2 Studienbeschreibung.....	13
1.3 Instrumentarium.....	15
1.4 Zur Bedeutung von Blei.....	17
1.5 Blei in den Untersuchungsmaterialien.....	19
1.6 Probenahme und Analytik.....	20
1.6.1 Probenahme.....	20
1.6.2 Analytik.....	21
1.7 Variablenorganisation.....	21
1.8 Variablentransformation.....	23
1.9 Sicherung der Datenqualität.....	23
1.10 Statistische Methoden.....	23
1.10.1 Mathematische Form.....	24
1.10.2 Auswahl der zu prüfenden Prädiktoren.....	24
1.10.3 Auswahlbedingungen für die Modellbildung.....	25
1.10.4 Effektstärken.....	25
1.10.5 Multikollinearität.....	26
1.11 Regionale Variablen.....	28
1.12 Verfahrensvoraussetzungen.....	29
1.13 Stabilitätsprüfungen.....	29
1.13.1 Kreuzvalidierungen.....	30
1.13.2 Regionale Stabilitätsprüfung.....	30
1.14 Weitere Subgruppen-Regressionen.....	30
1.15 Genauigkeit der Ergebnisse.....	30
1.16 Grafische Darstellungen der Ergebnisse.....	31
<b>2. Vorhersagemodelle für die Bleivariablen</b> .....	<b>33</b>
2.1 Auswahl der Kriterien.....	33
2.2 Deskription der Bleivariablen.....	33
2.3 Zusammenhänge der Bleivariablen untereinander.....	36

2.4	<b>Blei im Blut</b> .....	39
2.4.1	Modell für Logarithmus des Bleigehaltes im Blut.....	39
2.4.2	Varianzkomponenten.....	42
2.4.3	Transformiertes Modell für Bleigehalt im Blut.....	44
2.4.4	Stabilitätsprüfungen.....	52
2.4.4.1	Kreuzvalidierung.....	52
2.4.4.2	Stabilität nach Regionen.....	52
2.4.5	Geschlechtsspezifische Modelle.....	53
2.4.6	Nach Raucherstatus differenzierte Modelle.....	56
2.4.7	Diskussion.....	56
2.4.7.1	Alkohol.....	56
2.4.7.2	Geschlecht.....	58
2.4.7.3	Alter.....	58
2.4.7.4	Hämatokrit.....	59
2.4.7.5	Kalzium.....	59
2.4.7.6	Berufliche Belastung mit Schwermetallen.....	60
2.4.7.6	Thiocyanat (Rauchen).....	61
2.4.7.8	Bleiniederschlag im Haushalt.....	62
2.4.7.9	Trinkwasser.....	62
2.4.7.10	Bevölkerungsdichte und regionale Effekte.....	63
2.4.8	Weitere Informationen.....	64
2.5	<b>Blei im Haar</b> .....	65
2.5.1	Modell für Logarithmus des Bleigehaltes im Haar.....	65
2.5.2	Varianzkomponenten.....	67
2.5.3	Transformiertes Modell für Bleigehalt im Haar.....	68
2.5.4	Stabilitätsprüfungen.....	70
2.5.5	Geschlechtsspezifische Modelle.....	70
2.5.6	Nach Raucherstatus differenzierte Modelle.....	73
2.5.7	Diskussion.....	73
2.5.7.1	Bleigehalt im Blut.....	73
2.5.7.2	Jahreszeit der Haarentnahme.....	74
2.5.7.3	Staubbelastung im Beruf.....	74
2.5.7.4	Pension, Rente.....	74
2.5.7.5	Bleiniederschlag im Haushalt.....	74
2.5.7.6	Regionale Effekte.....	75
2.5.8	Weitere Informationen.....	75

2.6	<b>Blei im Inhalt des Staubsaugerbeutels</b>	78
2.6.1	Modell für Logarithmus der Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel	78
2.6.2	Varianzkomponenten	79
2.6.3	Transformiertes Modell für Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel	80
2.6.4	Stabilitätsprüfungen	81
2.6.4.1	Kreuzvalidierung	81
2.6.4.2	Stabilität nach Regionen	81
2.6.5	Diskussion	81
2.6.5.1	Art des Bodenbelages	81
2.6.5.2	Anteil Freiflächen in der Region	81
2.6.6	Weitere Informationen	82
2.6.6.1	Alter des Wohnhauses	82
2.6.6.2	Gemeindegrößenklasse	82
2.6.6.3	Wohnvolumen pro Person	82
2.6.6.4	Brennstoffe	82
2.6.6.5	Zeitdauer seit letzter Staubbeutelreinigung	82
2.6.6.6	Weitere regionale Variablen	83
2.6.6.7	Renovierungsmaßnahmen in der Wohnung	83
2.7	<b>Bleiniederschlag im Haushalt</b>	84
2.7.1	Modell für Logarithmus des Bleiniederschlags im Haushalt	84
2.7.2	Varianzkomponenten	86
2.7.3	Transformiertes Modell für den Bleiniederschlag im Haushalt	86
2.7.4	Stabilitätsprüfungen	90
2.7.4.1	Kreuzvalidierung	90
2.7.4.2	Stabilität nach Regionen	90
2.7.5	Diskussion	90
2.7.5.1	Aufstellzimmer des Staubbeckers	90
2.7.5.2	Alter des Wohnhauses	91
2.7.5.3	Heizungsart	91
2.7.5.4	Wohnungslage (Etage)	91
2.7.5.5	Nutzungs-Intensität der Wohnung	92
2.7.5.6	Bevölkerungsdichte der Gemeinde	92
2.7.6	Weitere Informationen	93
3.	<b>Schlußfolgerungen</b>	95
4.	<b>Literatur</b>	98
	<b>Anhang: Liste der in den Regressionsmodellen enthaltenen Variablen</b>	106

## ZUSAMMENFASSUNG

*Im Rahmen des Umwelt-Surveys in der Bundesrepublik Deutschland 1985/86 wurde eine repräsentative Stichprobe aus der Bevölkerung der (damaligen) Bundesrepublik Deutschland im Alter von 25 bis 69 Jahren untersucht und befragt. Ziele des Surveys waren einerseits die Erzeugung von Basisdaten für Vergleichs- und Richtwerte sowie Referenzbereiche im Hinblick auf human-biologische Schadstoffbelastungen und Schadstoffbelastungen des häuslichen Bereichs sowie andererseits die Analyse von Zusammenhängen zwischen diesen korporalen und häuslichen Belastungen und Expositionen unterschiedlicher Art. Die wichtigsten Grundlagen für die Datengewinnung im Umwelt-Survey waren Blut-, Urin- und Haarproben der Probanden, Staub- und Trinkwasserproben aus ihren Haushalten, ein umweltbezogener Fragebogen "Umwelt und Gesundheit" und ein mehr gesundheitlich und am Lebensstil orientierter Fragebogen "Leben und Gesundheit" (s. Kap. 1).*

*Das Schwermetall Blei wurde im Blut, im Haar, in dem in einem Staubsaugerbeutel befindlichen Material, im Hausstaubniederschlag und im Trinkwasser gemessen (WaBoLu-Hefte 5/89, 2/91 und 3/91). Die geometrische Mittelwerte betragen  $6,9 \mu\text{g Pb} / 100 \text{ ml Blut}$ ,  $1,4 \mu\text{g Pb} / \text{g Haar}$ ,  $25,3 \mu\text{g Pb} / \text{g Staub}$  im Staubsaugerbeutel bzw.  $0,42 \mu\text{g Pb} / (\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$  im Hausstaubniederschlag und  $2,0 \mu\text{g Pb} / \text{l Trinkwasser}$  (Spontanprobe, häuslicher Zapfhahn).*

*Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse multivariater Zusammenhangsanalysen bei überwiegend explorativer Vorgehensweise dargestellt, d.h. es werden die Einflußgrößen ("Prädiktoren") angegeben, für die statistische Korrelationen mit den Bleigehalten im Blut, in Haarproben und im Hausstaub ("Zielvariablen") ermittelt wurden. Weiterhin werden Interpretationen dieser statistischen Befunde gegeben, die Einblicke in mögliche kausale Zusammenhänge erleichtern sollen.*

*Zur Bestimmung der wesentlichen Einflußgrößen auf die Bleigehalte in den humanbiologischen Proben (Blut, Haar) und im Hausstaub (Staubsaugerbeutel, Staubsammelbecher) wurden mittels multipler Regressionsanalysen 4 lineare Modelle für die logarithmierten Gehalte gebildet (Kap. 1.10). Bei den Arbeiten zur Erstellung der Modelle wurden ca. 750 Variablen (z.B. Angaben aus den Fragebögen zum Rauch- und Ernährungsverhalten, klinisch-chemische Parameter u.a.m.), die mit der Zielvariablen zusammenhängen könnten, berücksichtigt. Die schließlich erstellten Modelle wurden kreuzvalidiert und in ausgewählten Untergruppen der Stichprobe überprüft. Im folgenden sind die gefundenen Einflußgrößen der vier Modelle und für jedes Modell der Anteil an der Gesamtvarianz der Zielvariablen, der durch die jeweiligen Einflußgrößen insgesamt "erklärt" werden kann, angegeben. Dieser "erklärbare" Anteil an der Gesamtvarianz ist ein Maß für die Güte des Modells. Er liegt theoretisch zwischen 0 und 100 %, wobei 0 bedeutet, daß kein multipler Zusammenhang zwischen den im Modell ermittelten Einflußgrößen und der Zielgröße besteht; bei 100 % wäre das Modell vollständig, d.h. daß bei Kenntnis der individuellen Werte bzw. Angaben für die Einflußgrößen der zutreffende Wert für die Zielvariable exakt "vorhergesagt" werden könnte. Dieser Idealfall ist mit Daten aus epidemiologischen Untersuchungen praktisch nie erreichbar.*

*Es sei noch angemerkt, daß im Rahmen des Umwelt-Surveys keine Zusammenhangsanalyse für den Bleigehalt des Trinkwassers als Zielgröße durchgeführt wurde, da über die Faktoren, die den Bleigehalt im*

Trinkwasser beeinflussen (Installationsmaterial, pH-Wert und andere physikochemische Eigenschaften des Wassers), bereits umfangreiche Kenntnisse vorliegen und die Möglichkeiten zur Verminderung dieser Kontamination grundsätzlich bekannt sind. Als mögliche Einflußgröße z.B. auf den Blutbleispiegel wurde der Bleigehalt im Trinkwasser natürlich in die Berechnungen einbezogen.

Für den **Bleigehalt im Blut** ergab sich ein Modell mit 17 Prädiktoren (Kap. 2.4.1). Mit diesen 17 Prädiktoren konnten 31 % der Gesamtvarianz des Blutbleigehaltes erklärt werden. Die deutlichsten Zusammenhänge ergaben sich dabei mit dem Geschlecht und Variablen zum Konsum von Wein/Sekt sowie Bier.

Ein starker Zusammenhang besteht zwischen dem Geschlecht und dem Blutbleispiegel (Kap. 2.4.7.2). Für Männer wird zunächst ein um 18 % höherer Wert ermittelt. Durch weitere Prädiktoren des Modells (z.B. Hämatokrit bzw. hier Zellpackungsvolumen, Bierkonsum, berufliche Bleiexposition, Thiocyanat), die sich für Männer und Frauen hinsichtlich ihres Mittelwertes bzw. der Häufigkeit der Ausprägungen unterscheiden, erhöht sich der nach dem Modell gefundene Unterschied im Blutbleispiegel zwischen Männern und Frauen weiter. Das geometrische Mittel des Blutbleispiegels in der Stichprobe liegt für Männer um ca. 37 % höher als für Frauen.

Der positive Zusammenhang mit dem Zellpackungsvolumen (Kap. 2.4.7.4) ist plausibel, da Blei im Blut vorwiegend an die roten Blutkörperchen gebunden ist und das Zellpackungsvolumen ein Maß für den Anteil der Erythrozyten am Gesamtvolumen der Blutes darstellt. Dieser Anteil liegt bei Männern im allgemeinen höher als bei Frauen. Bei einer Erhöhung des Zellpackungsvolumens um 0,01 steigt nach der Modellberechnung der Blutbleispiegel um 1 %.

Im Umwelt-Survey wurde ein Anstieg des Blutbleispiegels bis zu einem (rechnerischen) Maximum bei einem Lebensalter von 57 Jahren gefunden (Kap. 2.4.7.3). Danach sinkt er wieder leicht ab. Der mittlere Anstieg pro Lebensjahr beträgt ca. 0,7 %. Dabei ist zu beachten, daß es sich um eine Querschnitts-Stichprobe handelt. Der gefundene Zusammenhang läßt keine Prognose über den zeitlichen Verlauf der Entwicklung des Blutbleispiegels im Einzelfall oder in einer Bevölkerungsgruppe zu.

Ein weiterer positiver Zusammenhang konnte zwischen dem Blutbleispiegel und dem Bleigehalt im Trinkwasser gefunden werden (Kap. 2.4.7.9). Dabei waren die Bleigehalte sowohl im Blut als auch im Trinkwasser insgesamt relativ niedrig. Der Einfluß des Bleigehaltes im Trinkwasser ist durch die wahrscheinlich effiziente Absorption des Bleis aus dem Trinkwasser im Magen-Darm-Trakt dennoch nachweisbar. Wie aus anderen Studien bekannt, ist dieser Einfluß bei höheren Konzentrationen im Trinkwasser noch deutlicher.

Ein wichtiger Faktor für den Bleigehalt im Blut ist der Konsum von Wein/Sekt und Bier. Für eine Person, die häufiger als einmal pro Woche Wein/Sekt trinkt, ergibt sich nach dem Modell ein um 22 % höherer Blutbleispiegel gegenüber Personen, die bis zu einmal pro Woche Wein/Sekt trinken. Wurden mehr als zwei Gläser Wein in den letzten 24 h vor der Blutabnahme getrunken, so ergibt sich nach dem Modell ein um 20 % erhöhter Blutbleispiegel. Für eine Person, die mindestens einmal wöchentlich Bier trinkt, wird ein um 10 % höherer Bleigehalt im Blut errechnet. Für den höheren Blutbleispiegel kann der Bleigehalt der

genannten Getränke nicht allein ausschlaggebend sein. Möglicherweise erhöht Alkohol die Resorption von Blei aus Nahrungsmitteln oder Getränken.

Der Einfluß einer beruflichen Bleiexposition auf den Blutbleispiegel (Kap. 2.4.7.6) ist aus vielen Studien bekannt. Für die hier vorliegende Untersuchung der Allgemeinbevölkerung ist ein solcher Zusammenhang ebenfalls nachweisbar. Wird der Arbeitsplatz des Befragten aufgrund der Fragebogendaten von einem Arbeitsmediziner als „deutlich bleibelastet“ (gegenüber der Kategorie „nicht oder gering bleibelastet“) eingestuft, so ergibt das Modell einen um 23 % höheren Bleigehalt im Blut. Wenn der Befragte selbst angibt, im Beruf einer Belastung mit Metallen oder Schwermetallen ausgesetzt zu sein, ist nach dem Modell ein um 14 % höherer Bleigehalt zu erwarten.

Eine leichte Zunahme des Bleigehaltes im Blut ist mit zunehmender Bevölkerungsdichte in der Gemeinde und mit wachsendem Anteil von Arbeitnehmern in der Elektro- und Metallindustrie im Landkreis zu verzeichnen (Kap. 2.4.7.10). Beide Prädiktoren könnten Indikatoren für die Urbanisierung und damit für die regionale Belastung der Außenluft sein.

Ein positiver Zusammenhang zeigt sich auch zwischen dem Blutbleispiegel und dem Bleiniederschlag im sedimentierten Hausstaub (Kap. 2.4.7.8). Hier könnte eine höhere niedergeschlagene Bleimenge auf eine höhere Belastung in staubreicheren Räumen hinweisen. Denkbar ist auch der Einfluß einer erhöhten regionalen Bleibelastung (und damit einer möglicherweise erhöhten Bleiexposition über andere Eintragspfade). Danach bestünde also evtl. ein gemeinsamer Einfluß der Außenluft sowohl auf den Blutbleispiegel als auch auf den Bleiniederschlag im Haushalt.

Zwischen dem Bleigehalt im Blut und dem Kalziumgehalt im Serum wurde eine positive Korrelation gefunden (Kap. 2.4.7.5). Nach dem Modell ist für eine Erhöhung der Kalziumkonzentration im Serum um 0,1 mmol/l ein um 2,7 % höherer Blutbleispiegel zu erwarten.

Bei einem Anstieg des Thiocyanats im Serum (Kap. 2.4.6.7) um 50 µmol/l ist mit einem um 5,4 % höheren Bleigehalt im Blut zu rechnen. Der Thiocyanat-Spiegel im Serum ist vor allem ein Indikator für die Tabakrauchexposition, wird aber auch durch weitere Faktoren (z. B. Gemüse-Verzehr) beeinflusst.

Für Variablen wie Passivrauchen, Sozialstatus (z.B. definiert über Einkommen, Ausbildung usw.), Heizungsart und Körpergewicht (Body-Mass-Index), für die nach der Literatur Zusammenhänge mit dem Blutbleispiegel zu erwarten gewesen wären, sowie für alle übrigen der ca. 750 geprüften Variablen konnte in der Stichprobe kein signifikanter Zusammenhang gefunden werden.

Für den Bleigehalt im Haar ergab sich ein Modell mit sieben Prädiktoren, mit denen 17 % der Gesamtvarianz des Haarbleigehalts erklärt werden (Kap. 2.5.1). Leider konnte nur etwa die Hälfte der Stichprobe in die Auswertung einbezogen werden, da besonders zu Beginn der Probenahme im Feld die für die Analyse notwendige Haarmenge von 200 mg nicht immer erreicht wurde.

Ein positiver Zusammenhang besteht zwischen den Bleigehalten im Blut und im Haar (Kap. 2.5.7.1), da sich Expositionen qualitativ ähnlich auf beide Variablen auswirken.

Als weiterer wichtiger Einflußfaktor auf den Bleigehalt im Haar erwies sich die Jahreszeit der Probenahme (Kap. 2.5.7.2). Im Winter werden um 38 % niedrigere Werte gefunden. Als Erklärung bieten sich die im Sommer längeren Aufenthaltszeiten im Freien an. Blei kann von außen in das Haar einwandern und selbst durch mehrfache Waschgänge mit Komplexbildnern nicht abgewaschen werden.

Der Einfluß der beruflichen Staub-Exposition konnte ebenfalls nachgewiesen werden (Kap. 2.5.7.3). So kann für Personen, die angaben, am Arbeitsplatz einer deutlichen bis starken Staubbelastung ausgesetzt zu sein, gegenüber Personen mit keiner oder geringer Staubbelastung ein um 27 % höherer Bleigehalt im Haar gefunden werden.

Für Rentner und Pensionäre (Kap. 2.5.7.4) ergab sich im Vergleich zur übrigen Allgemeinbevölkerung ein um 33 % niedrigerer Bleigehalt im Haar. Für diese Personen entfällt die Exposition im Zusammenhang mit der Arbeit und auf dem Weg dorthin.

Mit höherem Bleiniederschlag im Haushalt steigt der Bleigehalt im Haar (Kap. 2.5.7.5). Dieses Ergebnis kann möglicherweise in zwei Richtungen interpretiert werden. Die Bleigehalte in beiden Untersuchungsmedien könnten Ausdruck der regionalen Belastung sein, und der Bleiniederschlag im Haushalt kann die potentielle Expositionsmöglichkeit im Haushalt widerspiegeln.

Nach dem Modell wird für Personen aus Regionen mit einem überdurchschnittlichen Anteil von Beschäftigten in den Bereichen Energie, Wasser, Bergbau (Kap. 2.5.7.6) im Vergleich zu Personen aus Regionen mit einem durchschnittlichen Anteil an solchen Beschäftigten ein um 36 % höherer Bleigehalt im Haar gefunden. Hierbei könnte eine Rolle spielen, daß Kohlefeuerungsanlagen, Metallhütten usw. bedeutsame Blei-Emittenten darstellen.

Männer haben einen signifikant höheren geometrischen Mittelwert des Bleigehalts im Haar als Frauen. Ursachen dafür sind z.B. Unterschiede im Blutbleispiegel und in der beruflichen Staubexposition. Dieser Zusammenhang zwischen Bleigehalt im Haar und dem Geschlecht wird durch die in das Modell aufgenommenen Einflußgrößen schon ausreichend berücksichtigt, so daß die zusätzliche Einführung von "Geschlecht" als Einflußfaktor nicht zu einer signifikanten Verbesserung des Modells führt. In der Gesamtstichprobe konnte kein Zusammenhang zwischen Bleigehalt im Haar und Rauchen gefunden werden. Lediglich für Frauen, die niemals geraucht haben, kann gegenüber anderen Frauen ein um 23 % niedrigerer Bleigehalt im Haar erwartet werden. Im Gegensatz zum Modell für den Bleigehalt im Blut konnte ein Einfluß des Alters und des Trinkens von Alkohol auf die Bleikonzentration im Haar nicht nachgewiesen werden.

Für die Bleikonzentration im Inhalt des Staubsaugerbeutels ergab sich ein Modell mit nur zwei Prädiktoren, mit denen lediglich 3,7 % der Gesamtvarianz erklärt werden können. Damit ist dieses Modell für weitergehende Betrachtungen nicht geeignet, der Einfluß der beiden signifikanten Prädiktoren sei jedoch hier trotzdem kurz angesprochen.

Bei überwiegend textilem Bodenbelag in der Wohnung sind gegenüber allen anderen Bodenbelägen etwa 30 % niedrigere Bleikonzentrationen im Staubsaugerbeutel zu finden (Kap. 2.6.5.1). Möglicherweise ist dies darauf zurückzuführen, daß in so ausgestatteten Wohnungen weniger häufig Straßenschuhe getragen oder diese gründlicher abgetreten werden.

Für Regionen mit einem höheren Anteil von Verkehrsflächen (Kap.2.6.5.2) sind nach dem Modell höhere Bleikonzentrationen im Inhalt des Staubsaugerbeutels zu erwarten. Ein höherer Anteil von Verkehrsflächen kann dabei einen stärkeren Kraftfahrzeugverkehr und damit verbunden eine höhere Bleiemission bedeuten.

Für den flächen- und zeitbezogenen Bleiniederschlag im Haushalt wurde ein Modell mit sieben Prädiktoren erhalten (Kap. 2.7), mit denen 15 % der Varianz erklärt werden können.

Der Aufstellort des Staubsammelbechers in der Wohnung ist bedeutsam für die Höhe des gemessenen Bleiniederschlags (Kap. 2.7.5.1). Wenn der Becher in der (Wohn-)Küche stand, so ergab sich ein um 30 % geringerer Bleiniederschlag im Vergleich zu Haushalten, in denen der Becher in anderen Wohnräumen stand. Möglicherweise werden Küchen weniger mit Straßenschuhen betreten, wodurch der Eintrag bleihaltigen Straßenstaubs verringert ist.

Mit dem Alter des Wohnhauses (Kap. 2.7.5.2) erhöht sich die Bleiniederschlagsmenge. In Studien, in denen Hausstaub vom Fußboden gesammelt wurde, werden ähnliche Zusammenhänge gefunden und mit dem höheren Bleigehalt älterer Farben und Baumaterialien erklärt.

Bei Wohnungen mit Zentralheizung und Heizkörpern wird gegenüber anderen Heizsystemen ein um knapp 20 % niedrigerer Bleiniederschlag gefunden. Hierbei dürfte insbesondere die bei anderen Heizungsarten höhere Staubaufwirbelung insgesamt eine Rolle spielen.

Einen nicht unbedeutenden Einfluß auf den Bleiniederschlag hat die Nutzungsintensität der Wohnung (Kap. 2.7.5.5). Mit höherer Belegungsdichte der Wohnung (geringere Wohnfläche pro Haushaltsmitglied) steigt die Bleiniederschlagsmenge. Dieses Ergebnis könnte mit einem höheren Staubeintrag pro Fläche in die Wohnung oder mit einer höheren Staubaufwirbelung zusammenhängen. Je Kind im Alter zwischen 3 und 14 Jahren im Haushalt erhöht sich der Bleiniederschlag im Haushalt um 10 %. Möglicherweise ist sowohl die Staubaufwirbelung in der Wohnung als auch der Staubeintrag in die Wohnung durch die größere Aktivität von Kindern erhöht.

Schließlich besteht noch ein positiver Zusammenhang zwischen Bleiniederschlag und Bevölkerungsdichte der Gemeinde (Kap. 2.7.5.6). Dabei könnte die Bevölkerungsdichte der Gemeinde (wie beim Bleigehalt im Blut) ein Indikator für die Bleibelastung der Außenluft am Wohnort sein.

*Zusammenfassend ist festzuhalten, daß mit Hilfe des Umwelt-Surveys einerseits erstmalig für die deutsche Allgemeinbevölkerung eine Reihe von Fakten zur korporalen und häuslichen Bleibelastung bestätigt werden konnten, die bislang nur für spezielle Unterkollektive bekannt waren und deshalb nicht ohne weiteres als quantitative Aussage für die gesamte Bevölkerung herangezogen werden konnten. Andererseits hat der Umwelt-Survey zu neuen Erkenntnissen und Fragestellungen geführt, deren weitere Bearbeitung für eine bessere Einschätzung der Bleibelastung der Bevölkerung von Bedeutung ist.*

*Der positive Einfluß der folgenden, aus Einzelstudien als expositions-mindernd bekannten Maßnahmen, für die teilweise gesetzliche oder administrative Grundlagen existieren, konnte für die Allgemeinbevölkerung verifiziert werden:*

- die Verringerung der Bleiemission durch Kraftfahrzeuge und Industrieanlagen,
- die Beseitigung noch vorhandener Bleirohrinstallationen für Trinkwasserleitungen,
- die Schaffung von "sauberen" Arbeitsplätzen und
- der Ersatz von Einzelöfen mit Holz-/Kohlefeuerung.

*Die Ergebnisse des Umwelt-Surveys zeigen, daß auch die Änderung individueller Verhaltensweisen einen Beitrag zur Reduzierung der Bleibelastung leisten kann. So konnte quantitativ belegt werden, daß durch eine Reduzierung*

- des Tabakkonsums und
- der Häufigkeit des Alkoholkonsums, insbesondere des Wein-/Sekt- und Bierkonsums

*der Blutbleispiegel gesenkt werden kann.*

*Nicht in allen Fällen konnten bisher die Ursachen für festgestellte Zusammenhänge gefunden werden, so z.B. für die folgenden Fragen:*

- Warum haben Männer und Frauen unterschiedlich hohe Bleigehalte im Blut ?
- Warum haben Personen, die häufiger Wein/Sekt sowie Bier trinken, einen höheren Blutbleispiegel ?
- Warum ist der Bleiniederschlag in älteren Wohnhäusern höher ?
- Besteht ein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Bleikonzentration im Hausstaub und dem Vorhandensein von textilen Bodenbelägen in der Wohnung ?

*Zur besseren Einschätzung des Stellenwertes eventueller Maßnahmen wäre es wichtig, derartige Fragen durch weitere Forschungsarbeit zu klären.*

## SUMMARY

*In the Environmental Survey conducted in the Federal Republic of Germany in 1985/86, a representative sample of the population aged between 25 and 69 years was studied. One aim of the survey was to provide basic data for both reference and guide values and for normal concentration ranges of pollutants in the human body and in the domestic environment. The other aim was to analyse the relationship between these body-related and domestic parameters and the different ways of exposure. The most important types of samples and tools used in the Environmental Survey were blood, urine and hair samples from the subjects, dust and drinking water samples from the subjects' households, and two questionnaires, one being environment-related ('Environment and Health'), the other being primarily related to health and life style ('Life and Health') (cf. Chapter 1).*

*Lead concentrations were measured in samples of blood and hair, in the content of vacuum cleaner bags, in precipitated house dust and in drinking water (cf. WaBoLu-Hefte 5/89, 2/91 and 3/91). The geometric mean values were found to be 6.9 µg Pb/100 ml blood, 1.4 µg Pb/g hair, 25.3 µg Pb/g dust from the vacuum cleaner bag, 0.42 µg Pb/(m<sup>2</sup>·day) in precipitated house dust and 2.0 µg Pb/l drinking water (sample taken from the tap under normal conditions of consumption).*

*This report presents the results of multivariate analyses, i.e. it gives those factors of influence ("predictors") that were found to correlate with lead concentrations in blood and hair samples and in house dust („criteria"). The report gives also an interpretation of the statistical results to facilitate an insight into possible causal relationships.*

*To determine the essential factors of influence for the lead concentrations in blood and hair samples and in house dust (vacuum cleaner bags, dust collectors) 4 linear models for the logarithmic concentrations were developed by multiple regression analysis (cf. Chapter 1.10). In the process of creating the models about 750 variables (e.g., parameters from questionnaires on smoking and eating habits, clinico-chemical parameters etc.), which could correlate with the criteria, were considered. The models were cross-validated and verified in selected sub-groups of the population sample. In the following the factors of influence for the 4 models are given together with the percentage of the total variance of the variables, which can be explained by these factors. This percentage is a measure of the quality of the model and may vary between 0 % and 100 %. 0 % means that there is no multiple correlation between the factors of influence in the model and the criterion. At 100 % the model would be complete, i.e. by knowing the individual data for the factors of influence the value for the criterion could be predicted exactly. In practice, this ideal percentage cannot be obtained using data from epidemiological surveys.*

*It should be noted that within the Environmental Survey no special correlation analysis was carried out for the lead content of drinking water because substantial information is available on factors which have an influence on this parameter (pipe material, pH and other physico-chemical characteristics of water) and ways are known to reduce lead contamination of drinking water. However, the lead content of drinking water was included in the data treatment as a possible factor of influence for the content of lead in blood (PbB).*

*For the lead level in blood a model with 17 predictors (cf. Chapter 2.4.1) was developed, and it was possible to explain 31 % of the total variance using these 17 predictors. The most obvious correlation was found with sex and the consumption of wine/champagne and beer.*

*There is a strong correlation between the PbB levels and sex (cf. Chapter 2.4.7.2). For males, the PbB level is basically higher than that for females by 18 %. Following the model, the difference in PbB levels between males and females is further increased by a number of other predictors (e.g., haematocrit or packed cell volume, beer consumption, occupational lead exposure and thiocyanate), which differ for males and females with respect to their mean values or frequency of variable categories. The geometric mean of the blood lead level was higher by approximately 37 % for males than for females.*

*A positive correlation to packed cell volume (cf. Chapter 2.4.7.4) is plausible, because lead in blood is mainly found in the erythrocytes and the packed cell volume indicates the relation between erythrocytes and total blood volume which normally is found to be higher in males than in females. According to the model an increase of the packed cell volume by 0.01 is associated with an increase in the blood lead level by 1 %.*

*The data from the Environmental Survey indicate that the blood lead level increases up to a (calculated) maximum at the age of 57 years (cf. Chapter 2.4.7.3). After this age it decreases slightly. The mean increase per year of age is approximately 0.7 %. It has to be emphasised that this figure should not be used to extrapolate PbB levels for individuals or a sub-group of the population as it has been derived from a cross-sectional study.*

*Another positive correlation was found between blood lead level and the lead concentration of drinking water (cf. Chapter 2.4.7.9). However, lead levels were generally low in both in blood and drinking water. Nevertheless, the influence of lead from drinking water is detectable, perhaps due to the fact that lead from drinking water is readily absorbed in the gastro-intestinal tract. As can be taken from other studies this correlation is more pronounced at higher lead concentrations in drinking water.*

*The consumption of Wine/champagne and beer is an important factor influencing blood lead levels. According to the model, a person drinking wine/champagne more than once a week would have a blood lead level higher by more than 22 % than that of a person consuming wine/champagne up to once a week. If more than two glasses of wine were consumed in the last 24 h before blood sampling, the blood lead level has been estimated to be higher by 20 %. If beer was consumed at least once a week, the blood lead level was increased by 10 %. The elevated blood lead levels cannot only be attributed to the lead content of the beverages. It is assumed that alcohol increases the absorption of lead from other foods and beverages.*

*The influence of occupational exposure to lead on the blood lead level (cf. Chapter 2.4.7.6) is known from many studies. Such influence can also be derived from the present study for the general population. If a work place has been classified as giving rise to „substantial exposure“ to lead by a specialist in occupational medicine (in contrast to „no or low exposure“), the blood lead level is estimated to be higher by 23 %. For persons who have reported themselves that they are occupationally exposed to metals or heavy metals it is increased by another 14 %.*

*A slight increase of the PbB level can be observed with increasing population density in the community and with an increasing proportion of people working in the electrical and metal industries in the county (cf. Chapter 2.4.7.10). Both predictors may be related to the regional outdoor air contamination.*

*A positive correlation exists between the blood lead level and the lead content in settled house dust (cf. Chapter 2.4.7.8). A higher amount of lead precipitation could be an indicator for higher exposure thus becoming at least a partial cause for higher PbB levels. As an elevated amount of precipitated lead may also be the result of higher regional lead pollution one could assume an influence of outdoor air on both blood lead level and lead content in dust.*

*A positive correlation was found between PbB levels and the calcium concentration in serum (cf. Chapter 2.4.7.5). According to the model an increase in calcium serum concentration by 0.1 mmol/l is estimated to be associated with an increase in the blood lead level by 2.7 %.*

*For an increase of thiocyanate in serum (cf. Chapter 2.4.6.7) by 50 µmol/l an increase of 5.4 % in the blood lead level is to be expected. The thiocyanate level in serum is primarily an indicator of exposure to tobacco smoke but is also influenced by other factors (e.g., consumption of vegetables).*

*Other than expected from the literature a significant correlation could not be established between passive smoking, socio-economic status (e.g., income, education etc.), type of heating system and body weight (Body Mass Index). In a similar way no significant correlation was obtained for any of the other variables tested (about 750).*

*The model for the lead concentration in hair contains seven predictors and permits to explain 17 % of the total variance (cf. Chapter 2.5.1). Unfortunately, only approximately one half of the study population could be included in the data treatment because the amount of 200 mg hair needed for analysis was not collected in all cases, in particular during the first half of the field work.*

*A positive correlation was found to exist between the lead level in blood and that in hair (cf. Chapter 2.5.7.2) due to the fact that exposure has a similar qualitative effect on both variables.*

*The season when the samples were taken proved to be another important factor affecting lead concentration in hair. In winter, levels are estimated to be lower by 38 %. This may be attributed to the reduced period of time spent outdoors by the population as compared to the summer months. Lead may penetrate into hair from the outside and cannot be removed even by washing it several times with complex-forming agents.*

*It was also possible to document the influence of occupational exposure to dust (cf. Chapter 2.5.7.3). Persons who stated to have had a „substantial to heavy“ exposure to dust were found to have lead levels in hair which were higher by 27 % as compared to persons with „no or low“ exposure to dust.*

Retired people (cf. Chapter 2.5.7.4) exhibited lead levels in hair which on average were lower by 33 % as compared to the rest of the general population. For these persons exposure at work as well as on the way to work does not play a role.

The lead level in hair increases with the amount of lead precipitated with dust indoors (cf. Chapter 2.5.7.5). There are two explanations for this result. On the one hand, the lead content in both media may reflect the level of regional pollution. On the other hand, the lead content of precipitated house dust may reflect the potential for exposure in the home.

Persons from regions where the proportion of persons employed in the energy, water and mining industry (cf. Chapter 2.5.7.6) is above average are estimated to have lead levels which are higher by 36 % than those from regions where less people are employed in these industries. This may be due to the fact that coal-fired heating systems, metal smelters etc. are emitting considerable amounts of lead.

The geometric mean of lead levels in hair are significantly higher in males than in females. This difference is due to, e.g., the difference in the PbB levels and occupational exposure to dust. Obviously, the correlation between the lead content in hair and gender is sufficiently represented in the model because the additional introduction of influencing factor „gender“ does not lead to a significant improvement of the model. No relationship could be established between lead concentration in hair and smoking if the data of the study population as a whole were examined. However, it was found that for women who never smoked the lead concentration in hair was lower by 23 % than that of the rest of the women. An influence of age and alcohol consumption on the lead concentration in hair could not be established, in contrast to the corresponding relationship between these parameters and the blood lead level.

The model for lead concentrations in the content of vacuum cleaner bags contains two predictors and explains only 3.7 % of the total variance. Although it is clear that the model obviously is not suitable for further consideration the influence of the two significant predictors should be mentioned briefly.

For homes with textile coverings on the greater part of the floor the lead concentration in the vacuum cleaner bag is estimated to be lower by approximately 30 % than in homes with other types of flooring material (cf. Chapter 2.6.5.1). This is possibly due to the fact that in such homes shoes (previously worn outdoors) are cleaned more thoroughly or are not worn at all.

On the basis of the model, a higher lead concentration in the content of vacuum cleaner bags can be expected for homes in regions with a high density of traffic areas (cf. Chapter 2.6.5.2). A higher density of traffic areas is probably linked with a greater density of motor vehicle traffic and hence, a higher lead emission.

With the model for lead precipitated with house dust (expressed in  $\mu\text{g Pb}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ ) 15 % of the variance could be explained. The model contains seven predictors (cf. Chapter 2.7).

*The location of the dust collector (cf. Chapter 2.7.5.1) is an important factor which determines the amount of lead collected. For kitchens (also when partly used as a living room), the amount of precipitated lead was lower by 30 % as compared to other living spaces. Possibly, wearing of shoes (previously worn outdoors) is less frequent in kitchens so that less lead-containing street dust is introduced.*

*The amount of precipitated lead increases with the age of the building (cf. Chapter 2.7.5.2). In studies where house dust had been collected from the floor, similar correlations were found and explained by the higher lead content of old paint and building materials.*

*In homes with central heating, the amount of precipitated lead was estimated to be lower by about 20 % as compared to homes with other heating systems. This might be caused primarily by resuspension of dust due to air movement, which is higher for other heating systems as a rule.*

*The density of persons per floor area has an effect on the amount of lead precipitated which cannot be neglected (cf. Chapter 2.7.5.5): the quantity of lead increases if the floor area per member of the household decreases. This result may be explained by a higher introduction of dust into the home or by an increased resuspension of dust. The amount of precipitated lead goes up by 10 % per child aged 3 to 14 years living in the household. This is possibly due to the children's activities influencing the resuspension of dust in the home and the introduction of dust from outside.*

*Finally, there is also a positive correlation between the amount of precipitated lead and the population density of the community. The latter may be an indicator of outdoor air pollution at the place of residence.*

*In summary, the Environmental Survey permitted for the first time to confirm for the German general population a number of findings concerning the lead burden of the human body and the domestic environment which had so far been examined only for special sub-groups and could therefore not be applied for the total population. In addition, the Environmental Survey led to new findings and questions which are important for a further and better assessment of the lead burden of the population.*

*The positive influence of the following measures which are known from smaller studies to reduce population exposure and for which there are legal or administrative rules could be verified for the general population:*

- the reduction of the lead emission by motor vehicles and industries,*
- the removal of still existing lead pipes for drinking water,*
- the creation of „clean“ work places and*
- the substitution of wood and coal heating by central heating.*

*As can be seen from the results of the ES changes of individual behaviour can also contribute to reducing the lead burden. Thus, it could be proved quantitatively that*

- the reduction of tobacco consumption and*
- the reduction of alcohol consumption, especially of wine/champagne and beer*

*can lower the blood lead level.*

*Not in all cases has it been possible yet to detect the causes of observed correlations. Thus, several questions remain open, such as:*

- Why does the blood lead content differ with males and females?*
- Why do people consuming wine/champagne and beer more frequently have a higher blood lead level?*
- Why is the amount of lead settled with the house dust higher in older houses?*
- Is there a causal relationship between the lead content in house dust and the presence of textile floor coverings?*

*For a better evaluation of the benefit of lead abatement measures it would be important to carry out further research to answer such questions.*

## 1. PROBLEMSTELLUNG UND METHODEN

### 1.1 Vorbemerkungen

Der vorliegende Berichtsband IVb basiert auf den Daten der Studie "Messung und Analyse von Umweltbelastungsfaktoren in der Bundesrepublik Deutschland 1985/86 - Umwelt-Survey" [Krause et al., 1989].

Die Auswertungen und Darstellungen des gesamten, sehr umfangreichen Datensatzes erfolgen in mehreren Teilen. Bereits veröffentlicht wurden folgende Berichtsbände:

- Band I: Studienbeschreibung,  
Humanbiologisches Monitoring: Deskription der Spurenelementgehalte  
in Blut, Urin und Haar der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland 1985/86  
[Krause et al., 1989; WaBoLu-Hefte 5/89]
- Band II: Umweltinteresse, -wissen und -verhalten  
[Schulz et. al., 1991, WaBoLu-Hefte 1/91]
- Band IIIa: Wohn-Innenraum: Spurenelementgehalte im Hausstaub; Deskription der Spurenelementgehalte  
im Staub (Staubniederschlag, Konzentrationen im Hausstaub) der Haushalte der Bevölkerung  
in der Bundesrepublik Deutschland 1985/86  
[Krause et al., 1991a; WaBoLu-Hefte 2/91]
- Band IIIb: Wohn-Innenraum: Trinkwasser, Deskription der Spurenelementgehalte im  
Haushalts- und Wasserwerkstrinkwasser der Bundesrepublik Deutschland 1985/86  
[Krause et al., 1991b; WaBoLu-Hefte 3/91]
- Band IIIc: Wohn-Innenraum: Raumluft, Deskription flüchtiger organischer Verbindungen  
in der Raumluft der Bundesrepublik Deutschland 1985/86  
[Krause et al., 1991c; WaBoLu-Hefte 4/91]
- Band IVa: Cadmium  
[Schwarz et al., 1993; WaBoLu-Hefte 2/93]

In den Bänden I, IIIa, IIIb und IIIc ist in ausführlicher Form eine Studienbeschreibung und eine Deskription der erhobenen Daten enthalten. Die Bände IVa und der vorliegende Band IVb beschäftigen sich mit der Untersuchung von Zusammenhängen zwischen den Cadmium- bzw. Bleivariablen des Meßprogramms, den Variablen aus dem Umweltfragebogen und aus der medizinischen Untersuchung des ersten Nationalen Untersuchungssurvey (NUS) der Deutschen Herz-Kreislauf-Präventionsstudie (DHP).

### 1.2 Studienbeschreibung

Das Forschungsvorhaben wurde vom damals zuständigen Bundesministerium des Inneren in Auftrag gegeben und vom Umweltbundesamt als Projektträger betreut. Der heutige Auftraggeber ist das

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit. Mehrere Sachverständige stehen dem Projekt begleitend zur Seite.

Der Umwelt-Survey wurde vom Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes durchgeführt. Er war organisatorisch und teilweise auch inhaltlich angebunden an den NUS der DHP, den das Institut für Sozialmedizin und Epidemiologie des Bundesgesundheitsamtes durchführte. Infratest Gesundheitsforschung GmbH war für die Stichprobenziehung und die Feldarbeit verantwortlich.

Im Rahmen des Umwelt-Survey wurden in den Jahren 1985/86 zum ersten Mal auf repräsentativer Basis in der Bundesrepublik Deutschland korporale Schadstoffbelastungen der Bevölkerung im Alter zwischen 25 und 69 Jahren, die Schadstoffbelastungen des häuslichen Bereichs sowie das Umweltwissen, -interesse und -verhalten der Bevölkerung erfaßt und zusätzlich eine medizinische Untersuchung im Rahmen des NUS vorgenommen. Eine ausführlichere Beschreibung dieser Studie ist dem Band I [Krause et al., 1989] zu entnehmen.

Die Daten des Umwelt-Survey wurden in den Jahren 1985 und 1986 in insgesamt 100 Erhebungsgebieten in 54 Gemeinden, die über die gesamte (damalige) Bundesrepublik Deutschland verteilt waren, erhoben.

Der Stichprobe lag eine Grundgesamtheit aller während des Untersuchungszeitraums in der Bundesrepublik Deutschland und Berlin (West) in Privathaushalten lebenden und in den Einwohnermeldekarteien registrierten Erwachsenen von 25 bis 69 Jahren deutscher Nationalität zugrunde. Ausgeschlossen waren Personen in Anstaltshaushalten wie z.B. Kasernen, Altersheimen, Krankenhäusern, Heil- und Pflegeanstalten.

Pro Erhebungsgebiet wurden jeweils 40 Personen als Stichprobe in einem mehrfach geschichteten, zweistufigen Zufallsverfahren gezogen. Schichtungs-Merkmale der Stichprobe waren die Gemeindegröße (in sieben Stufen von Gemeinden unter 2.000 Einwohnern bis Gemeinden mit 500.000 und mehr Einwohnern), das Alter (in neun Fünfjahres-Klassen) und das Geschlecht [Güther/Schwarz, 1986].

Bei den 4000 in die Bruttostichprobe (unbereinigt) gezogenen Personen gab es 259 qualitätsneutrale Ausfälle (d.h. verstorbene oder unbekannt verzogene Zielpersonen, falsche Adressen), so daß sich eine bereinigte Bruttostichprobe von  $n = 3741$  Fällen ergab. Von diesen 3741 Fällen fielen 1010 Probanden für die Untersuchung aus, weil sie z.B. nicht erreichbar, verreist oder erkrankt waren, weil sie die Teilnahme verweigerten oder weil ihre Interviews nicht verwertbar waren. Die realisierte Nettostichprobe bestand schließlich aus  $n = 2731$  Fällen, zu denen verwertbare Fragebogendaten vorlagen. Bezogen auf die bereinigte Bruttostichprobe entspricht dies einer Ausschöpfungsrate von 73 %.

Die Befragung der Probanden anhand des Fragebogens "Umwelt und Gesundheit" und die Aufstellung der Untersuchungsinstrumente in den Haushalten erfolgte durch zwei geschulte Interviewerteams der Infratest Gesundheitsforschung in der Zeit vom 22.06.85 bis 23.04.86. Während dieser Zeit fuhren zwei mobile Laboreinheiten (Busse des NUS) die ausgewählten Erhebungspunkte an; der eine Bus auf nördlicher, der andere Bus auf südlicher Route. Innerhalb von jeweils drei oder (bei zwei Erhebungspunkten in einer Gemeinde) innerhalb von sechs Werktagen führten die Untersuchergruppen (Arzt/Ärztin, MTA, Arzthelferin, Interviewer, Fahrer) die medizinische Untersuchung und die Fragebogenerhebung "Leben und Gesundheit" des NUS durch.

Die Blut- und Urinproben wurden sofort nach der Entnahme oder Abgabe in den mobilen Einheiten bei  $-20^{\circ}\text{C}$  eingefroren und in Kühlboxen nach Berlin in das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene transportiert und dort bis zur Analyse weiterhin tiefgekühlt gelagert. Alle anderen Probenmaterialien, einschließlich des Fragebogens, wurden per Post versandt.

### 1.3 Instrumentarium

Aufgrund der organisatorischen Anbindung des Umwelt-Survey an den NUS gehen die verfügbaren Variablen und z.T. auch schon die eingesetzten Instrumente über den eigentlichen Bedarf des Umwelt-Survey hinaus. Das vollständige Erhebungsinstrumentarium bestand aus folgenden Teilen:

1. Humanproben (Blut, Urin, Haare) zur Bestimmung von Schadstoffbelastungen, zur Bestimmung von Normierungs- und Validierungsparametern (z.B. Kreatinin im Urin, Thiocyanat im Serum), zur Bestimmung von gesundheitlichen Indikatoren (z.B. Differentialblutbild) und zur Bestimmung von möglicherweise interferierenden Stoffwechselfparametern.
2. Proben aus dem Haushalt (Staub, Wasser, Passivsammler zur Messung flüchtiger organischer Verbindungen) zur Bestimmung der Schadstoffbelastung im Haushalt,
3. Messungen am Probanden (z.B. Größe, Gewicht, Blutdruck),
4. einem Fragebogen "Leben und Gesundheit" des NUS der Deutschen Herz-Kreislauf-Präventionsstudie (DHP) mit umfassenden Angaben zum Lebensstil, zur Demografie und zur Gesundheit des Befragten,
5. einem Umweltfragebogen "Umwelt und Gesundheit" mit einer Vielzahl von expositionsrelevanten Fragen, weiteren demografischen Angaben und Angaben zu möglichen umweltbezogenen körperlichen Beschwerden und Beeinträchtigungen sowie Angaben zu Umweltwissen und zu Einstellungen zu Umweltproblemen,
6. einem vom Interviewer auszufüllenden Dokumentationsbogen mit Angaben, die für die Verarbeitung der Proben relevant sind, und mit einigen Einschätzungen des Interviewers zur Wohnlage des Befragten,
7. Einstufungen der Schwermetallbelastungen am Arbeitsplatz des Befragten aufgrund seiner Fragebogenangaben durch einen Arbeitsmediziner,
8. der Gemeindegkartei des Bundesgesundheitsamtes als sekundärer Quelle,
9. Dateien der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung als weiterer sekundärer Quelle.

Tabelle 1.1 enthält eine stichwortartige Übersicht über die einzelnen Untersuchungsteile. Die Daten des Nationalen-Untersuchungs-Surveys (NUS) der DHP stehen für etwa 90 % der im Umwelt-Survey untersuchten Probanden zur Verfügung.

Tab. 1.1: Übersicht über die Untersuchungsteile (in Stichworten)

<b><u>Umwelt-Survey:</u></b>	
<b><u>Fragebogen "Umwelt und Gesundheit":</u></b>	<b><u>Untersuchungsprogramm:</u></b>
- Expositionsrelevante Merkmale	Indikatoren zur korporalen Exposition aus
- Demographie	- Blut
- Charakteristika des Haushalts	- Urin
- Verbraucherverhalten	- Haar
- Umweltwissen, -verhalten, -bewußtsein	Indikatoren zur häuslichen Exposition aus
- Einschätzung der Umweltqualität	- Hausstaub: Becher und Staubsaugerbeutel
im persönlichen Bereich und in der	- Trinkwasser: Zapfstelle und Wasserwerk
Bundesrepublik insgesamt	- Innenraumluft: Passivsammler
- umweltbezogene körperliche Beschwerden	Dokumentationsbogen
und Beeinträchtigungen	
<b><u>Nationaler Untersuchungs-Survey (NUS):</u></b>	
<b><u>Fragebogen "Leben und Gesundheit":</u></b>	<b><u>Untersuchungsprogramm:</u></b>
- Gesundheit und Krankheiten	Blutdruckmessung, Puls
- Demographie	Körpergröße, -gewicht
- Ausbildung und Berufstätigkeit	Blut-, Serum- und Urinanalysen zur Bestimmung von
- Zeitbudget	- Indikatoren und Risikofaktoren für Herz-
- Ernährung	Kreislaufkrankheiten
- Rauchen	- Indikatoren primärer Stoffwechselkrankheiten
- Sport und körperliche Aktivitäten	- Indikatoren für Krankheiten der Leber und der
- soziale Aktivitäten	Gallenwege
- Alltagsprobleme	- Parameter für infektiöse Krankheiten und Störungen
- Arztbesuche und Krankenhausaufenthalte	des Blutbildes
- Medikamenteneinnahme	- Parameter für Krankheiten der Niere und der
- Zufriedenheit	Harnwege
- Lebensstil	- Genetische Disposition
<b><u>Sekundäre Statistiken:</u></b>	
<b><u>Gemeindekartei des Bundesgesundheitsamtes:</u></b>	<b><u>Bundesforschungsanstalt für Landeskunde</u></b>
- Gemeindeflächen	<b><u>und Raumordnung (BfLR):</u></b>
- Einwohnerzahlen	- regionale Wirtschaftsstruktur
<b><u>Meteorologisches Institut FU Berlin:</u></b>	- regionale Siedlungs- und Infrastruktur
- Tageshöchsttemperaturen	

#### 1.4 Zur Bedeutung von Blei

Blei zählt zu den nichtessentiellen Metallen [Zumkley/Kisters, 1990]. Für Blei in der Umwelt gibt es natürliche und anthropogene Quellen. In der Natur kommt es als nahezu allgegenwärtiger Bestandteil der Erdrinde überwiegend in Form anorganischer Verbindungen vor. Der durchschnittliche Bleigehalt der Erdrinde wird auf 20 mg/kg geschätzt [Tafel, 1953]. Der Mensch hat bereits seit mehr als 2000 Jahren mit diesem Schwermetall Umgang [Falbe/Regitz, 1989]. Diese stetige Verwendung von Blei und die damit verbundene Emission in die Umwelt machen es schwierig, den natürlichen Bleigehalt von Gewässern, Böden, Gesteinen und der Atmosphäre anzugeben. Etwa 200 000 t Blei werden jährlich durch Erosion bleihaltiger Gesteine und Emissionen aus Vulkanen freigesetzt [Waldron, 1980]. Die globale anthropogene Bleiemission in die Atmosphäre wird auf 400 000 t / Jahr geschätzt [Wilhelm/Ewers, 1993]. Das wichtigste und häufigste Bleierz ist Bleiglanz, das fast ausschließlich als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Blei dient. Der Verbrauch von raffiniertem Blei wurde für das Jahr 1982 weltweit auf 5,2 Mio t [World Metal Statistics, 1983, zit. in Ewers/Schlipkötter, 1991] und für die Bundesrepublik Deutschland auf 333.000 t geschätzt [BMU, 1987]. Weltweit werden etwa 40 % zur Herstellung von Bleibatterien verwendet und etwa 10 % werden als organische Bleiverbindungen dem Benzin als Antiklopffmittel zugesetzt [Ewers/Schlipkötter, 1991].

Zu signifikanten Bleiemissionen in die Umwelt kommt es durch Metallhütten, bleiverarbeitende Betriebe, Kohlefeuerungs- und Müllverbrennungsanlagen und den Kraftfahrzeugverkehr. Insgesamt wurde der Eintrag in die Umwelt über die Pfade Abluft, Abwässer und Schlämme für das Jahr 1980, also ca. 5 Jahre vor der Erhebung des Umweltsurveys 1985/86, in der Bundesrepublik Deutschland auf 5.650 t geschätzt, mit einem Anteil von etwa 4.550 t für die Abluft und davon wiederum etwa 3.000 t allein für Verkehrsemissionen [BMU, 1987]. Durch die Herabsetzung des Bleigehaltes im Kraftstoff in den EG-Mitgliedstaaten während der 70er Jahre ist ein abnehmender Trend der Bleiimmissionen zu beobachten [Rat der Sachverständigen für Umweltfragen, 1987]. Insgesamt bleibt aber festzuhalten, daß es trotz dieses Trends zu einer weiteren Anreicherung in Böden und Sedimenten kommt, da Blei nicht abbaubar ist.

Auf den Menschen wirkt das in die Luft emittierte Blei als Immission zum einen direkt und zum anderen über den Boden, die Pflanze und das Tier indirekt über die Nahrungskette ein. Die Belastung des menschlichen Organismus durch die pulmonale Aufnahme wird durch das Ausmaß der Deposition, Elimination und Resorption der inhalierten Staubpartikel in der Lunge bestimmt. Der Anteil der in den Alveolen deponierten Partikel liegt in der Regel zwischen 30 und 50 % der pulmonalen Aufnahme. Die Deposition ist abhängig von zahlreichen Faktoren wie Teilchengröße, Teilchenform, Atemtiefe, Atemfrequenz etc. [Ewers/Schlipkötter, 1991; Goyer, 1988; Tsuchiya, 1986]. Da in Autopsiestudien keine Bleiakkumulation in der Lunge nachweisbar war, wird von einer vollständigen Resorption der einmal in den Alveolen deponierten Partikel ausgegangen [Ewers/Schlipkötter, 1991; Tsuchiya, 1986]. Die enterale Resorptionsquote ist wesentlich geringer. Sie wird hauptsächlich durch das Lebensalter und die Beschaffenheit der Nahrung bestimmt. Für Erwachsene wird die enterale Resorption auf etwa 5 bis 10 %, für Kinder auf 50 % und mehr geschätzt [Ewers/Schlipkötter, 1991; Goyer, 1988]. Die Resorption von Blei aus Getränken ist dabei 5 bis 8 mal höher als aus festen Nahrungsmitteln [Ohnesorge, 1985]. Phosphat- und Proteinmangel, erhöhte Fett-

zufuhr, kalziumarme Ernährung oder auch ein Eisenmangel können zu einer erhöhten Bleiaufnahme führen [Zumkley/Kisters, 1990].

Das über die Lunge und den Magen-Darm-Trakt resorbierte Blei gelangt zunächst in das Blut und wird dort zu über 95 % von den Erythrozyten aufgenommen [Ewers/Schlipköter, 1991; Goyer, 1985; Rosen, 1985]. Der Hauptanteil wird dabei intrazellulär an das Hämoglobin fest gebunden, während etwa 20 % des Erythrozyten-Bleis an Proteine der Zellmembran gebunden wird und als "austauschbares" oder "freies" Blei angesehen wird [Rosen, 1985]. Mit diesem Transportsystem wird Blei in die Gewebe und Organe des Körpers verteilt. Hinsichtlich des menschlichen Blei-Metabolismus ist ein 3-Kompartimente-Modell entwickelt worden, das auf Balance-Studien mit stabilen Isotopen basiert [Rabinowitz et al., 1973, 1974, 1976, 1977, zit. in Landrigan et al., 1985]:

- Kompartiment 1: Halbwertszeit  $T_{1/2}$  etwa  $36 \pm 5$  Tage;  
enthält etwa 1 % der gesamten Bleilast des Körpers;  
dazu gehört das Blut ( $T_{1/2}$  etwa 28 Tage; etwa 40 - 75 % des Blei-Anteils von Komp.1) und gewisse Komponenten des Weichgewebes, die im schnellen Austausch mit dem Blut stehen; die Ausscheidung von Komp. 1 erfolgt über den Urin.
- Kompartiment 2: Halbwertszeit  $T_{1/2}$  etwa 40 Tage;  
enthält weniger als 1 % der gesamten Bleilast des Körpers;  
hierzu zählt das Weichgewebe und vermutlich ein Teil des mehr aktiv austauschbaren Teils des im Skelett festgelegten Bleis;  
die Ausscheidung von Komp. 2 erfolgt über die Verdauungssäfte, die Haare, den Schweiß und die Fingernägel.
- Kompartiment 3: Halbwertszeit  $T_{1/2}$  etwa 104 Tage;  
aufgrund dieser langen Halbwertszeit wird dieses Kompartiment als relativ inaktiver Blei-Speicher bezeichnet; es besteht aus dem Skelett-Blei, dem Zahn-Blei und dem langsam austauschenden Weichgewebe-Blei;  
99 % der gesamten Bleilast sind letztlich in Knochen und Zähnen festgelegt.

Bei den üblichen Bleibelastungen von Luft, Nahrung und Trinkwasser wird die tägliche Gesamtbleizufuhr mit etwa 250  $\mu\text{g}$  für den Erwachsenen angegeben [BMU, 1987]. Davon soll der überwiegende Teil auf die Bleizufuhr mit Lebensmitteln und Getränken (rund 80 %), etwa 15 % auf das Trinkwasser und etwa 5 % auf die Luft entfallen. Bei Vorhandensein von Bleirohren oder in Emittentennähe können die Anteile des Trinkwassers bzw. der Luft wesentlich höher sein.

Blei ist ein systemisch wirkendes Zellgift, das je nach Dosis und Zeit der Einwirkung verschiedenartige Schädigungen in vielen Organen und Organsystemen hervorruft. Die akute bzw. chronische Bleierkrankung ist schon seit langem aus arbeitsmedizinischen Erfahrungen an Bleiarbeitern sowie neurologischen Beobachtungen an Kindern bekannt. Das Wirkungsspektrum umfaßt

- hämatologische Wirkungen (Störung der Häm-Synthese),
- periphere Neuropathien,
- Wirkungen auf das ZNS (Störung der Impulsleitung in sensiblen und motorischen Nervenfasern),

- Nierenschädigungen (irreversible Schäden der proximalen Nierentubuli),
- Wirkungen auf das Herz-Kreislauf-System (arteriosklerotische Veränderungen, Bluthochdruck, EKG-Abnormalitäten).

Diskutiert werden auch immunotoxische, mutagene, kanzerogene und teratogene Wirkungen [Ewers/Schlipkötter, 1991].

### 1.5 Blei in den Untersuchungsmaterialien

Zur Abschätzung der Bleibelastung des Menschen hat sich die Erfassung dieses Elementes in den biologischen Materialien Blut und (eingeschränkt auch) Haar bewährt. Von diesen beiden Probenmaterialien wird das Bleiexpositionsgeschehen in sehr unterschiedlicher Weise wiedergegeben.

Der Bleigehalt im **Blut** wird allgemein als der beste Indikator zur Ermittlung der aktuellen Bleibelastung angesehen [Ewers/Schlipkötter, 1991; 1980; Ohnesorge, 1985; WHO, 1995]. Dieser Parameter reflektiert ein dynamisches Gleichgewicht zwischen der Aufnahme (Absorption), der Exkretion (hauptsächlich über den Magen-Darm-Trakt und die Niere) und dem Austausch zwischen Weich- und Hartgewebe [Ewers/Schlipkötter, 1991; Rosen, 1985].

Zur Erfassung der Belastung der Allgemeinbevölkerung wird der Bleigehalt im **Urin** als wenig geeignet angesehen. Er reflektiert stärker als der Bleigehalt im Blut die momentane Exposition. Bei gleicher Blutbleikonzentration können erhebliche interindividuelle Unterschiede der renalen Bleiausscheidung auftreten [Wilhelm/Ewers, 1993].

Die Erfassung von Schadstoffen im **Haar** (Kopfhaar) stellt in erster Linie eine Screening-Methode dar, mit der besonders exponierte Bevölkerungsgruppen vorbeurteilt sowie Verdachtsfälle mit möglicherweise erhöhter Schadstoffbelastung aus einer ausreichend großen Bevölkerungsgruppe identifiziert werden können [Krause/Chutsch, 1987]. Z.B. werden bei erhöhten Bleikonzentrationen in der Außenluft erhöhte Bleikonzentrationen im Kopfhaar gefunden [Aurand/Hoffmeister, 1980]. Inzwischen sind Haaranalysen im Rahmen von epidemiologischen Studien wissenschaftlich anerkannt [Wilhelm/Ewers, 1993]. Vorteile von Haaranalysen sind leichte Zugänglichkeit des Probenmaterials, relativ unproblematische Lagerung und Transport sowie die Tatsache, daß bei zahlreichen Elementen die Konzentrationen im Haar z.T. um mehrere Größenordnungen höher sind als die entsprechenden Konzentrationen in Körperflüssigkeiten und Geweben.

Zu den Pfaden, auf denen Schwermetalle in den Körper gelangen können, gehören die Ingestion und die Inhalation von **Hausstaub**. Zur Gewinnung von Hausstaubproben werden die verschiedensten Probenahme-Techniken eingesetzt (Kehrproben, Wischproben, Saugproben, Staubbeutelproben, Probenahme mit klebrigen Folien etc.). Eine Standardisierung der Probenahme im Rahmen einer solchen großen Studie ist problematisch. Am häufigsten wird über die Untersuchung des (gesiebten oder ungesiebten) Inhalts von Staubsaugerbeutelproben oder einer Mischprobe berichtet, wie sie auch in der vorliegenden Untersuchung Anwendung fand (Krause et al., 1991a). Darüber hinaus wurde der im Verlauf eines Jahres sedimentierte Hausstaub mithilfe eines normierten Plastikbeckers, der eine Art Passivsammler darstellt, gewonnen. Diese

Untersuchungstechnik ist somit von jahreszeitlichen Schwankungen unabhängig und hat sich in der Vergangenheit in anderen Untersuchungen unseres Institutes als einfach, preiswert und leicht handhabbar bewährt [Aurand et al., 1983; Krause et al., 1984; Seifert/Drews, 1985]. Die Probanden wurden gebeten, den Raum anzugeben, in dem sie sich zuhause am längsten aufhielten (außer Schlafzimmer). In diesem Raum wurde etwa in Kopfhöhe ein Becher aufgestellt. Der in dem Becher sedimentierte Staub wurde u.a. auf Blei untersucht.

Zur weiteren Erfassung der Exposition wurde neben dem Hausstaub auch das **Trinkwasser** (Spontan- und Stagnationsprobe) analysiert. In Altbauten sind teilweise auch heute noch Bleirohre bei Hausinstallationen und Hausanschlußleitungen vorhanden. Es ist bekannt, daß sich Blei durch Korrosionsvorgänge lösen kann.

Eine Untersuchung der Nahrung selbst fand nicht statt. Aussagen über die Bedeutung der Bleiaufnahme über diesen Pfad wurden mithilfe von Angaben über Verzehrhäufigkeiten bestimmter Lebensmittelgruppen gewonnen.

## 1.6 Probenahme und Analytik

### 1.6.1 Probenahme

Zur Bleibestimmung wurden entsprechend den Ausführungen in Abschnitt 1.5 folgende Proben genommen:

#### **Vollblut:**

Entnahme von ca. 3 - 5 ml Vollblut mit schwermetallarmen Vacutainer-Röhrchen (Fa. ubemed, bezogen über Becton Dickinson, Heidelberg).

#### **Kopfhaar:**

Gewinnung von ca. 200 mg Haupthaar (occipital, kopfhautnah) mit Effilier-Schere aus Edelstahl (Fa. Hauptner, Solingen); Aufbewahrung in Briefumschlag.

#### **Hausstaub:**

- (1) Hausstaubbecherproben: Auffangen des während eines Jahres in einen normierten Polystyrol-Becher (Fa. Frioli, Schloß Holte) sedimentierten Staubes; Aufstellung dieses Bechers etwa in Kopfhöhe (auf Schrank, Regal o.ä.) in dem Raum des Haushalts, in dem sich der Proband am längsten aufhält (außer dem Schlafzimmer).
- (2) Staubsaugerbeutelproben: Entnahme des Staubsaugerbeutelinhalt (wie er zum Zeitpunkt der Befragung im Staubsauger des Haushaltes vorlag) oder einer Probe dessen; Aufbewahrung in Vakuumverbundfolienbeutel.

#### **Trinkwasser:**

- (1) Wasserwerksproben: Gewinnung von zwei Ein-Liter-Proben aus Wasserwerken, die die untersuchten Haushalte beliefern.

(2) Haushaltsproben:

- Spontanprobe ( $\frac{1}{2}$  l): Trinkwasser, das zum Verzehr bestimmt ist (z.B. als Kaffee, Tee, Saft, Suppe), mit oder ohne Wasservorlauf je nach Gewohnheit des Probanden.
- Stagnationsprobe ( $\frac{1}{2}$  l): nach nächtlicher Stagnation, also morgens, ohne Wasservorlauf.

Als Probenbehältnisse wurden im Haushalt  $\frac{1}{2}$  l- und im Wasserwerk 1 l-Vierkantflaschen (Fa. Kautex, Bonn-Holzlar) eingesetzt.

1.6.2 Analytik

Eine Übersicht über die zur Bleibestimmung in den einzelnen Probenmaterialien eingesetzten Analysenverfahren und Nachweisgrenzen gibt Tabelle 1.2. Ausführliche Beschreibungen hinsichtlich der eingesetzten Standardmaterialien und Qualitätskontrollen sind für Blut und Haar dem Band I [Krause et al., 1989], für Hausstaub dem Band IIIa und für Trinkwasser dem Band IIIb [Krause et al., 1991b] zu entnehmen.

Tab. 1.2: Blei - Analyseverfahren und Nachweisgrenzen in verschiedenen Probenmaterialien

Untersuchungsmedium		Analysengerät	Methoden	Nachweisgrenze
Blut	[Krause et al., 1989]	PE 300	AAS Delves-Cup	20 µg Pb/l
Haar	[Krause et al., 1989]	PE 5000	AAS elektrothermal	3,8 - 27 ng Pb/g (je nach Einwaage)
Hausstaub (Becher)	[Krause et al., 1991a]	PE 5000	AAS elektrothermal	2,3 - 44 ng Pb/(m <sup>2</sup> ·Tag) (je nach Einwaage)
Hausstaub (Beutel)	[Krause et al., 1991a]	PV 8210	ICP-AES	2,6 µg Pb/g
Trinkwasser	[Krause et al., 1991b]	PE 403 mit HGA 65	AAS elektrothermal	0,5 µg Pb/l

1.7 Variablenorganisation

Ein Teil der mit dem unter 1.3 genannten Instrumentarium erzeugten Variablen war primär für den NUS von Interesse und für die hier bearbeiteten Fragestellungen inhaltlich nicht relevant. Der relevante Teil der Variablen, die als unabhängige Variablen für die Modelle der Bleigehalte in Blut, Haar und Hausstaub verwendet wurden, wurde der besseren Handhabung wegen folgendermaßen gruppiert:

1. **Berufs-Variablen:** In diese Gruppe von Variablen wurden die Antworten auf eine Reihe von allgemeinen Fragen zu Berufstätigkeit, Schulbildung und Einkommen des Befragten und gegebenenfalls seines Partners, Angaben zu speziellen Arbeitsbedingungen und Arbeitsbelastungen, sowie einige nachträglich aus allen verfügbaren Angaben durch einen Arbeitsmediziner erstellte Belastungseinstufungen aufgenommen.
2. **Ernährungs-Variablen:** Hierzu gehören die Angaben zu Verzehrhäufigkeiten zu 23 Nahrungsmittelgruppen sowie Angaben zu Verzehrmenngen zu neun Getränke-Gruppen.

3. **Gesundheits-Variablen:** Hierin enthalten sind u.a. die Ergebnisse einer Spontanurin-Untersuchung mit Combur<sup>9</sup> - Test (Boehringer Mannheim), eine Reihe von Stoffwechselfparametern und Gesundheitsindikatoren (Serum-Analyse mit Technicon - SMAC), Variablen aus Blutuntersuchungen (Coulter Counter S, Differentialblutbild) und Blutdruckmessungen. Weitere Informationen und Ergebnisse hierzu finden sich bei Hoffmeister et al. [1988, 1992].
4. Variablen zur subjektiven **Morbidität:** Hierin enthalten sind Angaben zu Krankheiten, gesundheitlichen Beeinträchtigungen und gesundheitsbezogenen Beschwerden beim Befragten und bei den übrigen Mitgliedern des Haushalts.
5. Variablen zum **Rauchen:** Ebenfalls erfragt wurden Angaben zum aktuellen Tabakgenuß (Art und Menge), zum Beginn und Ende regelmäßigen Rauchens beim Befragten sowie zum Rauchen bei weiteren Haushaltsmitgliedern.
6. **Prozeß-Variablen:** Hierzu zählen Variablen, die die intrakorporale Verarbeitung aufgenommener Schadstoffe direkt oder indirekt modifizieren können: Alter, Geschlecht, Kreatinin im Urin, Körpergewicht, Körpergröße und die Einnahmehäufigkeiten von 22 Medikamentengruppen. Kreatinin im Urin [Jaffe-Methode, s. Krause et al., 1989], Körpergewicht und Körpergröße wurden gemessen [vgl. Hoffmeister et al., 1988], während alle anderen Prozeß-Variablen erfragt wurden.
7. Gemessene **Elemente** und Verbindungen: Neben dem Blei wurden in den genannten Proben (Blut, Urin, Haar, Staubbeutel, Staubbecher, Spontanwasser, Stagnationswasser) noch zahlreiche andere Elemente und Verbindungen bestimmt. Einen vollständigen Überblick bieten Krause et al. [1989 und 1991a-c].
8. Variablen zur **Struktur** des geografischen Raumes: Von der Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung [BfLR, 1987] wurden eine Reihe von Daten zur Struktur der Landkreise bzw. kreisfreien Städte, der Raumordnungsregionen und der Bundesländer erworben. Diese Daten charakterisieren v.a. die Wirtschafts-, die Flächen- und die Infrastruktur der Räume sowie ihre wirtschaftliche und infrastrukturelle Dynamik. Im Rahmen der Arbeiten des vorliegenden Bandes wurden v.a. die Daten zu den Raumordnungsregionen eingesetzt. Bei Raumordnungsregionen handelt es sich "i.d.R. um die Einzugsbereiche bzw. großräumigen Verflechtungsbereiche von Wirtschafts- und Arbeitsmarktzentren. ... In den alten Ländern (der Bundesrepublik Deutschland, d. Verf.) entsprechen die Raumordnungsregionen weitgehend den Planungsregionen, wie sie von den Ländern ausgewiesen worden sind" [BfLR, 1991, S. 4]. Die Bundesrepublik Deutschland bestand 1991 aus insgesamt 97 solcher Regionen, das alte Bundesgebiet aus 75 Regionen. Die Daten zu den Raumordnungsregionen werden den entsprechenden Erhebungspunkten zugeordnet. Die Erhebungspunkte liegen in nur 38 der 75 Raumordnungsregionen. Dadurch ist zu erwarten, daß regionale Zusammenhänge unterschätzt werden (vgl. Kap. 1.11).
9. Variablen zum **Wohnort** der Probanden: Diese Variablen stammen z.T. aus Angaben des Befragten (z.B. zu gewerblichen und industriellen Einrichtungen in der näheren Wohnumgebung), teils aus Einschätzungen des Interviewers (Besiedlungsform der näheren Wohnumgebung, Art des Wohnhauses des Befragten, Stockwerk der Wohnung), teils aus sekundären Quellen (wie Fläche oder Einwohnerzahl

der Gemeinde). Sekundäre Quelle war hier die Gemeindegartei des Bundesgesundheitsamts, die ihrerseits vom Statistischen Bundesamt stammt. Vom Meteorologischen Institut der Freien Universität Berlin wurden Angaben zu den Tageshöchsttemperaturen am Untersuchungsort während der Untersuchungszeiträume übernommen.

10. Variablen zur **Wohnung**: Angaben zur Wohnfläche, zur Tierhaltung, zur Ausstattung der Räume mit Wand- und Bodenbelägen, zur Art der Fenster, Möbel und Baustoffe, zum Umfang von Renovierungen u.ä. wurden erfragt.
11. **Heizungs**-Variablen: In dieser Gruppe sind Variablen zu den zum Heizen, Kochen und für die Warmwasserbereitung eingesetzten Brennstoffen bzw. Energieträgern und zur Art der Raumheizung enthalten.
12. Variablen zu dem **Zimmer**, in dem der Staubbecher aufgestellt wurde: Angaben zu Art, Größe, Ausstattung und Nutzung des Zimmers stammen ebenfalls aus dem eingesetzten Umweltfragebogen.

### 1.8 Variablentransformationen

Die verfügbaren Variablen wurden für die Zwecke der vorliegenden Auswertung teilweise transformiert und neu codiert. Im besonderen wurden nominal skalierte Merkmale in mehrere binär codierte Merkmale zerlegt [z.B. Bortz, 1989], um sie in multiplen Regressionsanalysen verarbeiten zu können, und Indices aus vorhandenen Variablen gebildet.

### 1.9. Sicherung der Datenqualität

Die Qualität von Fragebogen- und Labordaten wurde durch ein umfangreiches Instrumentarium gesichert, das von der Teilnahme der beteiligten Labors an Ringversuchen über die Schulung des Untersuchungspersonals und der Kontrolle der Interviewer vor Ort, über die Kontroll-Lochung bei der Datenerfassung bis zur Plausibilitätskontrolle der Daten und zur spezifischen Analyse der Ausschöpfung der Untersuchung reicht. Nähere Informationen hierzu finden sich bei Beckmann/Schwarz [1986], Güther/Schwarz [1986], Hoffmeister et al. [1988] und Krause et al. [1989 und 1991a-c].

### 1.10 Statistische Methoden

Zielsetzung dieses Bandes ist es, die Bleivariablen des Meßprogramms auf der Basis der verfügbaren Daten möglichst präzise und schlüssig vorherzusagen, um auf diese Weise zum Verständnis der Entstehung von Bleibelastungen im menschlichen Körper und innerhalb der Wohnräume der Menschen beizutragen.

Das jeweils zu lösende Problem besteht damit zum einen in der Wahl einer geeigneten mathematischen Form und zum anderen in der Auswahl geeigneter Prädiktoren, die in diese Form Eingang finden sollen.

### 1.10.1 Mathematische Form

Eine gebräuchliche und hoch entwickelte Form für Vorhersagemodelle ist die multiple Regressionsanalyse. Sie ist ein additives Vorhersagemodell, das als lineares Gleichungssystem unter der Nebenbedingung der Minimierung der Fehlerquadrat-Summen vergleichsweise einfach lösbar und in seinem Ergebnis recht gut verständlich ist. Das Verfahren ist als verallgemeinertes lineares Modell auch für die Kombination von intervall- oder höher skalierten Prädiktoren mit nur nominal-skalierten Prädiktoren geeignet. Selbst die Kriterien können nominal skaliert sein, wenn sie bestimmte Bedingungen erfüllen [Bortz/Muchowski, 1988].

Bei intervall- oder absolut-skalierten Kriterien kann die multiple Regressionsrechnung vorteilhaft eingesetzt werden, wenn diese Kriterien näherungsweise normalverteilt sind. Die hier zu untersuchenden Bleivariablen sind aber durchgängig nicht als normal verteilt zu betrachten, in ihrer schiefen Verteilungsform ähneln sie vielmehr lognormalen Verteilungen. In Pharmakologie und Toxikologie sind lognormale Verteilungen üblich und werden dort unter dem Paradigma "Dosis-Wirkungs-Modell" interpretiert: "In der Natur sind viele zufällige Veränderliche lognormal verteilt. Überall dort, wo die Reaktion eines Elements auf eine gegebene Ursache sich proportional verhält zur Intensität der Ursache und zur Größe des Elements, wird die Verteilung lognormal sein" [Ciba-Geigy, 1980, S.203].

Dies aber heißt, daß lognormal verteilte Variablen gerade nicht durch additive Formen wie in der multiplen Regressionsanalyse, sondern besser durch multiplikative Formen modelliert werden sollten.

Daher wurden die hier zu untersuchenden Bleikriterien logarithmiert. Die Logarithmierung löst dabei zwei Probleme gleichzeitig:

1. Das der lognormalen Verteilung angemessene multiplikative Modell kann so durch ein additives Modell ersetzt werden und
2. das Kriterium wird in eine Form überführt, die einer Normalverteilung wesentlich stärker ähnelt als die Ausgangsverteilung, womit die Regressionsanalyse effektiver eingesetzt werden kann.

Die bei der Logarithmierung entstehende mathematische Form wird hier in Anlehnung an die entsprechende Definition von Breslow/Day [1980, S. 57] als "lineares Modell für die logarithmierten Gehalte" bezeichnet.

### 1.10.2 Auswahl der zu prüfenden Prädiktoren

Mit steigender Anzahl statistischer Tests steigt auch die Wahrscheinlichkeit, daß mindestens ein Test zu einem signifikanten Ergebnis führt, obwohl die Nullhypothese richtig ist. Jede Datenauswertung hat daher das Bestreben, die Anzahl der statistischen Tests möglichst klein zu halten. Idealerweise prüft man nur solche Prädiktoren auf ihren Zusammenhang mit dem Kriterium, für die sich auch entsprechende Zusammenhangshypothesen begründen lassen. Wegen der großen Zahl möglicher Prädiktoren ist dieser Weg hier aber nicht beschritten worden. Das damit verbundene Auswahlverfahren wäre um ein Vielfaches aufwendiger gewesen als die Prüfung aller Prädiktoren.

Stattdessen wurde hier ein mehrstufiges Auswahlverfahren angewendet:

1. Variablenbereiche, die von vornherein als irrelevant in bezug auf das gestellte Thema erschienen, wurden generell nicht untersucht. Hierzu gehören z.B. zahlreiche Lebensstilvariablen aus dem Fragebogen der DHP (z.B. Zufriedenheit mit der Freizeit usw.).
2. Für jede der unter 1.7 genannten 12 Variablengruppen wurde sachlich geprüft, ob sich eine begründbare Zusammenhangshypothese formulieren ließ. Wenn dies der Fall war, wurden die Zusammenhänge der gesamten Gruppe mit dem Kriterium untersucht.
3. Ebenso wurde mit Interaktionen erster Ordnung innerhalb und zwischen den Variablengruppen verfahren.
4. Für wesentliche **einzelne** Variablen wurde geprüft, ob sich begründete Zusammenhangshypothesen mit anderen als den **linearen** Formen der Variablen formulieren ließen. Dazu wurden Residuen analysiert. Hier wurden dann gegebenenfalls auch logarithmische oder quadratische Terme geprüft. Bei der Betrachtung einzelner wesentlicher Variabler entwickelten sich des öfteren Hypothesen über Indices, die aus zwei oder mehreren Variablen zu bilden waren. Solche Indices wurden ebenfalls geprüft.

### 1.10.3 Auswahlbedingungen für die Modellbildung

Nur einige wenige der geprüften Prädiktoren werden letztlich in das Vorhersagemodell aufgenommen, während die meisten Prädiktoren verworfen werden, weil sie für das Modell nicht effektiv genug sind. Für die Berücksichtigung eines Prädiktors im resultierenden Vorhersagemodell müssen verschiedene Bedingungen erfüllt werden:

1. Ein Prädiktor muß einen signifikant von Null verschiedenen Standardpartialregressionskoeffizienten haben ( $\alpha = 0.01$ ) und einen nennenswerten Beitrag zur Aufklärung der Varianz des Kriteriums leisten.
2. Der Prädiktor muß für sich allein oder in Wechselwirkung mit anderen Prädiktoren sinnvoll interpretierbar sein. Der Prädiktor muß dabei als im weiteren Sinne ursächlich oder modifizierend in bezug auf das Kriterium verstanden werden können. Prädiktoren, die ganz oder überwiegend als Folge des Kriteriums verstanden werden müssen, finden keinen Eingang in das Modell.
3. Wechselwirkungsterme finden nur dann Eingang in ein Vorhersagemodell, wenn sie die Varianzaufklärung durch die zugrundeliegenden Haupteffekte nennenswert verbessern.

### 1.10.4 Effektstärken

In Verbindung mit den unter 1.10.3 genannten Auswahlbedingungen stellt sich die Frage, was ein "nennenswerter Beitrag zur Aufklärung der Kriteriumsvarianz" ist, d.h., wie die Effektstärke einzelner Prädiktoren zu bewerten ist.

Im folgenden werden Effektstärken-Kategorien rein pragmatisch anhand der Varianzkomponenten  $\beta \cdot r$  (dies sind die Produkte aus dem Standardpartialregressionskoeffizienten eines Prädiktors und seines Korrelationskoeffizienten mit dem Kriterium) definiert. Diese Definition gründet sich allein auf die bisherigen Erfahrungen mit der Auswertung der Daten des Umwelt-Survey:

1. **sehr kleine Effekte:**  $|\beta \cdot r| \leq 0,002$

Effekte dieser Größe treten mit einem Signifikanzniveau von 5 % oder kleiner in großer Zahl auf. Sie sind überwiegend nicht sinnvoll interpretierbar und nicht stabil gegen Schwankungen der Stichprobengröße oder gegen Schwankungen der im Modell enthaltenen Prädiktoren.

2. **kleine Effekte:**  $0,002 < |\beta \cdot r| \leq 0,01$

Kleine Effekte sind signifikant mit etwa 1 % oder kleinerer Irrtumswahrscheinlichkeit. Sie treten ebenfalls häufiger auf, neigen bei Schwankungen der Stichprobengröße und bei Kreuzvalidierungen (s. Abschnitt 1.13.1) aber zur Labilität. Sie sind zum Teil gut interpretierbar.

3. **mittlere Effekte:**  $0,01 < |\beta \cdot r| \leq 0,05$

Mittelstarke Effekte sind gegen Schwankungen der Stichprobengröße und bei Kreuzvalidierungen stabil. Sie sind bezüglich der aufgeklärten Kriteriumsvarianz nennenswert, aber nicht herausragend.

4. **große Effekte:**  $0,05 < |\beta \cdot r| \leq .20$

Große Effekte bestimmen die Vorhersagemodelle wesentlich. Ihre Anzahl ist beschränkt.

5. **sehr große Effekte:**  $.20 < |\beta \cdot r|$

Sehr große Effekte sind dominant in bezug auf die Vorhersage des Kriteriums.

Sehr kleine Effekte werden in der Regel nicht in die Vorhersagemodelle aufgenommen, es sei denn, es besteht ein besonderes wissenschaftliches Interesse an einem bestimmten Prädiktor. Kleine Effekte werden überwiegend in die Vorhersagemodelle aufgenommen, es sei denn, sie erscheinen in jeder Hinsicht als unverständlich. Mittlere, große und sehr große Effekte werden stets bei der Modellauswahl berücksichtigt.

Der vorstehende Ansatz zur Effektstärken-Klassifikation ist nicht frei von Nachteilen. Ein Nachteil besteht darin, daß die Zufallsverteilung der Varianzanteile  $\beta \cdot r$  abhängig von der Stichprobengröße ist. Diese Abhängigkeit wirkt sich bei den hier durchgängig recht großen Stichproben aber nur noch wenig aus. Ein weiterer Nachteil ist die Abhängigkeit der Bewertung von den anderen im Modell enthaltenen Prädiktoren. Stark korrelierende Prädiktoren sind daher zusammenzufassen und gemeinsam hinsichtlich ihrer Effektstärke zu bewerten, sofern dies inhaltlich sinnvoll erscheint.

Eine andere häufig angewandte Klassifikation der Effektstärken von Cohen [1977] wurde hier nicht übernommen, da sie aufgrund ihrer Abhängigkeit von der insgesamt aufgeklärten Varianz zu inkonsistenten Bewertungsmaßstäben führen würde.

### 1.10.5 Multikollinearität

Multikollinearität im statistischen Sinne bezeichnet die mehr oder minder starken linearen Abhängigkeiten und Linearkombinationen zwischen verschiedenen Prädiktoren, also deutlich von Null verschiedene einfache und multiple Korrelationskoeffizienten zwischen den Prädiktoren. Multikollinearität führt zu einer Reihe von Schwierigkeiten bei der Modellbildung, z.B. bezüglich der Prädiktorenauswahl, bezüglich der Interpretierbarkeit und bezüglich der Stabilität des Modells.

Auch in den vorliegenden Analysen war die Multikollinearität der Prädiktoren ein schwieriges Problem. Standardmäßig löst man solche Probleme häufig durch den Einsatz variablenreduzierender Verfahren wie

Faktoren- oder auch Cluster-Analysen. Diese Lösungswege wurden im Rahmen des Kapitels 2 dieses Bandes aber äußerst sparsam eingesetzt (s. nächster Abschnitt), weil die praktische Anwendbarkeit von Regressionsgleichungen durch die Einführung abstrakter oder latenter Variablen stark erschwert wird und weil auch die Spezifität des hier zu untersuchenden Metalls dies häufig nicht angemessen erscheinen läßt. So würden sich Faktorenanalysen im Bereich der Ernährungsvariablen oder im Bereich beruflicher Variablen generell durchaus anbieten, allerdings ginge die in bezug auf Blei gewünschte Spezifität einiger Merkmale dabei verloren.

Für die hier vorliegende Zielsetzung wurde die Problematik multikollinearere Variabler deshalb primär durch die Isolation konfundierter Variabler, durch die Auflösung von Überanpassungen ("overmatching") [vgl. Breslow/Day, 1980] und die Beseitigung von Redundanzen gelöst.

Der Zusammenhang zwischen zwei Variablen wird als "konfundiert" bezeichnet, wenn er, wie der Begriff klar macht, "aus gemeinsamem Grunde" kommt. Konfundierte Zusammenhänge sind relativ leicht zu erkennen, wenn die die Konfundierung begründende Variable valide gemessen zur Verfügung steht. Ist diese Variable dagegen im Datensatz gar nicht enthalten, wohl aber konfundierte Zusammenhänge, so entsteht das als "Scheinkorrelation" bekannte Phänomen, das allein statistisch nicht aufgelöst werden kann.

Überanpassung liegt vor, wenn zwei oder mehr nacheinander folgende Glieder einer Kausalkette im Regressionsmodell enthalten sind. Diese Glieder korrelieren in der Regel stark miteinander und neutralisieren sich damit gegenseitig zumindest teilweise in bezug auf die Prädiktion des Kriteriums; Partialkorrelationen mit dem Kriterium und Standardpartialregressionskoeffizienten sind verkleinert. Es wird häufig sinnvoll sein, sich auf einen dieser Prädiktoren zu beschränken und die anderen aus der Regressionsgleichung zu entfernen. Die Auswahl des beizubehaltenden Prädiktors wird dabei inhaltlich, d.h. im Hinblick auf die wissenschaftliche Zielsetzung der Datenanalyse, zu begründen sein. In der vorliegenden Auswertung wurden z.B. die Bleigehalte der Staubproben erst gegen Ende der Analyse als Prädiktoren eingesetzt, weil sie auf dem Wege der Überanpassung die Bedeutung von Expositionsvariablen aus den Fragebögen reduzieren können.

Die Verwendung der Begriffe "Konfundierung" und "Überanpassung" setzt relativ klare Vorstellungen über kausale Abläufe im Rahmen der zu untersuchenden Fragestellungen voraus. Der Gegenstand umwelt-epidemiologischer Studien muß aber generell multikausal betrachtet werden [vgl. z.B. Schäfer/Wachtel, 1989], wobei verschiedene Ursachen häufig gemeinsame, d.h. korrelierte, aber eben auch spezifische Anteile aufweisen.

In der vorliegenden Studie mit ihrer sehr großen Variablenzahl kommt hinzu, daß viele Variablen nicht eigentlich Ursachen von Prozessen erfassen, sondern lediglich Indikatoren dafür sind, und daß häufig gleich mehrere, teilweise redundante Indikatoren für das gleiche Phänomen vorhanden sind. Wesentliche Aufgabe der Datenauswertung war es damit, solche Indikatoren zu identifizieren und Redundanz sinnvoll zu eliminieren, ohne dabei wesentliche Spezifität aufzugeben.

Niedrige Korrelationskoeffizienten zwischen den Prädiktoren führen zu stabilen Schätzungen der Regressionsparameter. Die auf der Basis kompletter Datensätze berechneten Interkorrelationen zwischen den letztendlich verwendeten Prädiktoren werden für jedes Modell in einer speziellen Tabelle angegeben.

Diese gefundenen Interkorrelationen gewährleisteten eine ausreichende Stabilität der Modelle. Bei festgestellter hoher Interkorrelation wurden beide Prädiktoren dann im Modell belassen, wenn die separate Herausnahme eines Prädiktors zu einem deutlichen Verlust an Varianzaufklärung führte (z.B. Geschlecht und Zellpackungsvolumen im Modell für den Bleigehalt im Blut).

### 1.11 Regionale Variablen

Die für diese Studie untersuchte Stichprobe wurde in einem mehrfach geschichteten zweistufigen Verfahren gezogen. Auf der ersten Stufe wurden 100 Erhebungspunkte gezogen und auf der zweiten Stufe brutto jeweils 40 Probanden aus jedem Erhebungspunkt. Die Erhebungspunkte wurden nicht völlig unabhängig voneinander gezogen, vielmehr liegen sie aus organisatorischen Gründen überwiegend paarweise innerhalb einer Gemeinde, so daß sich die 100 Erhebungspunkte insgesamt nur auf 54 Gemeinden verteilen. Diese 54 Gemeinden stammen wiederum aus 51 von insgesamt 328 Landkreisen bzw. kreisfreien Städten aus dem Gebiet der alten Bundesrepublik. Die Erhebungspunkte liegen in 38 von 75 Raumordnungsregionen [BfLR, 1987] und in allen alten Bundesländern sowie in Berlin (West).

Die hier zu untersuchenden Bleikriterien weisen erhebliche regionale Abhängigkeiten auf. Für den Logarithmus des Bleis im Blut sind zum Beispiel 10 % der Varianz durch die Erhebungspunkte und 7 % durch die Raumordnungsregion aufklärbar. Der Tabelle 1.3 sind die regional bedingten Varianzkomponenten für die Logarithmen der Kriterien zu entnehmen.

Tab. 1.3: Regional bedingte Varianzanteile (in %) für verschiedene Bleivariablen (logarithmiert):

	Erhebungs- gebiet	Raumordnungs- region
Blei im Blut	10	7
Blei im Haar	10	6
Blei im Staubbecher	15	10
Blei im Staubsaugerbeutel	30	23

Um diese regionalen Abhängigkeiten inhaltlich erklären und verstehen zu können, wurden aus sekundären Quellen eine Reihe von regionalen Variablen beschafft und als Prädiktoren in die Regressionsrechnungen eingesetzt. Allerdings sind diese Variablen dafür nur bedingt geeignet, da sie zu grob sind. Andererseits standen genauere Daten nicht zur Verfügung.

Ein Teil der Variablen zur Wirtschafts- und zur Bevölkerungs- und Infrastruktur war dabei so stark multikollinear, daß eine Aufklärung der Prädiktionsstrukturen dieser Variablen mitunter nicht möglich war. Die Raumordnungsregionen wurden deshalb mithilfe dieser Variablen geclustert. Die Cluster wurden dann interpretiert und die Clusterzugehörigkeiten der Raumordnungsregionen binär codiert als Prädiktoren eingesetzt (Dummy-Codierung).

Bei der Verwendung solcher regionsbezogener Variablen ist zu beachten, daß diese letztlich nur auf 38 verschiedenen Datenkombinationen beruhen und nicht, wie bei den personen- oder haushaltsbezogenen

Variablen, auf 2000 oder mehr unabhängigen Meßwerten. Andererseits sind 38 von 75 Raumordnungsregionen in der Stichprobe repräsentiert, d.h. ca. 50 % der Regionen. Probleme mit dem Einsatz regionaler Variablen resultieren daher weniger aus der Zahl der Fälle an sich, sondern aus der Tatsache, daß die Kriterienmessungen in den Erhebungspunkten für die Bleibelastung in der Region nicht notwendig repräsentativ sind und daß die deutlichen Korrelationen zwischen verschiedenen regionalen Variablen zu Fehlschlüssen führen können.

In varianzanalytischen Begriffen entsprechen die regionalen Variablen, so wie sie hier verwendet werden, einem mehrfaktoriellen, nicht orthogonalen und nicht vollständig kombinierten Design, wobei die Erhebungspunkte unter die Zellen des Erhebungsplanes geschachtelt sind.

### 1.12 Verfahrensvoraussetzungen

In der Literatur werden durchaus verschiedene Voraussetzungen für den Einsatz multipler Regressionsanalysen genannt. Während verschiedene Autoren die multivariate Normalverteilung der beteiligten Variablen fordern, stellen z.B. Gaensslen/Schubö [1973] nur Ansprüche an die Verteilungen der Kriteriumsvariablen. Auch die Folgen von Verletzungen der Voraussetzungen sind nicht in jeder Hinsicht klar.

Generell kann man aber im Rahmen des hier vorliegenden Berichtes davon ausgehen, daß die Voraussetzungen des Verfahrens verletzt sind (siehe Kap. 2.2) und daß diese Verletzungen hier selbst dann unkritisch sind, wenn sie zu Verzerrungen der spezifizierten Irrtumswahrscheinlichkeiten führen. Solche Verzerrungen sind üblicherweise konservativ, d.h., daß die Irrtumswahrscheinlichkeiten überschätzt werden. Aber selbst progressive Verzerrungen wären hier kaum problematisch: Da die in den Regressionsanalysen ermittelten Irrtumswahrscheinlichkeiten der univariaten und multivariaten Prüfstatistiken überwiegend kleiner als ein Hunderstel Prozent sind, würden selbst progressive Verzerrungen der wahren Irrtumswahrscheinlichkeiten um den Faktor 100 noch immer zu signifikanten Ergebnissen führen.

Die Robustheit der Signifikanzteste bei schiefen binären Verteilungen in allgemeinen linearen Modellen ist bei Bortz/Muchowski [1988] demonstriert.

Die mit den Vorhersagemodellen aufgeklärten Varianzanteile der Kriteriumsvariablen (quadrierte multiple Korrelationen) überschätzen die Zusammenhangsstärken in der Population etwas. Entsprechende Korrekturen der quadrierten multiplen Korrelation können "Tabellen für die Modellkennwerte" entnommen werden. Da wegen der durchgängig großen Stichproben diese Überschätzungen hier stets sehr gering ausfallen, wird im Text ausschließlich auf die unkorrigierten Werte Bezug genommen.

### 1.13 Stabilitätsprüfungen

Zur Prüfung der Anfälligkeit der ermittelten Vorhersagemodelle gegen Stichprobenschwankungen wurden Stabilitätsprüfungen durchgeführt.

### 1.13.1 Kreuzvalidierungen

Die resultierenden Modelle wurden wie üblich kreuzvalidiert. Hierzu wurde die Gesamtstichprobe zunächst quasi-zufällig in zwei Teilstichproben unterteilt. Anschließend wurden die Modellparameter für die Teilstichproben bestimmt. Die so errechneten Regressionsmodelle wurden zur Schätzung des Kriteriums in der jeweils anderen Teilstichprobe eingesetzt und die auf diese Weise erzielbare Varianzaufklärung errechnet. Die Bewertung der Stabilitätsprüfungen wird in den entsprechenden Kapiteln vorgenommen.

### 1.13.2 Regionale Stabilitätsprüfung

Wegen der unter 1.11 dargestellten Problematik der regionalen Variation wurde analog zu 1.13.1 die Gesamtstichprobe auch regional quasi-zufällig in zwei Teilstichproben auf der Basis der Raumordnungsregionen geteilt. Anschließend wurde ebenso verfahren wie unter 1.13.1.

### 1.14 Weitere Subgruppen-Regressionen

Die Regressionskoeffizienten einzelner Prädiktoren variieren möglicherweise ganz erheblich in Abhängigkeit von den verschiedenen Ausprägungen solcher Variablen wie Geschlecht und Rauchstatus. Bei gegebenem inhaltlichen Interesse wurden daher weitere Regressionen für definierte Subgruppen, wie Männer und Frauen oder Raucher und Nichtraucher, berechnet.

### 1.15 Genauigkeit der Ergebnisse

Alle statistischen Auswertungen wurden mit SPSS-X 3.0 auf einem Großrechner bzw. mit SPSS/PC+ 4.0 auf dem PC durchgeführt. Die Anzahl der vom Programm ausgegebenen Nachkommastellen ist dabei vom Benutzer nicht zu beeinflussen und beträgt in der Regel zwischen drei und fünf Stellen. Ob diese Genauigkeit jeweils angemessen ist oder nicht, bedarf im einzelnen der Diskussion. Wenn eine Variable durchgängig auf zwei Stellen hinter dem Komma genau bestimmt werden kann, mag die Angabe eines Mittelwertes oder einer Standardabweichung mit fünf Nachkommastellen durchaus sinnvoll sein, falls (wie in der vorliegenden Studie) die Stichprobengröße über 1000 liegt. Denn einer Änderung des Mittelwertes auf der letzten Nachkommastelle würde in einem solchen Falle eine signifikante Änderung eines Einzelwertes entsprechen. Das Lebensalter wurde z.B. in dieser Studie jeweils taggenau als Differenz zwischen Geburtsdatum und Erhebungsdatum bestimmt. Die individuellen Altersangaben in Jahren haben damit eine Genauigkeit von mehr als zwei Stellen hinter dem Komma und der Mittelwert eine Genauigkeit von mehr als fünf Nachkommastellen. Nur durch Fälle, in denen das eine oder das andere Datum nicht korrekt angegeben worden ist, kann diese Genauigkeit herabgesetzt sein.

Auf der anderen Seite gibt es natürlich im Rahmen der vorliegenden Auswertungen viele Variablen, deren Genauigkeit deutlich geringer ist als etwa die des Alters.

Dies gilt nicht nur aus meßtechnischen Gründen, wie z.B. bei den Element-Gehalten in den verschiedenen Proben, sondern auch wegen des Stichprobenfehlers der Messungen, also wegen der unvollständigen

Repräsentativität der einzelnen Messungen für die untersuchten Individuen und wegen der Abweichungen der untersuchten Stichprobe von der zugrunde liegenden Population.

Gleichwohl wurden wegen des immensen Arbeitsaufwands, der mit einer angemessenen Rundung verbunden gewesen wäre, sämtliche Ergebnisse der Auswertungen ohne weitere Rundungen in diesen Bericht übernommen.

### **1.16 Grafische Darstellungen der Ergebnisse**

Die in dem vorliegenden Bericht entwickelten Vorhersagemodelle enthalten in der Regel eine größere Zahl von Prädiktoren. Mit der Anzahl der Prädiktoren werden die Ergebnisse natürlich auch unübersichtlicher. Es sind deshalb eine Reihe von grafischen Darstellungen in den Bericht aufgenommen worden, in denen die Zusammenhangsstrukturen einzelner Prädiktoren mit dem Kriterium zeichnerisch wiedergegeben sind. Solche Zeichnungen können natürlich nur dann erstellt werden, wenn die nicht dargestellten Prädiktoren rechnerisch konstant gehalten werden. Leider sind diese anderen Prädiktoren real oft keineswegs unabhängig von den gerade dargestellten (vgl. Abschnitt 1.10.5 über die Multikollinearität), so daß die gezeichneten Regressionskurven in gewisser Weise Abstraktionen sind, bei denen ein bestimmter Aspekt isoliert betrachtet wird, der empirisch aber nicht isoliert auftritt.



## 2. VORHERSAGEMODELLE FÜR DIE BLEIVARIABLEN

### 2.1 Auswahl der Kriterien

Für Blei im Blut, Blei im Haar, Blei im Staubbecher und Blei im Staubsaugerbeutel werden i.f. die ermittelten Regressionsmodelle dargestellt.

Die Bleivariablen aus den beiden Wasserproben werden zunächst nicht als Kriterien untersucht, weil es nicht vordergründiges Ziel der Studie war, Ursachen der Wasser-Zusammensetzung zu untersuchen. Wohl aber werden beide Variablen als Prädiktoren für die intrakorporalen Bleivariablen geprüft.

### 2.2 Deskription der Bleivariablen

Den Bänden I [Krause et al., 1989] und III [Krause et al., 1991a-c] zu dieser Studie sind detaillierte statistische Kennwerte zu den Bleivariablen als Schätzungen von Populationsparametern zu entnehmen. Für die Variablen

- PBB: Bleigehalt im Blut
- PBH: Bleigehalt im Haar
- PBBCH: Bleiniederschlag im Haushalt (Staubbecher)
- PBBT: Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel
- PBSPON: Bleigehalt im Trinkwasser, Spontanprobe
- PBSTAG: Bleigehalt im Trinkwasser, Stagnationsprobe

sind die wichtigsten der Kennwerte in der folgenden Tabelle 2.2.1 noch einmal zusammengestellt:

Tab. 2.2.1: Kennwerte der Bleivariablen für gewichtete Daten.

Mit "\*" markierter Wert liegt unterhalb der Nachweisgrenze.

	PBB	PBH	PBBCH	PBBT	PBSPON	PBSTAG:
Dimension:	µg/100ml	µg/g	µg/(m <sup>2</sup> ·Tag)	µg/g	µg/l	µg/l
Nachweisgrenze:	2,0	≤0,027	≤0,044	2,6	0,5	0,5
Fälle:	2346	1360	2180	2614	2716	2577
10. Perzentil:	4,2	0,44	0,17	4,8	0,3*	1,0
Median:	6,9	1,34	0,42	24,2	2,0	3,0
90. Perzentil:	11,2	5,14	1,45	142	7,0	10,0
Maximum:	55,1	286,9	56,84	13920	122,0	200,0
arithmetisches Mittel:	7,50	2,62	0,596	80,06	4,08	5,32
Standardabweichung:	3,57	9,28	1,369	368,03	8,98	11,69
geometrisches Mittel:	6,86	1,44	0,417	25,28	1,97	2,46
Schiefte:	3,28	27,11	1,71	24,9	6,92	7,27

Wie den Kennwerten zu entnehmen ist, sind die Verteilungen der Variablen überwiegend deutlich links-gipflig, weisen also im unteren Wertebereich große Häufigkeiten, im oberen Wertebereich dagegen vergleichsweise geringe Häufigkeiten und schließlich eine Reihe von einzelnen, extrem hohen Werten auf. Alle Kennwerte sind für gewichtete Daten ermittelt worden, d.h., bekannte Abweichungen zwischen Stichproben- und Populationsstruktur wurden rechnerisch kompensiert. Werte unterhalb der Nachweisgrenze sind in Höhe der halben Nachweisgrenze in die Berechnungen eingegangen. Nähere Angaben finden sich bei Krause et al. [1989] und Krause et al. [1991a-c].

Die Schiefen der logarithmierten Verteilungen bewegen sich recht nahe um Null (zwischen -0,424 für PBBCH und 0,451 für PBSPON); diese Verteilungen sind also recht symmetrisch. Gleichwohl weichen sie mit Ausnahme des Bleis im Haar ganz erheblich von theoretischen Normalverteilungen ab; entsprechende  $\chi^2$ -Tests sind hochsignifikant [Bortz, 1989]. Die Abweichungen sind z.T. auf die fehlende Auflösung der Daten unterhalb der Nachweisgrenze zurückzuführen. Die Abbildungen 2.2.1 bis 2.2.4 zeigen die logarithmierten Kriteriums-Verteilungen.

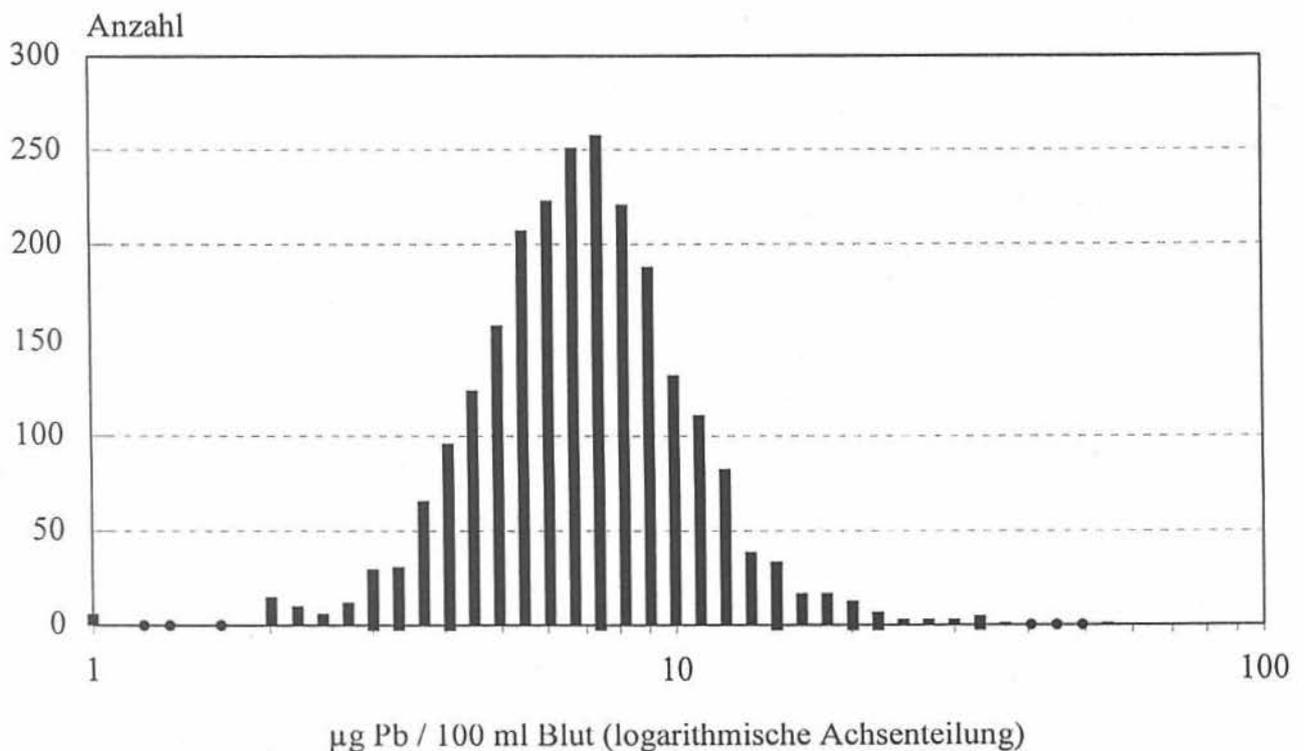


Abb. 2.2.1: Häufigkeitsverteilung des Bleigehaltes im Blut

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

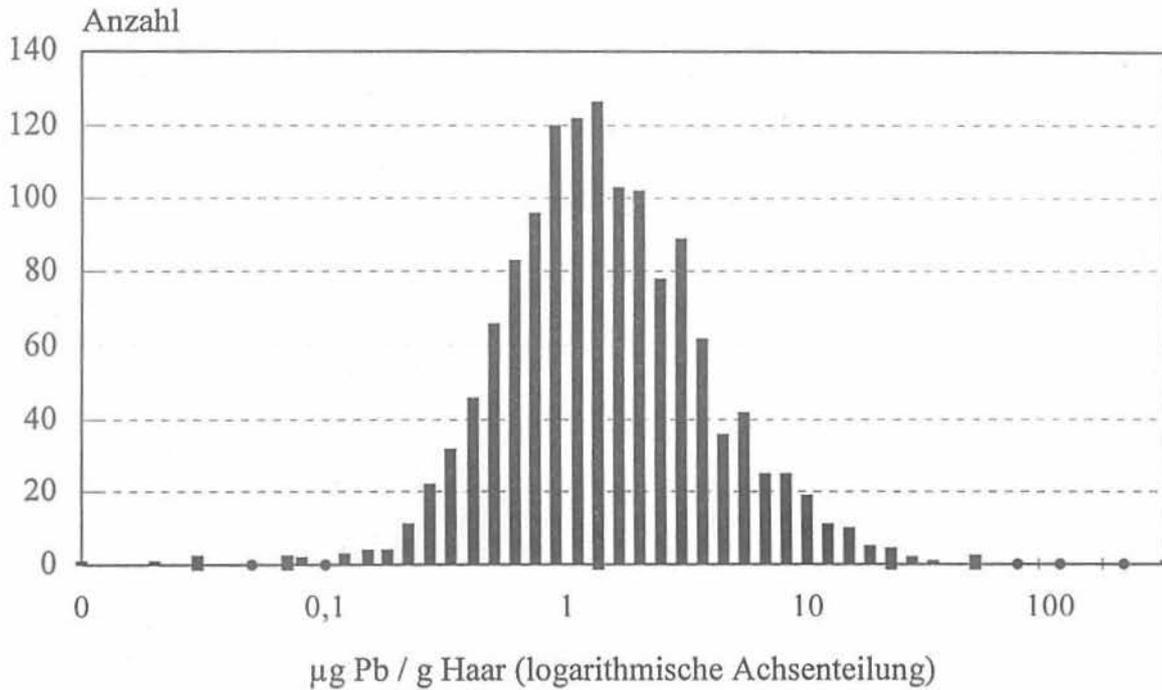


Abb. 2.2.2: Häufigkeitsverteilung des Bleigehaltes im Haar

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

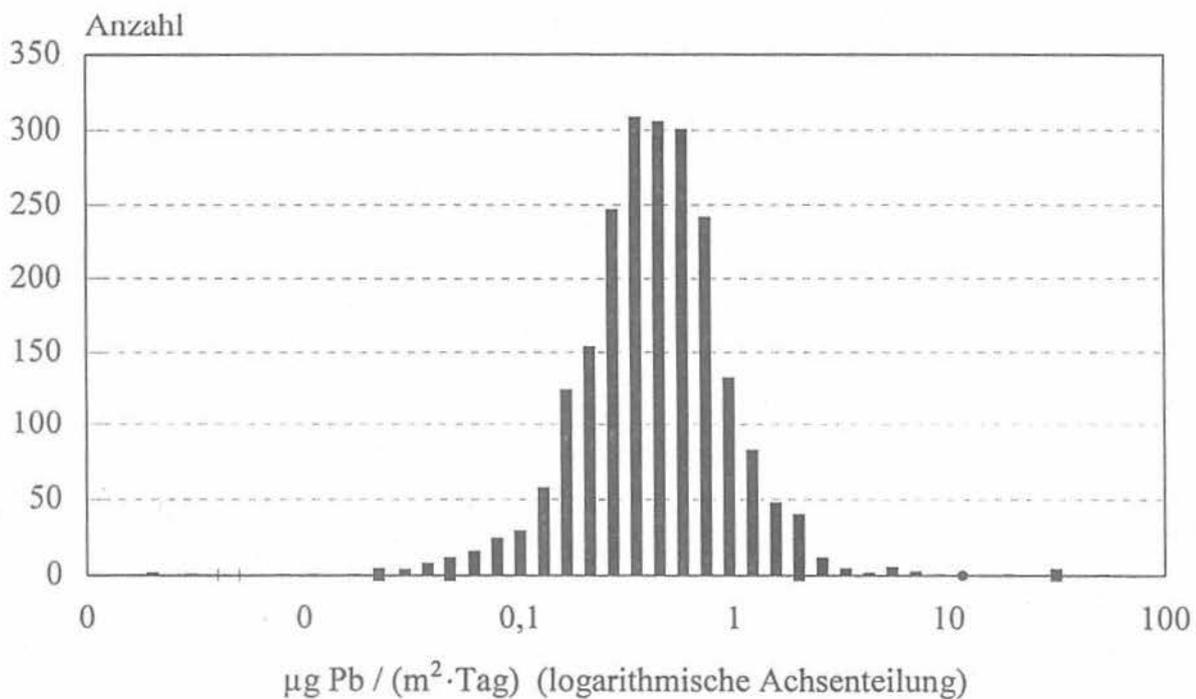


Abb. 2.2.3: Häufigkeitsverteilung des Bleiniederschlags im Haushalt

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

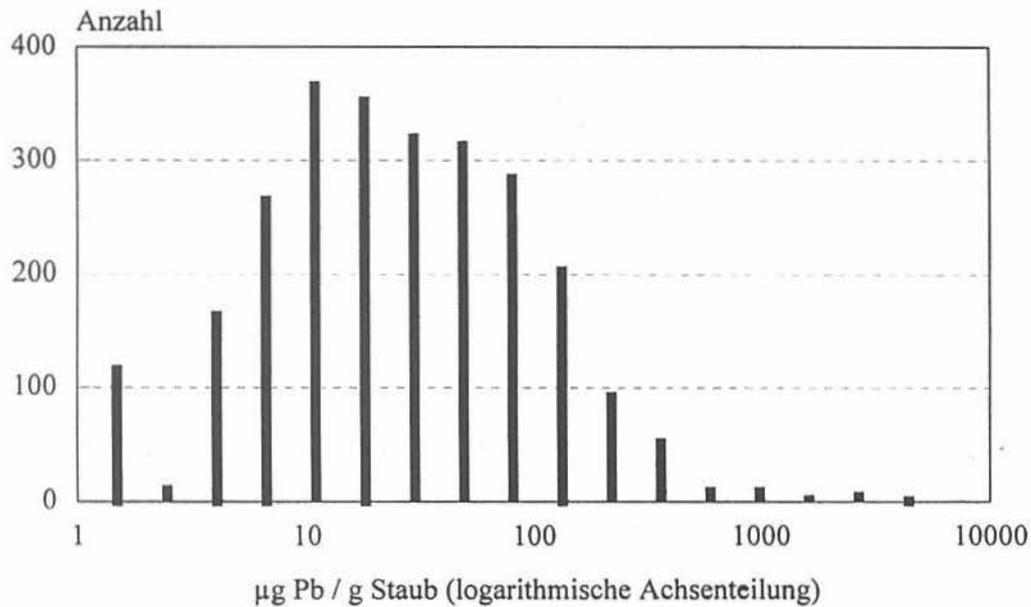


Abb. 2.2.4: Häufigkeitsverteilung der Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

### 2.3 Zusammenhänge der Bleivariablen untereinander

Die Tabelle 2.3.1 enthält die Produkt-Moment-Korrelationskoeffizienten der natürlichen Logarithmen der Bleivariablen (Meßwerte). Für die nicht logarithmierten Werte fallen diese Zusammenhangsmaße durchgängig niedriger aus. Die Präzision der in Tabelle 2.3.1 angegebenen Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  ist wegen der Verletzungen der Verteilungsvoraussetzungen herabgesetzt.

Tab. 2.3.1: Interkorrelationen der logarithmierten Bleivariablen mit Angabe der Fallzahlen (in Klammern) und der Irrtumswahrscheinlichkeiten  $p$  (einseitige Fragestellung)

	PBB	PBH	PBBCH	PBBT	PBSPON	PBSTAG
PBB	1,0000 ( 2348)	,2161 ( 1266) P= ,000	,1396 ( 1965) P= ,000	,0314 ( 2253) P= ,068	,0823 ( 2337) P= ,000	,0616 ( 2338) P= ,001
PBH		1,0000 ( 1355)	,1489 ( 1126) P= ,000	,0753 ( 1301) P= ,003	,0795 ( 1349) P= ,002	,0418 ( 1349) P= ,063
PBBCH			1,0000 ( 2174)	,1190 ( 2108) P= ,000	,0242 ( 2171) P= ,130	,0342 ( 2126) P= ,057
PBBT				1,0000 ( 2606)	-,0313 ( 2605) P= ,055	-,0187 ( 2480) P= ,175
PBSPON					1,0000 ( 2714)	,6093 ( 2573) P= ,000

Den stärksten Zusammenhang zeigen mit  $r = 0,61$  die beiden Wasser-Variablen PBSPON und PBSTAG untereinander. Die gemeinsame Varianz (Bestimmtheitsmaß) beider Variablen beträgt  $r^2 = 0,37$ . Da der Mittelwert des Bleigehaltes in der Stagnationsprobe deutlich höher liegt als in der Spontanprobe (und in der Spontanprobe wiederum höher als in den Wasserwerksproben) [vgl. Krause et al., 1991b], ist die geringe gemeinsame Variation der beiden Bleigehalte im Leitungswasser offensichtlich vor allem auf die Einflüsse des Leitungssystems zurückzuführen. Vorzugsweise in Altbauten befinden sich immer noch Hausinstallationen aus dem Werkstoff Blei. Je nach chemischer Wasserbeschaffenheit, Entnahmegewohnheiten (Verweilzeit in der Leitung), der Leitungslänge und dem Alter der Rohre kann sich Blei durch Korrosionsvorgänge lösen [Meyer, 1987].

Die weiteren Zusammenhänge erscheinen nicht sehr stark. Die zweitgrößte Korrelation besteht zwischen dem Bleigehalt im Blut PBB und dem im Haar PBH mit  $r = 0,2$ . Quantitative Zusammenhänge zwischen der Ablagerung von Schwermetallen im Haar und der Akkumulation im Körper sind im Bereich der Umweltmedizin noch weitgehend ungeklärt [vgl. Krause/Chutsch, 1987]. Der Schwermetalleintrag in das Haar scheint komplexer Natur zu sein und z.T. durch exogene Einflüsse bedingt zu sein. Dafür spricht ebenfalls der signifikante Korrelationskoeffizient von  $r = 0,15$  zwischen dem Bleigehalt im Haar PBH und dem Bleiniederschlag im Haushalt PBBCH. Es existiert keine analytische Methode, mit der eine eindeutige Zuordnung von exogener und endogener Belastung möglich ist. Der Korrelationskoeffizient zwischen dem Bleigehalt im Blut PBB und dem Bleiniederschlag im Haushalt PBBCH beträgt  $r = 0,14$ .

Zwischen den beiden Staubvariablen PBBCH und PBBT besteht ein Zusammenhang von  $r = 0,12$ . Dieser geringe Korrelationskoeffizient ist aufgrund der unterschiedlichen Probenahme und der damit verbundenen Erfassung unterschiedlicher Staubarten verständlich.

Alle anderen Korrelationskoeffizienten in Tabelle 2.3.1 liegen unter 0,10, wenngleich die ausgewiesenen Irrtumswahrscheinlichkeiten zu einem erheblichen Teil unter 0,05 liegen. Festzuhalten bleibt noch, daß die einfachen Korrelationskoeffizienten zwischen den Bleigehalten in Blut und Haar einerseits und den Meßergebnissen in Staubbeutel und Wasser nur sehr schwach sind.

Die relativ geringen Korrelationen zwischen den im folgenden behandelten Zielgrößen lassen unterschiedliche Modelle erwarten.



## 2.4 Blei im Blut

### 2.4.1 Modell für Logarithmus des Bleigehaltes im Blut

Bei der Modellbildung wurden ca. 750 Variablen (Fragebogenangaben, klinisch-chemische Parameter usw., vgl. auch Kap. 1.7) geprüft. Alle nicht im Modell enthaltenen bzw. im Folgenden nicht explizit genannten Variablen haben keinen nennenswerten Beitrag zur Erklärung der Varianz des Logarithmus des Bleigehaltes im Blut geleistet.

Für die Logarithmen des Bleigehaltes im Blut (LNPBB) von 1636 Fällen (mit kompletten Datensätzen bezüglich aller im Modell enthaltener Variablen) wurde eine quadrierte multiple Korrelation von  $R^2 = 0,306$  mit 17 und 1618 Freiheitsgraden und  $p = 0,0000$  ermittelt. Die Varianzaufklärung liegt in der Größenordnung, wie sie auch bei Regressionsmodellen in anderen Studien gefunden wurde (NHANES II, Arnetz et al., 1990: ca. 34 %; MONICA, Hense et al., 1991: Männer ca. 14 %, Frauen ca. 24 %). Von allen geprüften Prädiktoren wurden die nachstehenden siebzehn in das Vorhersagemodell aufgenommen (vgl. Kap. 1.10.2 bis 1.10.4):

1. BIERH      Trinken von Bier [mehr als einmal pro Woche gegenüber sonstigen Häufigkeiten]
2. WEINH2    Trinken von Wein/Sekt [mehr als einmal pro Woche gegenüber sonstigen Häufigkeiten]
3. WEIN2      Trinken von Wein in den 24 h vor der Blutabnahme [mehr als 2 Gläsern gegenüber bis höchstens 2 Gläser]
4. WEINH1    Trinken von Wein/Sekt [zwei- bis viermal pro Monat gegenüber sonstigen Häufigkeiten]
5. WEIN1      Trinken von Wein in den 24 h vor der Blutabnahme [1 bis 2 Gläser gegenüber sonstigen Mengen]
6. SEX        Geschlecht [Männer gegenüber Frauen]
7. ALTER      Lebensalter in Jahren
8. QALT        Quadrat des Lebensalters
9. CCVP       Zellpackungsvolumen [ähnlich Hämatokrit, in %]
10. KALZ       Kalzium im Serum [mmol/l]
11. AS07K     Metalle, Schwermetalle, sonst. Elemente als Arbeitsbelastung des Befragten [nein / ja]
12. PBLAST1   Bleibelastung im Beruf [keine oder geringe gegenüber deutlicher Belastung]
13. THIO       Thiocyanat im Serum [ $\mu\text{mol/l}$ ]
14. LNPBBCH   natürlicher Logarithmus des Bleiniederschlags im Haushalt [ $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ ]
15. LNPBSPON   natürlicher Logarithmus des Bleigehaltes im Spontantrinkwasser [ $\mu\text{g/l}$ ]
16. EWFLG     Bevölkerungsdichte in der Gemeinde [Einwohner/ha]
17. D8WSANK   überdurchschnittlicher Anteil Arbeitnehmer in der Elektro- und Metallindustrie im Kreis

Tabelle 2.4.1 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der beteiligten Variablen, Tabelle 2.4.2 ihre Interkorrelationen und Tabelle 2.4.3 die Kenngrößen des Vorhersagemodells. Die Spalten in Tabelle 2.4.3 enthalten:

1. den Variablennamen (Spalte "Variable"),
2. den Partialregressionskoeffizienten  $b$  (Spalte "B"),
3. den Standardfehler dieses Koeffizienten (Spalte "SE B"),
4. und 5. die untere und obere Grenze des 95 %-Vertrauensintervalls dieses Koeffizienten (Spalten "95 % Confdnce Intrvl B"),
6. den Standardpartialregressionskoeffizienten  $\beta$  (Spalte "Beta"),
7. die Produkt-Moment-Korrelation zwischen Prädiktor und Kriterium (Spalte "Correl"),
8. die (um die Einflüsse der anderen Prädiktoren bereinigte) Partial-Korrelation zwischen Prädiktor und Kriterium (Spalte "Partial"),
9. den t-Wert für die Nullhypothese  $\beta = 0$  (Spalte "T") und
10. die dazugehörige Irrtumswahrscheinlichkeit  $p$  (Spalte "Sig T").

Tab. 2.4.1: Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (s) der Variablen

	AM	s		AM	s
LNPBB	1,927	,408	AS07K	,127	,333
BIERH	,366	,482	PBLAST1	,024	,154
WEINH2	,102	,303	THIO	76,304	48,598
WEIN2	,039	,194	LNPBBCH	-,845	,820
WEINH1	,394	,489	LNPBSPON	,695	1,055
WEIN1	,090	,287	EWFLG	10,261	11,168
SEX	,452	,498	D8WSANK	,125	,330
ALTER	,195	12,021			
CCVP	43,084	4,316			
KALZ	2,369	,098			

Anzahl der Fälle = 1636



Tab. 2.4.3: Modellkennwerte für die Logarithmen des Bleis im Blut

Variable	B	SE B	95 % Confdnce Intrvl B	Beta	Correl	Partial	T	Sig T	
BIERH	,094434	,019787	,055624	,133245	,111568	,283953	,117822	4,773	,0000
WEINH2	,198383	,032539	,134559	,262207	,147292	,194622	,149856	6,097	,0000
WEIN2	,183247	,046478	,092083	,274411	,087128	,167860	,097548	3,943	,0001
WEINH1	,088919	,018877	,051893	,125946	,106537	,048675	,116308	4,710	,0000
WEIN1	,090098	,031471	,028370	,151827	,063380	,084836	,070994	2,863	,0043
SEX	-,167118	,022035	-,210337	-,123898	-,203985	-,381053	-,185286	-7,584	,0000
ALTER	,021619	,005505	,010822	,032416	,637139	,092194	,097177	3,927	,0001
QALT	-1,88447E-04	5,9630E-05	-3,05408E-04	-7,14865E-05	-,513074	,078136	-,078324	-3,160	,0016
CCVP	,009536	,002394	,004840	,014232	,100902	,303920	,098533	3,983	,0001
KALZ	,264749	,089876	,088463	,441035	,063610	,154322	,073036	2,946	,0033
AS07K	,131541	,026216	,080119	,182962	,107464	,200214	,123779	5,017	,0000
PBLAST1	,203570	,055168	,095362	,311779	,077102	,112107	,091352	3,690	,0002
THIO	,001047	1,8355E-04	6,86844E-04	,001407	,124729	,199050	,140386	5,703	,0000
LNPBBCH	,033776	,010727	,012736	,054816	,067941	,135394	,078039	3,149	,0017
LNPBSPON	,022021	,008080	,006173	,037869	,056933	,058855	,067601	2,725	,0065
EWFLG	,002761	7,9259E-04	,001207	,004316	,075603	,111678	,086285	3,484	,0005
DBWSANK	,077104	,026207	,025701	,128507	,062470	,117085	,072948	2,942	,0033
(Constant)	,167997	,264347	-,350501	,686495				,636	,5252

#### 2.4.2 Varianzkomponenten

Nachstehend werden in Tabelle 2.4.4 den einzelnen Prädiktoren bzw. verschiedenen Prädiktorengruppen Varianzkomponenten zugewiesen, aus denen erkennbar wird, wie stark sie zur Aufklärung von insgesamt 30,6 % der Kriteriumsvarianz beitragen. Hierfür werden zwei Verfahren eingesetzt: Zum einen werden die Produkte  $\beta \cdot r$  (Standardpartialregressionskoeffizient mal Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktoren und Kriterium, Spalten 6 und 7 in Tabelle 2.4.3) berechnet, da

$$R^2 = \sum \beta \cdot r.$$

Zum anderen werden die Änderungen  $\delta R^2$  ausgewiesen, die durch die zusätzliche Aufnahme eines Prädiktors oder einer Prädiktorgruppe in das Vorhersagemodell entstehen.

Das erstgenannte Verfahren hat den Vorteil, von der Reihenfolge der Prädiktoren unabhängig zu sein. Dafür können allerdings negative Varianzkomponenten entstehen, wenn die Prädiktoren untereinander korreliert sind und dabei suppressive Effekte auftreten. In solchen Fällen wird die Betrachtung der Varianzkomponenten zusammenhängender Prädiktoren sinnvoller sein als die Betrachtung der Einzelkomponenten. Das

zweite Verfahren weist Varianzkomponenten des Kriteriums, die durch mehr als einen Prädiktor aufgeklärt werden können (redundante Prädiktoren, s. Abschnitt 1.10.5), stets den Prädiktoren zu, die zuerst in das Modell aufgenommen wurden. Es ist damit von der Reihenfolge der Prädiktoren abhängig. Das zweite Verfahren läßt besser erkennen, was der Verzicht auf einen weiteren Prädiktor bedeutet, außerdem können dabei keine negativen Varianzkomponenten auftreten.

In der Prädiktoren-Reihenfolge der Tabelle 2.4.4 sind alle Änderungen der quadrierten multiplen Korrelation mit  $p < .01$  signifikant.

Tab. 2.4.4: Varianzkomponenten der Prädiktoren für die Vorhersage der Logarithmen des Bleigehalts im Blut

	$\beta \cdot r$		$\delta r^2$	
BIERH	,032		,081	
WEINH2	,029		,029	
WEIN2	,015		,011	
WEINH1	,005		,004	
WEIN1	,005		,004	
Alkoholkonsum		,086		,129
SEX	,078		,083	
ALTER	,059		,013	
QALT	-,040		,005	
Prozeßvariable gesamt		,097		,101
CCVP	,031	,031	,013	,013
KALZ	,010	,010	,008	,008
AS07K	,021		,014	
PBLAST1	,009		,006	
Beruf gesamt		,030		,020
THIO	,025	,025	,016	,016
LNPBBCH	,009		,006	
LNPBSPON	,003		,004	
Haushalt gesamt		,012		,010
EWFLG	,008		,005	
D8WSANK	,007		,004	
regionale Variable gesamt		,015		,009
Summe:		,306		,306

Aus Tabelle 2.4.4 wird zunächst deutlich, daß - gemessen an  $\beta \cdot r$  - mehr als die Hälfte der aufgeklärten Varianz, etwa 16,4 % der 30,6 %, auf die alkoholbezogenen Variablen und das Geschlecht zurückzuführen ist. Der Varianzbeitrag des Zellpackungsvolumens, der beruflichen Belastung und des Thiocyanatgehaltes im Serum beträgt etwa je 3 %. Weitere knapp 2 % der Kriteriumsvarianz können durch das Alter des Probanden aufgeklärt werden. Die restlichen Variablen (Kalzium im Serum, Bleiniederschlag im Haushalt und Bleigehalt im Spontantrinkwasser, Bevölkerungsdichte sowie die Cluster-Variable Anteil Arbeitnehmer in der Elektro- und Metallindustrie im Kreis) erklären zusammen etwa 3,7 % der Varianz.

### 2.4.3 Transformiertes Modell für Bleigehalt im Blut

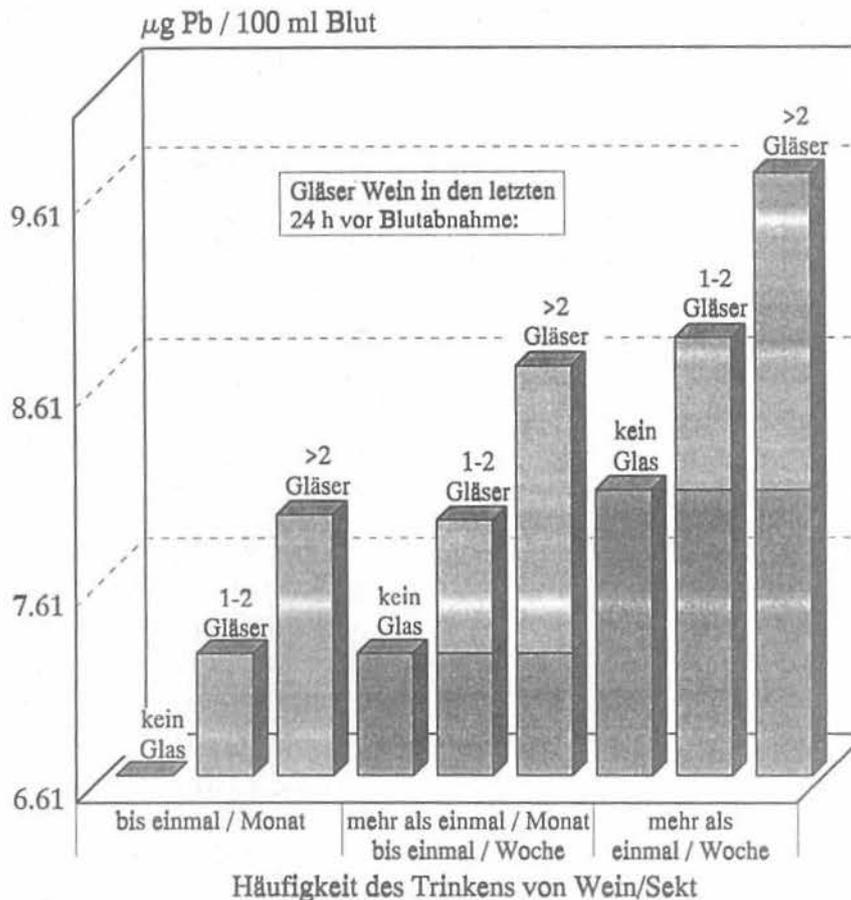
Die aus Tabelle 2.4.3 ableitbare Regressionsgleichung gilt für die Logarithmen des Bleis im Blut. Für die nicht logarithmierten Bleiwerte ergibt sich durch entsprechende Umformung folgende Gleichung:

Blei im Blut

= 1,1829  $\mu\text{g}/100\text{ml}$

- 1,0990<sup>BIERH</sup>            Trinken von Bier mehr als einmal pro Woche = 1,  
bis zu einmal pro Woche = 0
- 1,2194<sup>WEINH2</sup>        Trinken von Wein/Sekt häufiger als einmal pro Woche = 1,  
sonst = 0
- 1,2011<sup>WEIN2</sup>        Trinken von mehr als 2 Gläsern Wein in den 24 h vor  
Blutabnahme = 1, sonst = 0
- 1,0930<sup>WEINH1</sup>        Trinken von Wein/Sekt mehr als einmal pro Monat bis höchstens  
einmal pro Woche = 1, sonst = 0
- 1,0943<sup>WEIN1</sup>        Trinken von 1 bis 2 Gläsern Wein in den 24 h vor  
Blutabnahme = 1, sonst = 0
- 0,8461<sup>SEX</sup>            Geschlecht (Männer = 0, Frauen = 1)
- 1,0219<sup>ALTER</sup>        Lebensalter in Jahren
- 0,9998<sup>QALT</sup>        Quadrat des Lebensalters
- 1,0096<sup>CCVP</sup>        Zellpackungsvolumen (ähnlich Hämatokrit, in %)
- 1,3031<sup>KALZ</sup>        Kalzium im Serum in mmol/l
- 1,1406<sup>AS07K</sup>        Metalle, Schwermetalle, sonst. Elemente als Arbeitsbelastung  
nach Befragung = 1, keine solche Belastung = 0
- 1,2258<sup>PBLAST1</sup>      deutliche Bleibelastung im Beruf = 1,  
keine oder geringe Belastung = 0
- 1,0010<sup>THIO</sup>        Thiocyanat im Serum in  $\mu\text{mol/l}$
- 1,0344<sup>LNPBBCH</sup>      natürlicher Logarithmus des Bleiniederschlags im Haushalt  
( $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ )
- 1,0223<sup>LNPBSPON</sup>    natürlicher Logarithmus des Bleigehaltes im  
Spontantrinkwasser ( $\mu\text{g/l}$ )
- 1,0028<sup>EWFLG</sup>        Bevölkerungsdichte der Gemeinde (Einwohner/ha)
- 1,0802<sup>D8WSANK</sup>      Anteil Arbeitnehmer in Elektro- und Metallindustrie  
im Kreis überdurchschnittlich = 1, sonst = 0

Diese Modellgleichung bedeutet inhaltlich, daß für Personen, die angaben, mehr als einmal pro Woche Bier zu trinken, ein um 9,9 % höherer Wert des Blutbleispiegels vorhergesagt werden kann (vgl. Abb. 2.4.2). Wird Wein/Sekt häufiger als einmal pro Woche getrunken, so ist ein um 21,9 % höherer Wert zu erwarten. Weiterhin ist ein Effekt des Trinkens von Wein in den letzten 24 h vor der Blutabnahme auf den Bleigehalt im Blut zu beobachten. Der Gehalt wird um 20,1 % erhöht, wenn mehr als 2 Gläser in diesem Zeitraum getrunken wurden. Bei 1 bis 2 Gläsern wird eine Erhöhung um 9,3 % vorhergesagt (vgl. Abb. 2.4.1).



Vorhersage für: 45 Jahre alter Mann ohne berufliche Bleibelastung; trinkt höchstens einmal in der Woche Bier; 2,369 mmol/l Kalzium und 75  $\mu\text{mol/l}$  Thiocyanat im Serum; Zellpackungsvolumen: 43 %; 2  $\mu\text{g/l}$  Blei im Trinkwasser; 0,43  $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$  Blei im Hausstaubniederschlag; Bevölkerungsdichte der Gemeinde: 10 Einwohner/ha; durchschnittlicher Anteil Arbeitnehmer in Elektro- und Metallindustrie.

Abb. 2.4.1: Schätzung der Veränderung des Bleigehaltes im Blut nach Häufigkeit des Trinkens von Wein/Sekt und deren Aufnahme in den letzten 24 h vor Blutabnahme

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Neben dem Trinken von Alkohol in Form von Wein/Sekt oder Bier hat das Geschlecht den stärksten Einfluß auf den Bleigehalt im Blut. Bei einer Vorhersage des Blutbleigehalts mit dem gefundenen Modell ist der geschätzte Blei-Wert für Männer zunächst um etwa 18 % gegenüber Frauen erhöht. Berücksichtigt man

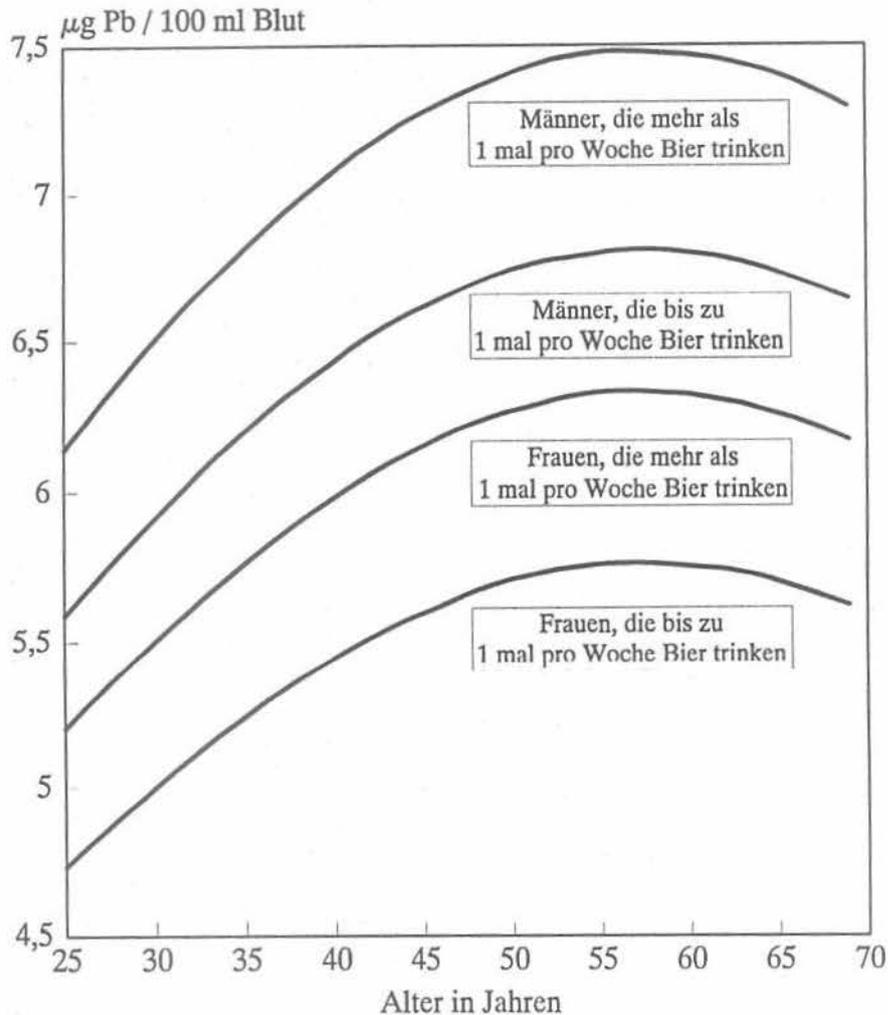
weiter, daß insbesondere die Verteilungen der Variablen THIO, CCVP, PBLAST1, AS07K und BIERH stark geschlechtsabhängig sind (Tab. 2.4.5), so ergibt sich bei Einsetzen der für Männer und Frauen unterschiedlichen Werte dieser Variablen in die Modellgleichung ein noch deutlicherer Unterschied im Blutbleigehalt zwischen Männern und Frauen als durch die Variable SEX allein (vgl. Abb. 2.4.2, Tab. 2.4.5, letzte Spalte).

Tab. 2.4.5: Arithmetische Mittelwerte bzw. absolute Häufigkeiten ausgewählter Prädiktoren bei Männern und Frauen

	Männer		Frauen		resultierender Effekt für PbB bei Männern gegenüber Frauen (%)
	arithmetischer Mittelwert				
Thiocyanat	83,5 $\mu$ mol/l		67,6 $\mu$ mol/l		+ 1,6
Zellpackungsvolumen (CCVP)	45,2		40,6		+ 4,5
	Anzahl				
Pb-Belastung im Beruf (PBLAST1) (Angabe Arbeitsmediziner)	keine/geringe 861	deutliche 35	keine/geringe 735	deutliche 5	+ 0,7
Arbeitsbelastung Schwermetalle, ... (AS07K) (Angabe Proband)	nein 720	ja 176	nein 708	ja 32	+ 2,0
Häufigkeit Biertrinken (BIERH)	bis einmal/Woche 409	> einmal/Woche 487	bis einmal/Woche 628	> einmal/Woche 112	+ 3,8
Summe					+ 12,6

Die in der Tabelle angegebenen Zahlen gelten jeweils für die dem Modell zugrunde liegende Stichprobe von 1636 Fällen. Insgesamt kann mit den genannten Variablen SEX, THIO, CCVP, PBLAST1, AS07K und BIERH für Männer ein um ca. 30,6 % gegenüber Frauen erhöhter Blutbleispiegel vorhergesagt werden. Der geometrische Mittelwert des Bleigehaltes im Blut ist in der Stichprobe bei Männern um 36,6 % gegenüber Frauen erhöht. Die restlichen ca. 6 % werden durch vorhandene, aber nicht so deutliche Unterschiede in Mittelwert bzw. Häufigkeiten bei Männern und Frauen für die übrigen Prädiktoren erklärt.

Im Altersbereich der Stichprobe (25 bis unter 70 Jahre) konnte eine quadratische Abhängigkeit des Blutbleigehaltes vom Alter festgestellt werden (vgl. Abb. 2.4.2). Das bedeutet, daß der Bleigehalt im Blut im Alter von 25 Jahren nach einem Jahr um ca. 1,2 % angestiegen ist. Dieser jährliche Zuwachs verringert sich bis zum Maximum bei etwa 57 Jahren (21,8 % höher als mit 25 Jahren), jenseits von 57 Jahren sinkt der vorhergesagte Blutbleispiegel wieder leicht ab, so daß für ein Alter von 69 Jahren ein um 18,7 % höherer Blutbleispiegel als für 25 Jahre vorausgesagt werden kann.



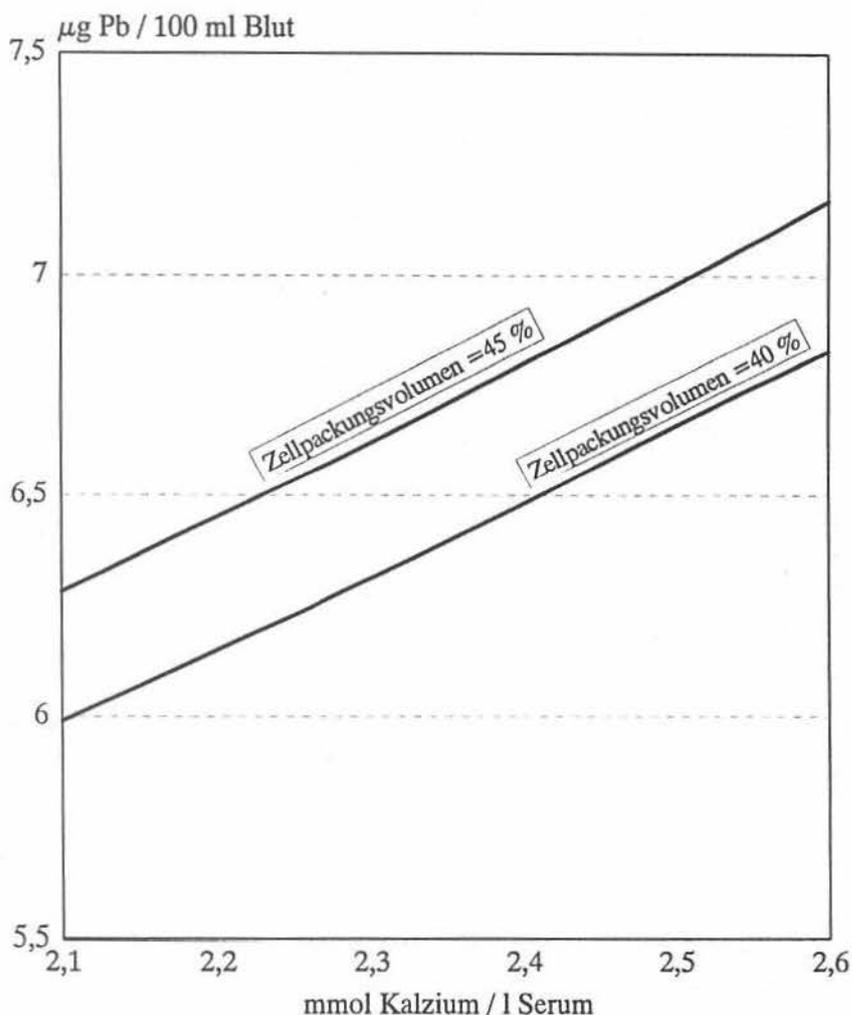
Vorhersage für: Person ohne berufliche Bleibelastung; trinkt fast nie Wein/Sekt auch nicht in letzten 24 h vor Blutabnahme; ; 2,369 mmol/l Kalzium und 75 µmol/l Thiocyanat im Serum; Zellpackungsvolumen: 43 %; 2 µg/l Blei im Trinkwasser; 0,43 µg/(m<sup>2</sup>·Tag) Bleiniederschlag im Haushalt; Bevölkerungsdichte der Gemeinde: 10 Einwohner/ha; durchschnittlicher Anteil Arbeitnehmer in Elektro- und Metallindustrie.

Abb. 2.4.2: Bleigehalt im Blut nach Geschlecht, Alter und Bierkonsum

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Der Faktor 1.0096<sup>CCVP</sup> zeigt, daß sich bei Anstieg des Zellpackungsvolumens um 1 % (absolut- %, vgl. Abb. 2.4.3) der Bleigehalt im Blut um etwa 1 % erhöht.

Der im Serum gemessene Kalziumgehalt schwankt in der Stichprobe zwischen 1,7 und 3,6 mmol/l, wobei nur einzelne Messungen unter 2,1 bzw. über 2,7 mmol/l liegen. Bei einem Anstieg des Kalziums im Serum um 0,1 mmol/l wird ein um 2,7 % erhöhter Blutbleigehalt vorhergesagt. Der geschätzte Zusammenhang ist in Abbildung 2.4.3 dargestellt.

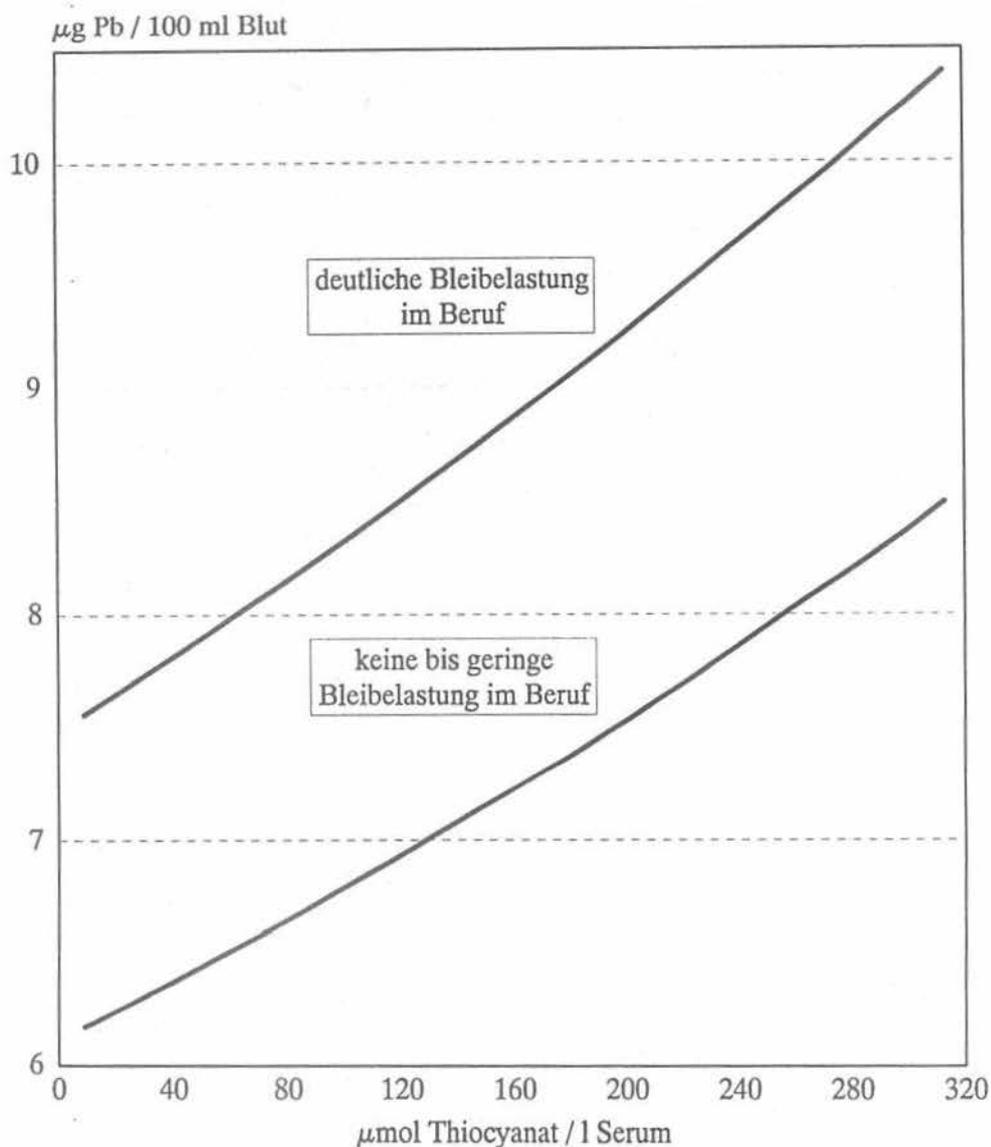


Vorhersage für: 45 Jahre alter Mann ohne berufliche Bleibelastung; trinkt fast nie Wein/Sekt auch nicht in letzten 24 h vor Blutabnahme; trinkt höchstens einmal in der Woche Bier; 75 µmol/l Thiocyanat im Serum; 2 µg/l Blei im Trinkwasser; 0,43 µg/(m<sup>2</sup>·Tag) Blei im Hausstaubniederschlag; Bevölkerungsdichte der Gemeinde: 10 Einwohner/ha; durchschnittlicher Anteil Arbeitnehmer in Elektro- und Metallindustrie.

Abb. 2.4.3: Bleigehalt im Blut nach Kalziumgehalt im Serum und Zellpackungsvolumen

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Die Einstufungen der Schwermetall-Belastungen am Arbeitsplatz des Befragten erfolgte durch einen Arbeitsmediziner auf der Basis der Fragebogendaten zu Alter, Geschlecht, Schulbildung und beruflicher Tätigkeit (Branche, Stellung, Körperhaltung, Belastung). Danach ist für die Allgemeinbevölkerung bei einer deutlichen Bleibelastung im Beruf ein um 22,6 % erhöhter Blutbleispiegel zu kalkulieren. Ein zusätzlicher Prädiktor ist die Einschätzung des Befragten, daß er am Arbeitsplatz durch Metalle, Schwermetalle, sonstige Elemente belastet ist. Dafür wird ein um 14,1 % erhöhter Blutbleigehalt vorhergesagt (vgl. Abb. 2.4.4). Es sei an dieser Stelle nochmals betont, daß diese Aussagen im Mittel für die Allgemeinbevölkerung gelten. Im Einzelfall ist ein wesentlich stärkerer Zusammenhang möglich.



Vorhersage für: 45 Jahre alter Mann; trinkt fast nie Wein/Sekt, auch nicht in letzten 24 h vor Blutabnahme; trinkt höchstens einmal in der Woche Bier; 2,369 mmol/l Kalzium im Serum; Zellpackungsvolumen: 43 %; 2 µg/l Blei im Trinkwasser; 0,43 µg/(m<sup>2</sup>·Tag) Bleiniederschlag im Haushalt; Bevölkerungsdichte der Gemeinde: 10 Einwohner/ha; durchschnittlicher Anteil Arbeitnehmer in Elektro- und Metallindustrie.

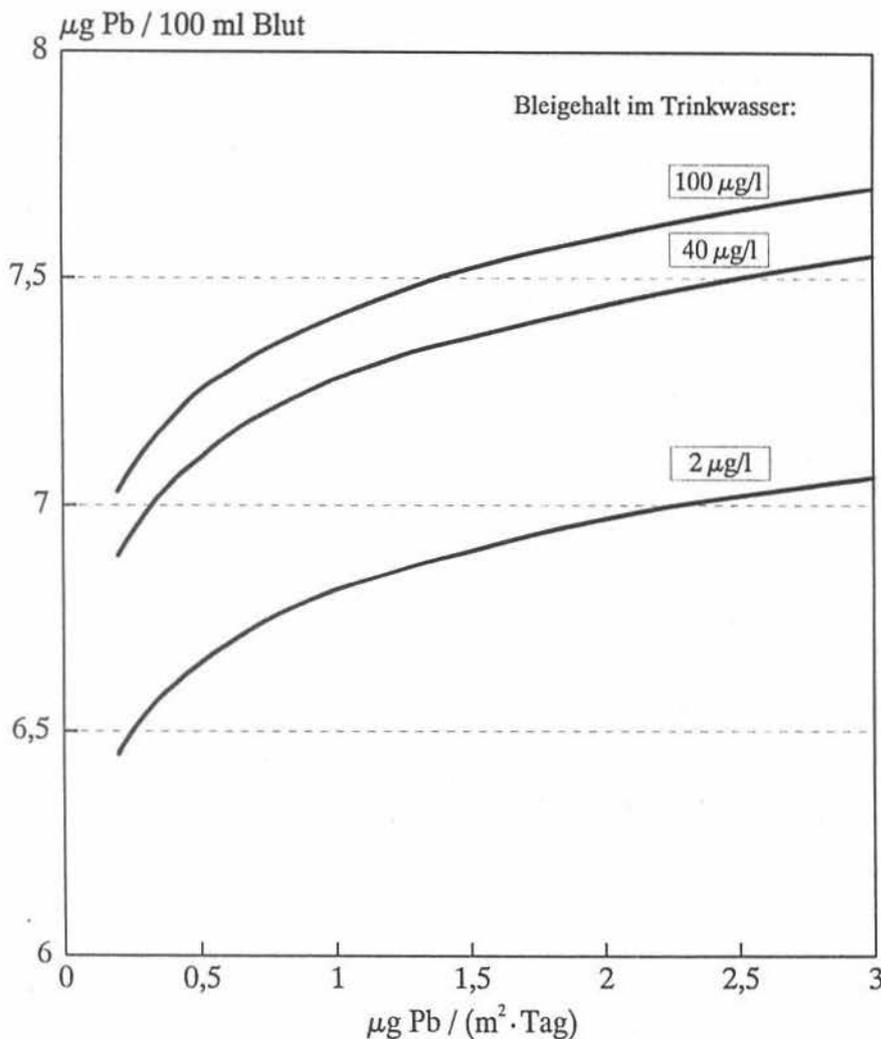
Abb. 2.4.4: Bleigehalt im Blut nach Thiocyanatgehalt im Serum und beruflicher Bleibelastung

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Ein weiterer deutlicher Zusammenhang besteht mit dem Thiocyanatgehalt im Serum (vgl. Abb. 2.4.4). Bei einem Anstieg des Thiocyanats im Serum um 50 µmol/l ist ein um etwa 5,4 % höherer Bleigehalt im Blut zu erwarten.

Aus der Umformung  $1,0344^{LNPBBCH} = PBBCH^{0,03378}$  läßt sich berechnen, daß bei einer Verdopplung des Bleiniederschlags im Haushalt eine Erhöhung des Bleis im Blut um etwa 2,4 % vorherzusagen ist. In der Stichprobe variiert der Bleiniederschlag im Haushalt zwischen 0,002 und 56,8 µg/(m<sup>2</sup>·Tag) bei einem

geometrischen Mittelwert von  $4,3 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ . Nach dem Modell ist bei einer Erhöhung des Bleiniederschlags im Haushalt um  $10 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$  ausgehend vom geometrischen Mittel ein um  $4,1 \%$  höherer Blutbleispiegel zu erwarten (vgl. Abb. 2.4.5).



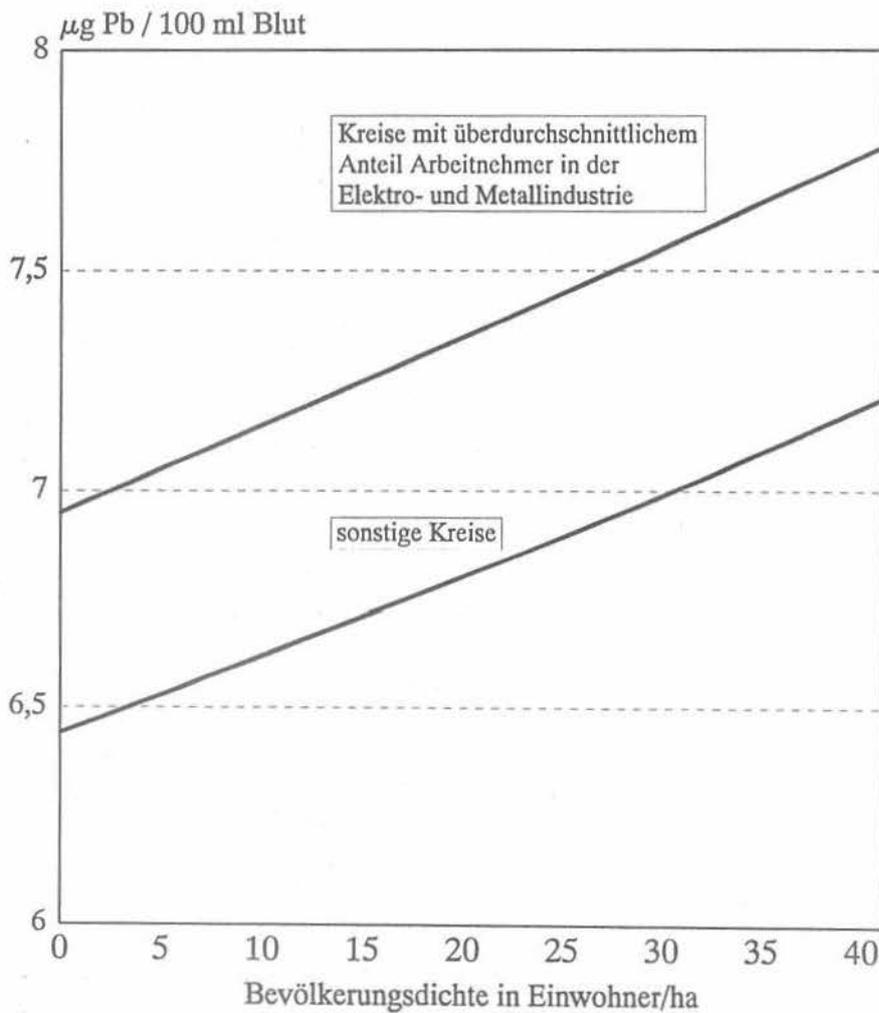
Vorhersage für: 45 Jahre alter Mann ohne berufliche Bleibelastung; trinkt fast nie Wein/Sekt auch nicht in letzten 24 h vor Blutabnahme; trinkt höchstens einmal in der Woche Bier;  $2,369 \text{ mmol/l}$  Kalzium und  $75 \mu\text{mol/l}$  Thiocyanat im Serum; Zellpackungsvolumen:  $43 \%$ ; Bevölkerungsdichte der Gemeinde:  $10 \text{ Einwohner/ha}$ ; durchschnittlicher Anteil Arbeitnehmer in Elektro- und Metallindustrie.

Abb. 2.4.5: Bleigehalt im Blut nach Bleiniederschlag im Haushalt und im Trinkwasser (Spontanprobe)

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Mit der gleichartigen Umformung  $1,0223^{\text{LNPBSPON}} = \text{PBSPON}^{0,02202}$  kann man einen um  $1,5 \%$  höheren Blutbleispiegel voraussagen, wenn sich der Bleigehalt im Spontantrinkwasser verdoppelt. In der Stichprobe schwankt der Bleigehalt im Spontantrinkwasser zwischen  $0,3$  und  $99 \mu\text{g/l}$  bei einem geometrischen Mittelwert von  $2,0 \mu\text{g/l}$ . Hier hätte eine vom geometrischen Mittel ausgehende Erhöhung des Trinkwasser-Bleigehaltes um  $10 \mu\text{g/l}$  einen um  $4 \%$  erhöhten Blutbleigehalt zur Folge (vgl. Abb. 2.4.5). In diesem

Zusammenhang ist nochmals darauf hinzuweisen, daß es sich um eine Stichprobe der Allgemeinbevölkerung handelt. Insbesondere ist die Verteilung der Bleigehalte im Trinkwasser im oben angegebenen Intervall extrem schief (95 %-Perzentil: 12,0 µg/l). Dies bedeutet, daß im "Normalbereich" gute Schätzungen des Blutbleispiegels aus dem Trinkwasser-Bleigehalt erhalten werden. Das Modell ist allerdings weniger geeignet, um aus extremen Bleibelastungen des Trinkwassers den Blutbleispiegel vorherzusagen, da dann die Genauigkeit der Schätzung stark herabgesetzt ist.



Vorhersage für: 45 Jahre alter Mann ohne berufliche Bleibelastung; trinkt fast nie Wein/Sekt, auch nicht in letzten 24 h vor Blutabnahme; trinkt höchstens einmal in der Woche Bier; 2,369 mmol/l Kalzium und 75 µmol/l Thiocyanat im Serum; Zellpackungsvolumen: 43 %; 43 %; 2 µg/l Blei im Trinkwasser; 0,43 µg/(m<sup>2</sup>·Tag) Bleiniederschlag im Haushalt.

Abb. 2.4.6: Bleigehalt im Blut nach Bevölkerungsdichte und Anteil Arbeitnehmer in Elektro- und Metallindustrie

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Die Bevölkerungsdichte umfaßt in der Studie den Bereich zwischen 0,36 und 41,1 Einwohner/ha. Eine um 10 Einwohner/ha erhöhte Bevölkerungsdichte läßt einen um 2,8 % erhöhten Blutbleigehalt erwarten. Den Zusammenhang zwischen Bleigehalt im Blut und Bevölkerungsdichte zeigt Abbildung 2.4.6.

Die Clustervariable D8WSANK umfaßt 42 Kreise mit überdurchschnittlich hoher Industriebeschäftigtenzahl und hohem Anteil von Arbeitnehmern in technischen Berufen.

Insbesondere gibt es in diesen Kreisen verhältnismäßig viele Beschäftigte in den Branchen Metall und Elektro. Der Faktor  $1,0802^{D8WSANK}$  sagt aus, daß in diesen Kreisen ein um 8 % erhöhter Blutbleigehalt gegenüber anderen Kreisen zu erwarten ist (vgl. Abb. 2.4.6).

## 2.4.4 Stabilitätsprüfungen

### 2.4.4.1 Kreuzvalidierung

Die Gesamtstichprobe wurde nach einem Quasi-Zufalls-Kriterium (gerade bzw. ungerade Probandennummern) in zwei Teilstichproben zerlegt. In Teilstichprobe 1 wurde mit den Prädiktoren des Modells (Tab. 2.4.3) eine Varianzaufklärung von 30,8 % bei 835 Fällen erzielt, in Teilstichprobe 2 eine Aufklärung von 31,8 % bei 801 Fällen. Die Standardpartialregressionskoeffizienten einiger Prädiktoren waren allerdings in beiden Teilstichproben nicht mehr durchgängig signifikant von Null verschieden. In der Teilstichprobe 1 waren das die Prädiktoren WEIN1, LNPBSPON, KALZ, D8WSANK sowie in der Teilstichprobe 2 EWFLG und WEINH1. Ein Grund dafür könnte die um ca. die Hälfte verminderte Fallzahl sein, da die t-Werte in beiden Stichproben generell kleiner sind.

Die ermittelten Partialregressionskoeffizienten wurden zur Prädiktion des Kriteriums in der jeweils anderen Teilstichprobe eingesetzt und die mit diesem Verfahren erzielbare Varianzaufklärung bestimmt. In Teilstichprobe 1 betrug der mit Hilfe der Koeffizienten aus Teilstichprobe 2 zurückgerechnete Varianzanteil  $R_{1/2}^2 = 0,277$ , für Teilstichprobe 2 lautete der entsprechende Wert  $R_{2/1}^2 = 0,288$ .

Der Verlust an Varianzaufklärung durch die Kreuzvalidierung liegt bei 3,1 % bzw. bei 3,0 %. Die Stabilität des Modells ist befriedigend.

### 2.4.4.2 Stabilität nach Regionen

In einer zweiten Stabilitätsprüfung wurden zwei Teilstichproben nach geraden und ungeraden Nummern der Raumordnungsregionen gebildet (vgl. Abschnitt 1.13.2). Für die Teilstichprobe u der ungeraden Nummern wurde für die oben ausgewählten Prädiktoren  $R_u^2 = 0,301$  ( $n_u = 764$ ) errechnet und für die Teilstichprobe g der geraden Nummern  $R_g^2 = 0,318$  ( $n_g = 872$ ). Auch hier wiesen nicht alle Prädiktoren signifikant von Null verschiedene Standardpartialregressionskoeffizienten auf. Das waren die Prädiktoren LNPBSPON, LNPBBCH, WEIN1, D8WSANK in der ersten Teilstichprobe und LNPBSPON, EWFLG und CCVP in der zweiten Stichprobe.

Die ermittelten Partialregressionskoeffizienten wurden wieder in die jeweils andere Stichprobe eingesetzt. Es ergaben sich zurückgerechnete Kennwerte  $R_{ul/g}^2 = 0,279$  bzw.  $R_{g/u}^2 = 0,300$ , d.h. der Verlust an Varianzaufklärung liegt bei 2,2 % bzw. 1,8 %.

#### 2.4.5 Geschlechtsspezifische Modelle

Bildet man zwei Teilstichproben M und F aus Männern und Frauen und verwendet den Prädiktorsatz des Modells aus Tabelle 2.4.3, so reduziert sich dieser Prädiktorensatz bei Männern und Frauen unterschiedlich. Im Modell für die Männer sind die Standardpartialregressionskoeffizienten der Variablen D8WSANK, EWFLG, KALZ und WEINH1 nicht mehr signifikant. Für das Modell, das die übrigen 12 Prädiktoren enthält (Tab. 2.4.7), beträgt  $R_M^2 = 0,178$  ( $n_M = 896$ ).

Tab. 2.4.6: Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (s) der Variablen (Männer)

	AM	s		AM	s
LNPBB	2,068	,365	EWFLG	9,914	10,984
PBLAST1	,039	,194	ALTER	44,991	11,898
AS07K	,196	,398	THIO	83,475	49,569
D8WSANK	,133	,340	LNPBBCH	-,772	,811
BIERH	,544	,498	LNPBSPON	,662	1,015
WEINH1	,398	,490	WEIN1	,080	,272
WEINH2	,116	,320	WEIN2	,051	,221
CCVP	45,162	3,820			
KALZ	2,384	,094			

Anzahl der Fälle = 896

Tab. 2.4.7: Modellkennwerte für die Logarithmen des Bleis im Blut (Männer)

Multiples R		,42245		Varianzanalyse				
R <sup>2</sup>	,17847	FG	Quadratsumme	mittl. Quadrat				
Korrigiertes R <sup>2</sup>	,16730	Regression	12	21,29624	1,77469			
Standardfehler	,33320	Residuen	883	98,03356	,11102			
F =		15,98481	Signif F =		,0000			
Variable	B	SE B	Beta	Correl	Part Cor	Partial	T	Sig T
WEIN2	,181077	,054939	,109502	,161427	,100534	,110242	3,296	,0010
LNPBSPON	,029021	,011027	,080679	,071693	,080275	,088221	2,632	,0086
LNPBBCH	,036752	,013839	,081608	,101473	,081004	,089016	2,656	,0081
AS07K	,157258	,028163	,171201	,167539	,170319	,184678	5,584	,0000
PBLAST1	,212981	,057628	,113070	,106956	,112731	,123423	3,696	,0002
BIERH	,112613	,022805	,153705	,181942	,150627	,163935	4,938	,0000
CCVP	,011556	,002983	,120879	,153029	,118179	,129291	3,874	,0001
WEIN1	,106619	,043028	,079421	,082581	,075582	,083100	2,478	,0134
ALTER	,023912	,007454	,779172	,048192	,097843	,107325	3,208	,0014
THIO	7,28898E-04	2,3410E-04	,098949	,130401	,094971	,104210	3,114	,0019
WEINH2	,149500	,038869	,131218	,188525	,117319	,128365	3,846	,0001
QALT	-2,40998E-04	8,1783E-05	-,717671	,031025	-,089884	-,098683	-2,947	,0033
(Constant)	,804888	,208378					3,863	,0001

Für die Teilstichprobe der Frauen ergibt sich ein Modell mit 11 Prädiktoren (Tab. 2.4.9) und  $R^2 = 0,216$  ( $n_F = 740$ ).

Tab. 2.4.8: Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (s) der Variablen (Frauen)

	AM	s		AM	s
LNPBB	1,756	,391	EWFLG	10,682	11,381
PBLAST1	,007	,082	ALTER	45,443	12,171
AS07K	,043	,204	THIO	67,622	45,953
DBWSANK	,115	,319	LNPBBCH	-,934	,824
BIERH	,151	,359	LNPBSPON	,736	1,100
WEINH1	,388	,488	WEIN1	,103	,304
WEINH2	,085	,279	WEIN2	,024	,154
CCVP	40,568	3,460			
KALZ	2,351	,100			

Anzahl der Fälle = 740

Tab. 2.4.9: Modellkennwerte für die Logarithmen des Bleis im Blut (Frauen)

Multiples R	,42245	<u>Varianzanalyse</u>						
R <sup>2</sup>	,21603		FG	Quadratsumme	mittl. Quadrat			
Korrigiertes R <sup>2</sup>	,20419	Regression	11	24,45367	2,22306			
Standardfehler	,34914	Residuen	728	88,74037	,12190			
	F =	18,23734	Signif F =	,0000				
Variable	B	SE B	Beta	Correl	Part Cor	Partial	T	Sig T
WEIN2	,261149	,085974	,102864	,149009	,099679	,111872	3,038	,0025
EWFLG	,004690	,001191	,136375	,202522	,129229	,144422	3,938	,0001
WEINH1	,135004	,028307	,168194	,107846	,156510	,174065	4,769	,0000
THIO	,001404	2,8528E-04	,164880	,175533	,161529	,179470	4,922	,0000
DBWSANK	,144305	,040613	,117648	,129047	,116600	,130562	3,553	,0004
BIERH	,080156	,036792	,073451	,115725	,071494	,080484	2,179	,0297
WEIN1	,101510	,045208	,078790	,133400	,073684	,082933	2,245	,0250
ALTER	,007191	,001083	,223637	,172994	,217890	,238957	6,640	,0000
KALZ	,312354	,132874	,079704	,165205	,077142	,086796	2,351	,0190
LNPBBCH	,032146	,016269	,067674	,112040	,064839	,073034	1,976	,0486
WEINH2	,234204	,051841	,167121	,193723	,148253	,165139	4,518	,0000
(Constant)	,461888	,310755					1,486	,1376

In diesem Modell sind die Standardpartialregressionskoeffizienten der Variablen PBLAST1, AS07K, CCVP, QALT und LNPBSPON nicht mehr signifikant. Der Abfall des Blutbleispiegels im Alter über 57 Jahren ist bei Frauen nicht so deutlich ( $P_{QALT} = 0,056$ ). Das ist sicher neben der Überlagerung durch Rauchen, Beruf und Alkohol auch eine Ursache für die unterschiedliche Korrelation zwischen Kriterium

und der Variablen ALTER bei Männern und Frauen (Tab. 2.4.10). Eine Erklärung dafür, daß bei Männern der Abfall im Blutbleispiegel im Alter deutlicher ist als bei Frauen, könnte sein, daß gerade bei Männern in diesem Alter durch den Eintritt in den Ruhestand berufliche Bleiexpositionen und auch die auf dem Weg zur Arbeit wegfallen. Bei Frauen tritt dieser Effekt nicht ein, da sie einerseits weniger berufstätig und andererseits bei Berufstätigkeit weniger belastet sind. Auch die in Kapitel 2.4.7.5 diskutierte mögliche Freisetzung von Blei im Zusammenhang mit der Osteoporose bei älteren Frauen könnte eine Erklärung liefern. Frauen haben zwar im Mittel einen geringeren Hämatokrit (vgl. Tab. 2.4.5), die Varianz ist jedoch nur unwesentlich geringer als bei Männern.

Tab.2.4.10: Korrelationskoeffizienten zwischen dem logarithmierten Kriterium (LN PBB) und den Prädiktoren bei Männern und Frauen

	Männer (N=896)	Frauen (N=740)
BIERH	,182 **	,116 *
WEINH2	,186 **	,194 **
WEINH1	-,004	,109 *
WEIN2	,161 **	,149 **
WEIN1	,083	,133 **
CCVP	,153 **	,102 *
AS07K	,168 **	,057
PBLAST1	,107 *	,029
THIO	,130 **	,176 **
ALTER	,048	,173 **
KALZ	,039	,165 **
EWFLG	,073	,203 **
D8WSANK	,105 *	,129 **
LNPBBCH	,101 *	,112 *
LNPBSPON	,072	,085

\*\*  $\alpha = 0,01$

\*  $\alpha = 0,05$

Die Variablen zur beruflichen Belastung (PBLAST1, AS07K) sind nur bei den Männern signifikant. Dieser Effekt ist auch bei den Korrelationskoeffizienten zu sehen. Frauen sind beruflich wesentlich weniger belastet (Häufigkeitsverteilung Tab. 2.4.5).

Die Variablen EWFLG und D8WSANK können als ein Indikator für die Bleibelastung durch die Umwelt am Wohnort angesehen werden. Ihr Einfluß auf den Blutbleispiegel ist bei Männern unter Umständen deshalb nicht deutlich, da Männer im Zusammenhang mit der Berufstätigkeit gegenüber Frauen im allgemeinen weniger ortsgebunden sind.

Bezüglich des Zusammenhangs zwischen dem Blutbleispiegel und Kalzium im Serum (KALZ) ist zwischen Männern und Frauen ein physiologisch begründbarer Unterschied zu vermuten. Während im multiplen Regressionsmodell für Männer KALZ nicht signifikant ist ( $P_{KALZ} = 0,52$ ), ist diese Variable im Modell für

Frauen signifikant ( $P_{KALZ} = 0,02$ ). Ebenfalls deutlich unterschiedlich ist für Männer und Frauen die Korrelation zwischen den Prädiktoren KALZ und ALTER. So beträgt dieser Korrelationskoeffizient für Männer  $r_M = 0,184$  ( $P = 0,000$ ) bzw. für Frauen  $r_F = 0,079$  ( $P = 0,014$ ) und bestätigt den aus der Literatur bekannten Zusammenhang [Ciba-Geigy, 1980].

#### 2.4.6 Nach Raucherstatus differenzierte Modelle

In einem weiteren Schritt wurde geprüft, wie sich die Aufteilung der Gesamtstichprobe nach Rauchern und Nichtrauchern auswirkt. Darauf soll hier nur kurz eingegangen werden. Beschränkt man sich auf die im Hauptmodell gefundenen Prädiktoren, so erhält man für die Raucher ein Modell mit 11 Prädiktoren - die Variablen D8WSANK, WEIN1, KALZ, QALT, LNPBBCH und LNPBSPON sind nicht signifikant - mit  $R_R^2 = 0,295$  und  $n_R = 529$  sowie für die Nichtraucher mit 15 Prädiktoren - hier sind die Variablen THIO und WEIN2 nicht signifikant - mit  $R_N^2 = 0,297$  und  $n_N = 1106$ . Beide Modelle sind aufgrund der unterschiedlichen Fallzahlen schwer miteinander vergleichbar.

Thiocyanat ist vor allem ein Indikator des Rauchverhaltens und daher als Prädiktor des Modells für den Bleigehalt im Blut bei Nichtrauchern bedeutungslos.

Es gibt nur wenige Nichtraucher, die in den letzten 24 h vor der Blutentnahme mehr als 2 Gläser Wein getrunken haben, so daß es nicht sinnvoll erscheint, die Variable WEIN2 zu testen. Wird sie dennoch in das Modell für die Nichtraucher aufgenommen, so ist sie kein signifikanter Prädiktor.

Ein Zusammenhang zwischen dem Bleigehalt im Blut und Passivrauchen konnte für Nichtraucher nicht nachgewiesen werden.

#### 2.4.7 Diskussion

##### 2.4.7.1 Alkohol

Mit dem Konsum von Alkohol können 8,6 % der Varianz des Bleigehaltes im Blut erklärt werden. Das Trinken von Alkohol besonders in Form von Wein/Sekt (WEINH1, WEINH2, WEIN1, WEIN2) und etwas schwächer ausgeprägt in Form von Bier (BIERH) hat neben dem Geschlecht den stärksten Einfluß auf den Bleigehalt im Blut. Die Variablen zur Häufigkeit des Trinkens von Wein/Sekt bzw. Bier erwiesen sich als "bessere" Prädiktoren als die ebenfalls verfügbaren Variablen zu den Trinkmengen. Möglicherweise liegt das daran, daß die Variablen zur Trinkmenge zu ungenau angegeben sind (z.B. nicht die gemittelte tägliche Aufnahmemenge über einen längeren Zeitraum, sondern die durchschnittliche Aufnahmemenge an "Trinktagen"). Darüber hinaus wurde versucht, aus den Variablen zur Häufigkeit des Konsums von alkoholischen Getränken und den entsprechenden Trinkmengen die Dosis der Alkohol- bzw. Bleiaufnahme über diese Getränke abzuschätzen. Aber auch über diesen Weg konnte keine verbesserte Erklärung für den Blutbleispiegel gefunden werden.

Nach dem Fragebogen ergab sich für die Häufigkeit des Trinkens von Wein/Sekt bzw. Bier eine 6-stufige Skala und für die getrunkene Menge Wein in den letzten 24 h vor der Blutabnahme eine 4-stufige Skala. Es zeigte sich, daß für die Häufigkeit des Biertrinkens mit einer dichotomen Variablen sogar eine leichte

Verbesserung der Varianzaufklärung (um 0,5 %) erreicht wurde im Vergleich zu dem Modell mit der 6-stufigen Variablen aus dem Fragebogen. Für die Häufigkeit des Trinkens von Wein/Sekt und für die Weinmenge in den letzten 24 h vor Blutabnahme wurden je zwei Dummy-Variable wegen der günstigeren Skalierung und damit verbundenen besseren Interpretierbarkeit gegenüber den mehrstufigen Ausgangsvariablen in das Modell aufgenommen, ohne Verlust an Varianzaufklärung.

Über einen deutlichen positiven Zusammenhang zwischen dem Bleigehalt im Blut und dem Alkoholkonsum wird in zahlreichen Studien berichtet, und auf eine Konfundierung durch das Rauchen hingewiesen [z.B.: Elwood, 1986; Hense et al., 1991; Morisi et al., 1992], wobei der Zusammenhang zum Alkoholkonsum in der Regel deutlicher ausgeprägt ist. In Arbeiten aus Ländern wie Frankreich, Italien oder Schweden wird der dominante Einfluß von Wein gegenüber Bier oder anderen alkoholischen Getränken auf den Blutbleispiegel hervorgehoben [Elinder et al., 1988; Maranelli et al., 1990; Moreau et al., 1982]. In Studien aus Dänemark und England konnte keine Abhängigkeit von der Art des Getränkes festgestellt werden [Grandjean et al., 1981; Shaper et al., 1982].

In einigen Studien an der Allgemeinbevölkerung asiatischer Länder, in denen der Alkoholkonsum weit weniger verbreitet ist, wurden schwache [Tang et al., 1990; Watanabe et al., 1985; Zheng/Ji, 1987] oder keine derartigen Zusammenhänge gefunden [Qu et al., 1988].

Hinsichtlich der Ursache für den Anstieg von Blutblei nach Genuß alkoholischer Getränke ist die Literatur sehr widersprüchlich. Von einigen Autoren wird die Hypothese vertreten, daß der Bleigehalt der alkoholischen Getränke nicht allein ausschlaggebend ist für die festgestellte Erhöhung der Bleigehalte im Blut, sondern daß der Bleimetabolismus unter Alkohol-Einfluß verändert ist [Maranelli et al., 1990; Moreau et al., 1982; Shaper et al., 1982; Zheng/Ji, 1987]. Grasmick et al. [1985] führen beispielsweise aus, daß Alkohol zu Leberfunktionsänderungen führt, mit der Folge einer verminderten Blei-Exkretion über die Galle.

In einer In-vivo-Untersuchung sowohl an männlichen Bleiarbeitern als auch an einer männlichen Kontrollgruppe konnte gezeigt werden, daß das Trinken von etwa 100 ml eines nahezu bleifreien Brandy's über einen Zeitraum von einer Stunde zu einem Anstieg des Blutbleigehaltes und einer parallelen Abnahme der ALAD-Aktivität der Erythrozyten führt [Telisman et al., 1984]. Der Anstieg des Blutbleigehaltes konnte nicht durch die vernachlässigbar geringen Bleiaufnahmemengen mit dem Brandy erklärt werden, er ging erst nach etwa 24 Stunden wieder auf seinen ursprünglichen Wert zu Beginn des Trinkversuches zurück. Am Tage der Alkoholaufnahme war darüber hinaus ein tendenzieller Anstieg der über den Urin ausgeschiedenen Bleimenge festzustellen.

Dieser Versuch spricht nach Ansicht der Autoren für eine alkohol-induzierte Umverteilung zwischen stabiler und mobiler Bleifraktion des Körperbleipools und einer anschließenden teilweisen Exkretion der mobilen Fraktion über den Urin.

Andere Autoren halten die Bleigehalte von Wein bzw. Bier für hoch genug, um ohne hepatische Veränderungen entsprechend hohe Bleikonzentrationen im Blut hervorzurufen [Elinder et al., 1983, Grandjean et al., 1981; Hense et al., 1991; Probst-Hensch et al., 1993].

Der im hier vorliegenden Modell insgesamt hohe Anteil aufgeklärter Varianz des Bleigehaltes im Blut durch den Konsum alkoholischer Getränke wird verständlich, wenn man, neben dem Bleigehalt dieser Getränke [Weigert et al., 1984] berücksichtigt, daß mit Getränken zugeführtes Blei etwa fünf- bis achtmal stärker resorbiert wird als dies bei der Bleizufuhr über feste Nahrungsmittel der Fall ist [Ohnesorge, 1985].

Der stärkere Einfluß von Wein/Sekt ist durch den im Vergleich zu anderen Getränken höheren Bleigehalt, auch bei Berücksichtigung unterschiedlicher Trinkmengen, zu erklären. Mithilfe des hier entwickelten Modells (Tab. 2.4.3) läßt sich schätzen, daß bei gleichen (geschätzten) Flüssigkeitsaufnahmemengen für Wein/Sekt und Bier die (damit verbundene) Erhöhung des Blutbleispiegels bei Aufnahme von Wein/Sekt etwa siebenmal so hoch ist wie für Bier. Für den deutschen Markt werden bei Wein Bleigehalte von 15-226 µg/l angegeben und bei Bier Werte von 1-50 µg/l [Müller/Weigert, 1990]. Somit erscheint der Effekt durch die vorkommenden Gehalte erklärbar. Zudem können ältere z.B. französische Weine, verursacht durch die Bleimigration aus der Kapsel durch den Kork und durch Kontamination bei Öffnen der Flaschen, weit höhere Gehalte haben. Auch in Weinen, die an verkehrsreichen Straßen angebaut werden, konnten hohe Bleigehalte nachgewiesen werden [Eschnauer, 1986].

#### 2.4.7.2 Geschlecht

Durch das Geschlecht können 7,8 % der Varianz des Bleigehaltes im Blut erklärt werden. Das Geschlecht zeigt einen starken Zusammenhang mit dem Bleigehalt im Blut. So beträgt der geometrische Mittelwert des Blutbleispiegels der dem Modell zugrunde liegenden Stichprobe für Männer 7,91 µg/100 ml und für Frauen 5,79 µg/100 ml, h.d. für Frauen ca. 73 % des Wertes der Männer. Diese Geschlechts-Differenz im Bleigehalt des Blutes ist statistisch signifikant und wird einheitlich, mehr oder weniger stark ausgeprägt, auch in anderen internationalen Monitoring-Untersuchungen beschrieben [Arnetz et al., 1990; Ducoffre et al., 1990; Elinder et al., 1983; Grandjean et al., 1992; Hense et al., 1991; Huel et al., 1986; Probst-Hensch et al., 1993; Qu et al., 1988; Quinn/Delves, 1987; Roberts et al., 1985; Tang et al., 1990; Watanabe et al., 1985, 1987; Zheng/Ji, 1987].

Durch die Variable SEX im Modell wird für Frauen ca. 85 % des Blutbleispiegels der Männer vorhergesagt, d.h. ein geringerer Unterschied des Bleigehaltes im Blut zwischen Männern und Frauen als in der Stichprobe beobachtet (ca. 73 %).

Als mögliche Ursachen sind sowohl unterschiedliche biologische Mechanismen als auch weitere (nicht gemessene) Variablen denkbar, die zu einer unterschiedlichen Exposition von Männern und Frauen führen. Experimentelle Studien geben Hinweise, daß Sexualhormone die Verteilung von Blei zwischen Erythrozyten, Plasma und Gewebe beeinflussen. Danach soll bei Frauen zwar der mobile Blei-Pool in seiner Gesamtheit reduziert sein, dafür aber der Plasma-Blei-Pool größer sein, mit der Folge einer stärkeren Verfügbarkeit von Blei für die Ausscheidung über den Urin und die Hemmung der Häm-Biosynthese [Roels et al., 1979, zit. in: Mahaffey, 1985; Hense et al., 1991].

#### 2.4.7.3 Alter

Durch das Lebensalter, gebildet aus den Variablen ALTER und QALT, können 1,9 % der Varianz des Bleigehaltes im Blut erklärt werden. In der Studie wird mit zunehmendem Alter ein steigender Bleigehalt

im Blut gefunden, der im höheren Alter wieder leicht absinkt. Da es sich um eine Querschnittsstudie handelt, ist dieses Ergebnis nicht ohne weiteres auf Individuen übertragbar. Möglicherweise waren die älteren Jahrgänge in der Vergangenheit höher belastet und weisen deshalb noch heute höhere Bleigehalte im Blut auf. Eine Altersabhängigkeit konnte auch in einigen anderen Studien beobachtet werden [Arnetz et al., 1990; Berode et al., 1991; Probst-Hensch et al., 1993]. Im Rahmen einiger Studien, die ebenfalls das Durchlaufen eines altersabhängigen Maximums beschreiben, gibt es unterschiedliche Angaben, in welchem Lebensjahr der maximale Bleigehalt durchschnittlich erreicht wird. Meist wird ein Bereich zwischen dem 50. und 60. Lebensjahr [Ducoffre et al., 1990, Hense et al., 1991; Huel et al., 1986; Mahaffey et al., 1982; Qinn/Delves, 1987] angegeben, der sehr gut mit den hier beschriebenen Ergebnissen übereinstimmt. In einigen wenigen Untersuchungen ergab sich entweder kein [Elinder et al., 1983; Qu et al., 1988] oder kein klarer Alterstrend [Watanabe et al., 1985] oder nur ein Anstieg für den männlichen Teil der Bevölkerung [Watanabe et al., 1987] oder sogar eine signifikante Abnahme mit dem Alter für nichtrauchende und nichttrinkende Frauen [Tang et al., 1990].

#### 2.4.7.4 Hämatokrit

Durch das Zellpackungsvolumen können 3,1 % der Varianz des Bleigehaltes im Blut erklärt werden. Die Variable CCVP (Zellpackungsvolumen in %), die in der Stichprobe eng mit dem Hämatokrit korreliert ( $r = 0,98$ ), hat ebenfalls einen deutlichen Einfluß auf den Bleigehalt im Blut.

Über eine positive Beziehung zwischen Bleigehalt im Blut und Hämatokrit-Werten unter Berücksichtigung von Alters-, Geschlechts- und Raucheinflüssen wird in der Literatur vereinzelt berichtet [Arnetz et al., 1990; Hense et al., 1991; Hopper et al., 1982]. Hense et al. (1991) setzten sich mit der Interpretation dieses Befundes innerhalb ihrer MONICA-Kohortenstudie intensiv auseinander. Als Ursache für die positive Verknüpfung wird von dieser Arbeitsgruppe die mit steigenden Hämatokritwerten zunehmende Bleibindungs Kapazität des Blutes angesehen. Obgleich vom Erythrozyten aufgenommenes Blei hauptsächlich intrazellulär an Hämoglobin fest gebunden wird und nur zu etwa 20 % an Proteine der Zellmembran [Ewers/Schlipköter, 1991; Rosen, 1985], hat sich sowohl in der Studie von Hense und Mitarbeitern als auch in der hier vorliegenden Studie der Hämatokrit-Wert als deutliche Einflußgröße auf den Bleigehalt im Blut gezeigt. Weitere Variablen, wie z. B. der Hämoglobingehalt oder die intraerythrozytäre Hämoglobinkonzentration wurden getestet, bringen dann aber keinen zusätzlichen Gewinn zur Aufklärung der Varianz. Dies könnte darauf zurückgeführt werden, daß die Erythrozyten entgegen früheren Annahmen nur eine begrenzte Blei-Bindungs Kapazität haben [DeSilva, 1984] und die im Vollblut enthaltene Menge an Blei direkt von der Anzahl verfügbarer Erythrozyten abhängig ist.

Daß der Einfluß des CCVP auf den Blutbleispiegel für Frauen nicht nachweisbar ist (Kap. 2.5), könnte darauf beruhen, daß bei den für Frauen insgesamt niedrigeren Blutbleisiegeln und Hämatokritwerten die begrenzte Bindungs Kapazität - vermittelt über die Anzahl der Erythrozyten - noch nicht bedeutsam ist. Hense et al. (1991) fanden bei beiden Geschlechtern eine quantitativ gleichartige Beziehung.

#### 2.4.7.5 Kalzium

Durch den Kalziumgehalt im Serum kann 1 % der Varianz des Bleigehaltes im Blut erklärt werden. Die festgestellte positive Korrelation zwischen dem Bleigehalt im Blut (LNPBB) und dem Kalziumgehalt im

Serum (KALZ), die nur für die Frauen, nicht aber für die Männer signifikant ist (s.u.), könnte auf die überwiegend bei Frauen auftretende Osteoporose zurückführbar sein. Dabei kommt es nach der Menopause mit fortschreitendem Alter zu einer Verminderung des Knochengewebes und einer Freisetzung von Kalzium und, aufgrund der engen chemischen Wechselwirkung, vermutlich auch von Blei. Für diese Hypothese sprechen einige im Kap. 2.4.5.3 genannte Geschlechtsspezifitäten, nämlich einerseits das nicht vorhandene Absinken des Kalziumgehaltes im Serum mit dem Alter bei den Frauen, aber ein Absinken mit dem Alter bei den Männern, und andererseits der bei Frauen weniger deutliche Abfall des Blutbleispiegels im Alter von über 57 Jahren. In der amerikanischen Studie NHANES II war sogar ein signifikanter Anstieg des Bleigehaltes im Blut bei Frauen nach der Menopause nachweisbar [Silbergeld et al., 1988].

Auch die Ergebnisse einiger Knochen-Analysen sprechen für diese Theorie. So fanden Drasch et al. (1987) für Oberschenkel- und Beckenknochen bei beiden Geschlechtern einen Anstieg der Bleikonzentration bis zu einem mittleren Lebensalter und mit fortschreitendem Alter eine bei Frauen im Vergleich zu Männern wesentlich stärkere Konzentrationsabnahme.

In einer anderen Untersuchung [Wittemers et al., 1988] ergab sich für Skelettwirbel von Frauen ein Absinken der Bleikonzentration im Alter gegenüber einem Konzentrationsanstieg bei Männern.

#### 2.4.7.6 Berufliche Belastung mit Schwermetallen

Durch die berufliche Belastung mit Schwermetallen können 3 % der Varianz des Bleigehaltes im Blut erklärt werden. Im Zusammenhang mit einer beruflichen Belastung mit Schwermetallen werden die pulmonale (Inhalation schwermetallhaltiger Dämpfe und Stäube) und die enterale Aufnahme (Verschlucken von Staub und Schmutz) diskutiert. Viele Studien zeigen, daß die berufliche Belastung mit Schwermetallen eine bedeutende Expositionsquelle sein kann [z.B. Lehnert/Szadkowski, 1983].

Bei der hier vorliegenden Untersuchung der Allgemeinbevölkerung ist der Einfluß der beruflichen Exposition auf den Bleigehalt des Blutes deutlich (Varianzaufklärung etwa 3 %). Der relativ geringe Anteil aufgeklärter Varianz muß vor dem Hintergrund des hier gewählten Studiendesigns gesehen werden: Untersuchung des Bevölkerungsquerschnittes, bei dem die Erfassung der beruflichen Belastung von untergeordneter Bedeutung war. Die hier gefundenen Effekte gelten deshalb im Mittel für die Allgemeinbevölkerung. Für Einzelpersonen, insbesondere Personen mit hoher beruflicher Bleiexposition, können die Zusammenhänge zwischen Bleiexposition und Bleigehalt im Blut wesentlich stärker ausgeprägt sein.

Im Modell sind sowohl die Angaben der Befragten zur Einschätzung der Belastung an ihrem Arbeitsplatz durch Metalle, Schwermetalle und sonstige Elemente (AS07K) als auch die nachträgliche Einschätzung durch einen Arbeitsmediziner (PBLAST1) anhand verschiedener Fragebogendaten enthalten. Beide Variablen korrelieren kaum ( $r = 0,04$ ) und liefern jeweils einen eigenständigen Beitrag zur Varianzaufklärung.

Ein Effekt der Variablen „Arbeiter vs. Angestellte und sonstige Berufe“ ist nur sehr schwach erkennbar und verschwindet ganz, wenn die offensichtlich spezielleren Variablen AS07K und PBLAST1 in das Modell aufgenommen werden.

Aus den Ergebnissen dieser Studie kann man schließen, daß die Exposition am Arbeitsplatz für die Allgemeinbevölkerung eine nicht so dominierende Bedeutung besitzt wie das bei hochexponierten Bevölkerungsgruppen der Fall ist. Dies steht nicht im Widerspruch zu Untersuchungen bei beruflich hoch belasteten Bevölkerungsgruppen. In solchen Studien konnte der überragende Zusammenhang zwischen beruflicher Bleibelastung und dem Blutbleispiegel gezeigt werden.

Aufgrund der Angabe, daß sich bei beruflich Blei-Belasteten der Raucheinfluß besonders deutlich zeigen soll (Kontamination von Zigaretten durch bleihaltigen Staub an Fingern etc.) [Lehnert/Szadkowski, 1983], wurde im Modell eine multiplikative Verknüpfung von Variablen zum Rauchverhalten und Variablen zur beruflichen Schwermetall-Belastung vorgenommen. Eine Modell-Verbesserung konnte aber auch so nicht erreicht werden.

Durch die unterschiedliche berufliche Schwermetallbelastung bei Männern und Frauen (vgl. Tab. 2.4.5) kann mit dem Modell ca. 7 % der in der Stichprobe tatsächlich beobachteten Differenz im Blutbleispiegel zwischen Männern und Frauen erklärt werden.

#### 2.4.7.7 Thiocyanat (Rauchen)

Durch den Thiocyanatgehalt im Serum können 2,5 % der Varianz des Bleigehaltes im Blut erklärt werden. Vor dem Hintergrund, daß der Thiocyanatgehalt im Serum in enger Beziehung zum Rauchen steht, ist dieser Prädiktor als Indikatorvariable für das Rauchen zu interpretieren. Würde man zur Modellbildung die verschiedenen Eigenangaben des Probanden zum Rauchen heranziehen, so sind die dann gefundenen Effekte ebenfalls signifikant. Jedoch sinkt bei Verwendung des Rauchstatus (Raucher vs. Nichtraucher) oder der Anzahl der gerauchten Zigaretten anstelle des Thiocyanatgehalts im Serum die Varianzaufklärung des Modells um etwa 1 %. Deshalb wurde letztlich die Variable „Thiocyanatgehalt im Serum“ in das Regressionsmodell aufgenommen (vgl. dazu auch Kap. 2.4.8, Cadmium und Rauchen).

Über einen leichten Einfluß des Rauchens auf den Bleigehalt im Blut bei der Allgemeinbevölkerung wird auch in anderen Studien berichtet [Arnetz et al., 1990; Becode et al., 1991; Ducoffre et al., 1990; Elinder et al., 1983; Ewers et al., 1990; Grandjean et al., 1990; Grasmick/Huel, 1985; Hense et al., 1991; Probst-Hensch et al., 1993; Qu et al., 1988; Quinn/Delves, 1987; Tang et al., 1990; Watanabe et al., 1985 und 1987], teilweise ist der Zusammenhang aber nur für Männer beschrieben [Ducoffre et al., 1990], teilweise ist kein Dosis-Effekt [Grasmick et al., 1985] oder nur ein Dosis-Effekt für Männer nachweisbar [Qu et al., 1988].

Die Blei-Kontamination von Tabaken u.a. aus Schädlingsbekämpfungsmitteln ist seit langem bekannt [Lehnert/Szadkowski, 1983]. Für in der Bundesrepublik Deutschland im Zeitraum von 1982 bis 1984 hergestellte Zigaretten haben Watanabe et al. (1987) einen mittleren Bleigehalt von 1,3 µg/g gemessen.

Der individuelle Thiocyanatwert kann auch durch den Verzehr bestimmter Nahrungsmittel beeinflusst werden. Einige Nahrungsmittel enthalten Thiocyanat (z.B. verschiedene Kohlarten, Rüben, Radieschen und Rettich), andere (Mandeln, Hülsenfrüchte, Mais, Bambus, Leinsamen) enthalten Substanzen, die im Körper in Thiocyanat umgewandelt werden können [Becher et al., 1987; Weuffen et al., 1990]. Nach neuen Unter-

suchungen von Heinrich et al. (1991) haben auch Faktoren wie Dauer der Nikotinabstinenz oder auch der Schwefeldioxidgehalt der Außenluft einen Einfluß.

Auch Kramer et al. (1990) fanden in einer epidemiologischen Studie, die in unterschiedlichen Gebieten der ehemaligen DDR durchgeführt wurde, für den stark industrialisierten Einzugsbereich Halle deutlich erhöhte Thiocyanat Spiegel in Serum und Urin bei Rauchern und Nichtrauchern. Die Autoren führen dies zum einen auf die in industriellen Ballungsgebieten vermehrt entstehenden Thiocyanate und deren Precursoren als Detoxifikations- und Abfallprodukte zurück. Zum anderen sehen sie darin aber auch eine Art Abwehrmechanismus des Organismus, da in Industriegebieten gehäuft chronische Atemwegsinfektionen mit entzündlichen Prozessen eine Rolle spielen und diese wiederum von einer Erhöhung des Thiocyanat Spiegels im Serum begleitet werden.

#### 2.4.7.8 Bleiniederschlag im Haushalt

Durch den Bleiniederschlag im Haushalt können 0,9 % der Varianz des Bleigehaltes im Blut erklärt werden. Dabei könnte die Bleiniederschlagsrate auf eine höhere Belastung bei Aufenthalt im Aufstellzimmer des Sammelbeckers (das war überwiegend das Wohnzimmer) in staubreicheren Räumen hinweisen. Die tatsächlich aufgenommene und resorbierte Menge hängt in bedeutendem Maße von weiteren Faktoren wie z.B. der Aufenthaltsdauer und der Korngrößenverteilung ab. Daraus folgt, daß der Bleiniederschlag im Haushalt nur wenig zur Aufklärung der Varianz des Bleigehaltes im Blut beiträgt ( $\delta R^2 = 0,009$ ). Ferner ist zu berücksichtigen, daß die Bleiniederschlagsrate über einen Zeitraum von einem Jahr bestimmt wurde, während es sich bei der Bleibestimmung im Blut um die Messung zu einem Zeitpunkt handelt.

Gegenüber dem Bleigehalt in der Staubsaugerbeutelprobe kann mit dem Regressionsmodell durch die Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub ein höherer Anteil der Varianz des Blutbleispiegels erklärt werden. Daher scheint die Bleimenge im Staubniederschlag die bessere Expositionsvariable zu sein, wie dies im übrigen auch für Cadmium schon feststellbar war [Schwarz et al., 1993].

In der Literatur wird über einen Zusammenhang zwischen Blutbleigehalt und Bleigehalt im Hausstaub sehr uneinheitlich berichtet. Zusammenfassend läßt sich aber feststellen, daß lediglich in Studien in der näheren Umgebung von Bleihütten bei entsprechend hohen Bleiexpositionen eine statistisch signifikante Beziehung gefunden wurde [Elwood, 1986]. Außerdem liegen Studien vor, die diesen Zusammenhang für Kinder nachweisen konnten [Aurand et al., 1978; Laxen et al., 1987; Seifert, 1978; Thornton et al., 1990; Thron et al., 1978]

#### 2.4.7.9 Trinkwasser

Der Bleigehalt des Trinkwassers (PBSPON) trägt mit etwa 0,4 % nur sehr gering zur Varianzaufklärung des Bleigehaltes im Blut bei. Trotz der insgesamt relativ niedrigen Bleigehalte im Trinkwasser ist der Bleigehalt im Spontan-Trinkwasser ein signifikanter Prädiktor im Modell. Dieses Ergebnis spricht für die wahrscheinlich relativ effiziente Absorption des Bleis aus dem Trinkwasser durch den menschlichen Körper. Die Variablen zum Bleigehalt im Spontan- (PBSPON) und Stagnations-Trinkwasser (PBSTAG) korrelieren deutlich, wobei erstere einen höheren Beitrag zur Varianzaufklärung leistet. Dies ist nicht verwunderlich, da

die Spontanprobe so entnommen wurde, wie es der Gewohnheit des Probanden, Trinkwasser, das zum Verzehr bestimmt ist, zu entnehmen, entsprach (also mit oder ohne Wasservorlauf).

In einer Untersuchung an Männern im mittleren Lebensalter in 24 englischen Städten mit geographischen bedingten Unterschieden in den Blutbleikonzentrationen wurde der Zusammenhang mit dem Bleigehalt im Trinkwasser aufgezeigt [Pocock et al., 1983]. Dabei betrug die Varianzaufklärung im einfachen linearen Regressionsmodell für "first draw water lead" 15 % und für "daytime water lead" 10 %.

In einer Studie an Frauen in fünf Gebieten in Wales [Elwood et al., 1984] wurde der Einfluß der Bleikonzentration in Innenraumluft, Hausstaub, Straßenstaub und Trinkwasser auf den Blutbleispiegel untersucht. Das dabei gefundene Regressionsmodell enthält Prädiktoren zur Bleikonzentration in Innenraumluft und Trinkwasser. Die erreichte Varianzaufklärung betrug 23 %.

Zur Beschreibung des Zusammenhanges zwischen dem Bleigehalt im Blut und im Trinkwasser wird von der EPA (1983) ein lineares Modell von Pocock et al. (1983) benutzt. Danach steigt für 1 µg Pb/l Trinkwasser der Bleigehalt im Blut um 0,06 µg/100 ml, und für die oben genannte Studie in Wales betrug der entsprechende Wert 0,05 µg/100 ml [Elwood et al., 1984]. Ein vergleichbarer Wert aus unserer Studie ist nur bedingt angebar, da das vorliegende Modell nichtlinear ist. Es hat die Form

$$PBBLUT = K \cdot PBSPON^{0,022021},$$

wobei K von den übrigen Prädiktoren abhängt und den durch diese bedingten Blutbleispiegel charakterisiert. Schätzt man K aus den geometrischen Mittelwerten der Stichprobe für PBBLUT (6,87 µg/100 ml) und PBSPON (2 µg/l), so kann unter diesen Bedingungen bei einer Erhöhung des Bleigehaltes im Trinkwasser um 1 µg/l für die hier vorliegende Studie ein um 0,06 µg/100 ml erhöhter Blutbleispiegel vorhergesagt werden. Auch andere Autoren [Elwood et al., 1984; Pocock et al., 1983] finden mit steigendem Bleigehalt im Trinkwasser eine Verringerung des Anstiegs des Blutbleispiegels. Sie beschreiben diesen Sachverhalt durch einen zweistufigen linearen bzw. einen kubische-Wurzel-Ansatz.

#### 2.4.7.10 Bevölkerungsdichte und regionale Effekte

Durch die Bevölkerungsdichte und den Anteil der Beschäftigten in Metall- und Elektroindustrie können 1,5 % der Varianz des Bleigehaltes im Blut erklärt werden. Die leichte Zunahme des Bleigehaltes im Blut mit zunehmender Bevölkerungsdichte (EWFLG) und wachsendem Anteil Arbeitnehmer in der Elektro- und Metallindustrie im Kreis (D8WSANK) könnte möglicherweise im Zusammenhang mit der Belastung der Außenluft am Wohnort stehen.

In zahlreichen Studien wird über einen für die Landbevölkerung gegenüber der Stadtbevölkerung niedrigeren Bleigehalt im Blut berichtet [Boscolo et al., 1993; Grandjean et al., 1992; Landrigan et al., 1985; Mahaffey et al., 1982; Quinn, 1985].

Der bei Frauen gegenüber Männern deutlichere Einfluß dieser beiden Größen dürfte auf die stärkere Ortsgebundenheit von Frauen im Zusammenhang mit ihrer geringeren Berufstätigkeit zurückführbar sein. So fanden auch Hense et al. (1991) in ihrer Augsburger Kohortenstudie für Frauen aus ländlichen Gegenden im

Vergleich zu Frauen aus städtischen Regionen nach Konfounderkontrolle einen um  $0,4 \mu\text{g}/100 \text{ ml}$  erniedrigten Blutbleispiegel. Für Männer ergab sich kein statistisch signifikanter Unterschied.

#### 2.4.8 Weitere Informationen

##### **Cadmium und Rauchen**

Wir betrachten zunächst ein Modell ohne die Variable Thiocyanat im Serum (THIO) und beziehen erst in einem zweiten Schritt die Variablen LNCDB (Logarithmus des Cadmiums im Blut), THIO und sämtliche Variablen des Fragebogens zum Rauchen bzw. daraus abgeleitete Variable (Zigarettenzahl, Rauchstatus, Rauchdauer, Jahre, seit dem nicht geraucht wird, Anzahl Raucher pro Wohnfläche usw.) in das Regressionsmodell ein. Mit dem Modell ohne die Variable THIO erreicht man eine Varianzaufklärung von  $R^2 = 0,2917$ . Im nächsten Schritt wird zuerst als stärkster Prädiktor die Variable LNCDB ( $\delta R^2 = 0,0165$ ) und erst danach die Variable THIO ( $\delta R^2 = 0,0031$ ) in das Modell aufgenommen. Die anderen Variablen zum Rauchen sind dann nicht mehr signifikant. Das bedeutet, daß insbesondere Thiocyanat und die Variablen zum Rauchen einen weitgehend gleichen Teil der Variation des Blutbleispiegels beschreiben. Dabei erklärt der Thiocyanatgehalt im Serum den größten Varianzanteil dieser Variablen.

Die Ursache für den Zusammenhang zwischen Blei und Cadmium im Blut können gleiche Expositionsquellen sein. Darüber hinaus ist denkbar, daß durch Cadmium der Bleimetabolismus beeinflusst wird. In der Literatur werden synergistische Wechselwirkungen diskutiert.

Zwischen dem Bleigehalt im Blut und Passivrauchen ist kein Zusammenhang nachweisbar.

##### **Einkommen, Body-Mass-Index**

Die Variablen Body-Mass-Index und Haushaltseinkommen pro im Haushalt lebender Person ab 18 Jahre sind im multiplen Regressionsmodell für Blei im Blut keine signifikanten Prädiktoren. Die einfachen Korrelationskoeffizienten dieser beiden Variablen mit LNPBB sind ebenfalls nicht signifikant.

## 2.5 Blei im Haar

Bei der Modellbildung wurden ca. 750 Variablen (Fragebogenangaben, klinisch-chemische Parameter usw., vgl. auch Kap. 1.7) geprüft. Alle nicht im Modell enthaltenen bzw. im Folgenden nicht explizit genannten Variablen haben keinen nennenswerten Beitrag zur Erklärung der Varianz des Logarithmus des Bleigehaltes im Haar geleistet.

Von jedem untersuchten Probanden sollte im Rahmen der Erhebung eine Haarprobe in einer Menge von etwa 200 mg gewonnen werden. Dieser Sollwert wurde besonders während der ersten Hälfte der Studie durch Mängel bei der Probenahme bei weitem nicht erreicht, so daß viele der Haarproben eine Masse von weniger als 50 mg hatten. Bei diesen kleinen Probemengen liegt die Menge der Spurenelemente natürlich sehr häufig unterhalb der analytischen Nachweisgrenze. Da nicht nachweisbare Konzentrationen hier stets so behandelt werden, als ob sie die halbe Höhe der Nachweisgrenze hätten, ergab sich durch die geringen Probenmengen eine Verzerrung der Blei-Werte im Haar, die in einer negativen Korrelation der Blei-Haarkonzentration mit der Haar-Einwaage resultierte. Um diese Verzerrung der Daten zu verringern, wurden alle Proben mit einer Masse bis 50 mg nicht ausgewertet. Hierdurch reduziert sich die Anzahl auswertbarer Blei-Haarkonzentrationen auf 1355 Fälle. Es erschien sinnvoll, alle Proben über 50 mg in eine multivariate Auswertung einzubeziehen. Um eine dennoch vorhandene Verzerrung durch kleine Haareinwaagen zu berücksichtigen, wurde die Haareinwaage als Prädiktor mitgeführt. Aufgrund dieser gegenüber dem Sollwert z.T. geringeren Probemengen ist die Aussagekraft des Modells für den Logarithmus des Bleigehaltes im Haar gegenüber den anderen in diesem Bericht angegebenen Modellen als geringer einzuschätzen.

### 2.5.1 Modell für Logarithmus des Bleigehaltes im Haar

Das Vorhersagemodell für die verbleibende Gesamtstichprobe von 906 Fällen mit kompletten Datensätzen enthält sieben Prädiktoren. Die Varianzaufklärung des logarithmierten Kriteriums LNPBH ist mit  $R^2 = 0,166$  bei 7 und 898 Freiheitsgraden signifikant ( $p = 0,0000$ ), aber geringer als bei Blei im Blut. Hinzu kommt noch, daß ca. 3 % der Varianzaufklärung auf ein methodisches Artefakt zurückzuführen ist, nämlich auf eine Restverzerrung durch kleine Haareinwaagen, die auch bei Proben von mehr als 50 mg noch in gewissem Umfang spürbar ist.

Das Vorhersagemodell enthält die nachstehenden sieben Prädiktoren:

- |             |   |
|-------------|---|
| 1. LNPBB    | natürlicher Logarithmus des Bleigehaltes im Blut [ $\mu\text{g}/100 \text{ ml}$ ]   |
| 2. ZEIT     | Jahreszeit [Mai-September gegenüber Oktober-April]  |
| 3. HAARWAAG | Haareinwaage [mg]   |
| 4. STAUB    | Staub-Belastung im Beruf [keine, gering gegenüber deutliche, starke Belastung]  |
| 5. D3STAT6  | Befragter ist in Pension, (Früh-)rente ["trifft nicht zu" gegenüber "trifft zu"]  |
| 6. LNPBBCH  | natürlicher Logarithmus des Bleiniederschlags im Haushalt [ $\mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ ]                       |
| 7. D6WSEWR  | überdurchschnittlicher Anteil Beschäftigter in Energie, Wasser, Bergbau in der Region ["trifft nicht zu" gegenüber "trifft zu"] |

Tabelle 2.5.1 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der beteiligten Variablen, Tabelle 2.5.2 ihre Interkorrelationen und Tabelle 2.5.3 die Kenngrößen des Vorhersagemodells. Der Spaltenaufbau von Tabelle 2.5.3 ist mit dem in den anderen Kapitel identisch.

Tab. 2.5.1: Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (s) der Variablen

	AM	s		AM	s
LNPBH	,337	1,002	D3STAT6	,117	,322
LNPBB	1,934	,416	LNPBBCH	-,862	,836
ZEIT	,808	,394	D6WSEWR	,268	,443
HAARWAAG	141,189	51,229			
STAUB	,245	,430			

Anzahl der Fälle = 906

Tab. 2.5.2: Interkorrelationen der Variablen

	LNPBB	ZEIT	HAARWAAG	STAUB	D3STAT6	LNPBBCH	D6WSEWR
LNPBB	1,0000	,0429	-,0538	,1462	,0006	,1367	-,0132
ZEIT		1,0000	,2801	-,0763	,0182	-,0001	,2843
HAARWAAG			1,0000	-,0448	-,0552	-,0274	,3890
STAUB				1,0000	,0648	,0837	,0614
D3STAT6					1,0000	-,0425	,0352
LNPBBCH						1,0000	,0887
D6WSEWR							1,0000

Tab. 2.5.3: Modellkennwerte für die Logarithmen des Bleis im Haar

Multiples R	,40782	<u>Varianzanalyse</u>								
R <sup>2</sup>	,16632			FG	Quadratsumme	mittl. Quadrat				
Korrigiertes R <sup>2</sup>	,15982		Regression	7	151,12056	21,58865				
Standardfehler	,91845		Residuen	898	757,50616	,84355				
		F =	25,59267	Signif F =	,0000					
Variable	B	SE B	95 % Confdnce Intrvl B	Beta	Correl	Partial	T	Sig T		
LNPBB	,463405	,075419	,315308 ,611422	,192610	,227340	,200864	6,144	,0000		
ZEIT	-,492137	,082210	-,653484 -,330790	-,193579	-,184063	-,195895	-5,986	,0000		
HAARWAAG	-,003174	6,2442E-04	-,004399 -,001948	-,162269	-,175959	-,167229	-5,083	,0000		
STAUB	,242250	,073487	,098024 ,386477	,104043	,155725	,109346	3,296	,0010		
D3STAT6	-,400959	,096843	-,591024 -,210895	-,128689	-,106441	-,136864	-4,140	,0000		
LNPBBCH	,145664	,037146	,072762 ,218567	,121515	,173986	,129754	3,921	,0001		
D6WSEWR	,306469	,074918	,159434 ,453505	,135578	,053874	,135254	4,091	,0000		
(Constant)	,317528	,187726	-,050905 ,685962				1,691	,0911		

Die relativ hohen Korrelationen zwischen HAARWAAG und ZEIT sowie möglicherweise auch zwischen HAARWAAG und D6WSEWR können mit dem zeitlichen Ablauf der Feldarbeit erklärt werden, da die kleinen Probemengen insbesondere zu Beginn der Studie genommen wurden.

### 2.5.2 Varianzkomponenten

Der nachstehenden Tabelle 2.5.4 sind die Produkte  $\beta \cdot r$  und die Änderungen der Varianzaufklärung  $\delta R^2$  für die einzelnen Prädiktoren zu entnehmen.

Die Änderungen in der Varianzaufklärung gelten auch hier nur für die Prädiktor-Reihenfolge der Tabelle 2.5.4.

In dieser Prädiktoren-Reihenfolge sind alle Änderungen der quadrierten multiplen Korrelation mit höchstens  $p = 0,01$  signifikant.

Tab. 2.5.4: Varianzkomponenten der Prädiktoren für die Vorhersage der Logarithmen des Bleis im Haar

	$\beta \cdot r$	$\delta r^2$
LNPBB	,044	,052
ZEIT	,036	,038
HAARWAAG	,028	,014
STAUB	,016	,012
D3STAT6	,014	,016
Beruf gesamt:	,030	,028
LNPBBCH	,021	,019
D6WSEWR	,007	,015
Summe:	,166	,166

Im Vorhersagemodell für Blei im Haar gibt nur die Variable LNPBB (mit einem Anteil an der Varianzaufklärung von 4,4 %) einen Hinweis auf einen möglichen endogenen Einbau des Bleis in das Haar. Die Prädiktoren des Modells für den Blutbleigehalt (s. Kap. 2.4) haben im Modell für die Vorhersage von Blei im Haar keine oder nur eine schwache Bedeutung. Die weiteren Prädiktoren des Modells für den Bleigehalt im Haar sind eher Indikatoren der äußeren Belastung. Es scheint der überwiegende Anteil des Bleigehaltes im Haar durch äußere Kontamination verursacht zu sein.

### 2.5.3 Transformiertes Modell für Bleigehalt im Haar

Die aus Tabelle 2.5.3 ableitbare Regressionsgleichung gilt für die Logarithmen des Bleis im Haar. Für die nicht logarithmierten Bleiwerte ergibt sich durch entsprechende Umformung folgende Modellgleichung:

Blei im Haar

= 1,3737  $\mu\text{g/g}$

· 1,5895<sup>LNPBB</sup>

· 0,6113<sup>ZEIT</sup>

· 0,9968<sup>HAARWAAG</sup>

· 1,2741<sup>STAUB</sup>

· 0,6697<sup>D3STAT6</sup>

· 1,1568<sup>LNPBBCH</sup>

· 1,3586<sup>D6WSEWR</sup>

natürlicher Logarithmus des Bleigehaltes im Blut ( $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ )

Jahreszeit (Mai-September = 0, Oktober-April = 1)

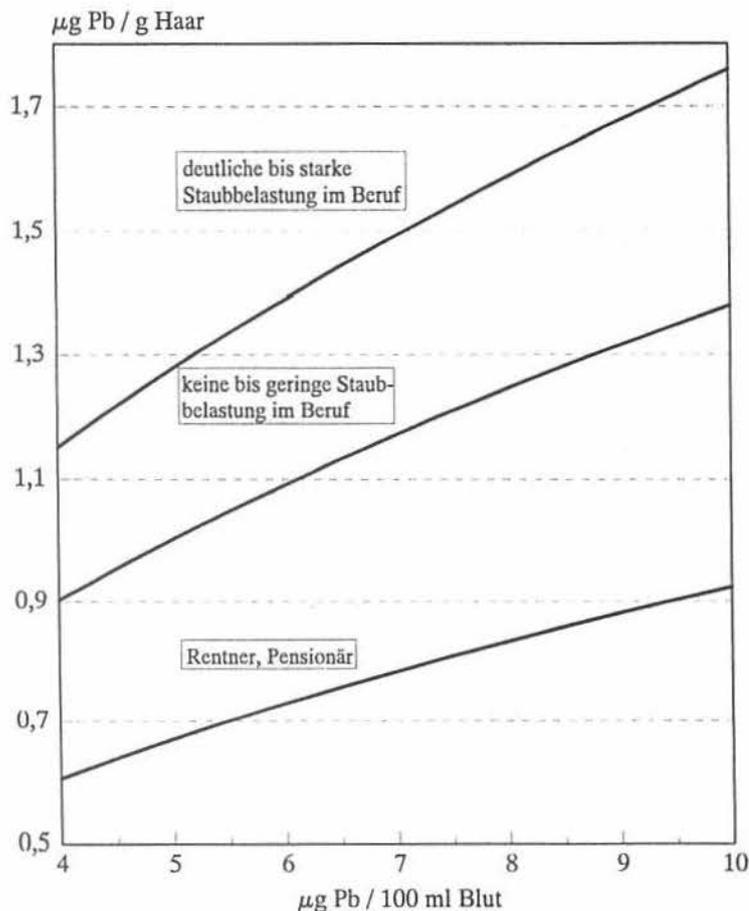
Haar-Einwaage (in mg)

deutliche bis starke Staubbelastrung im Beruf = 1, keine oder geringe Belastung = 0

Befragter ist in Pension, (Früh-)rente (trifft nicht zu = 0, trifft zu = 1)

natürlicher Logarithmus des Bleiniederschlagsmenge im Haushalt ( $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{Tag})$ )

überdurchschnittlicher Anteil Beschäftigter in Energie, Wasser, Bergbau in der Region (trifft nicht zu = 0, trifft zu = 1)

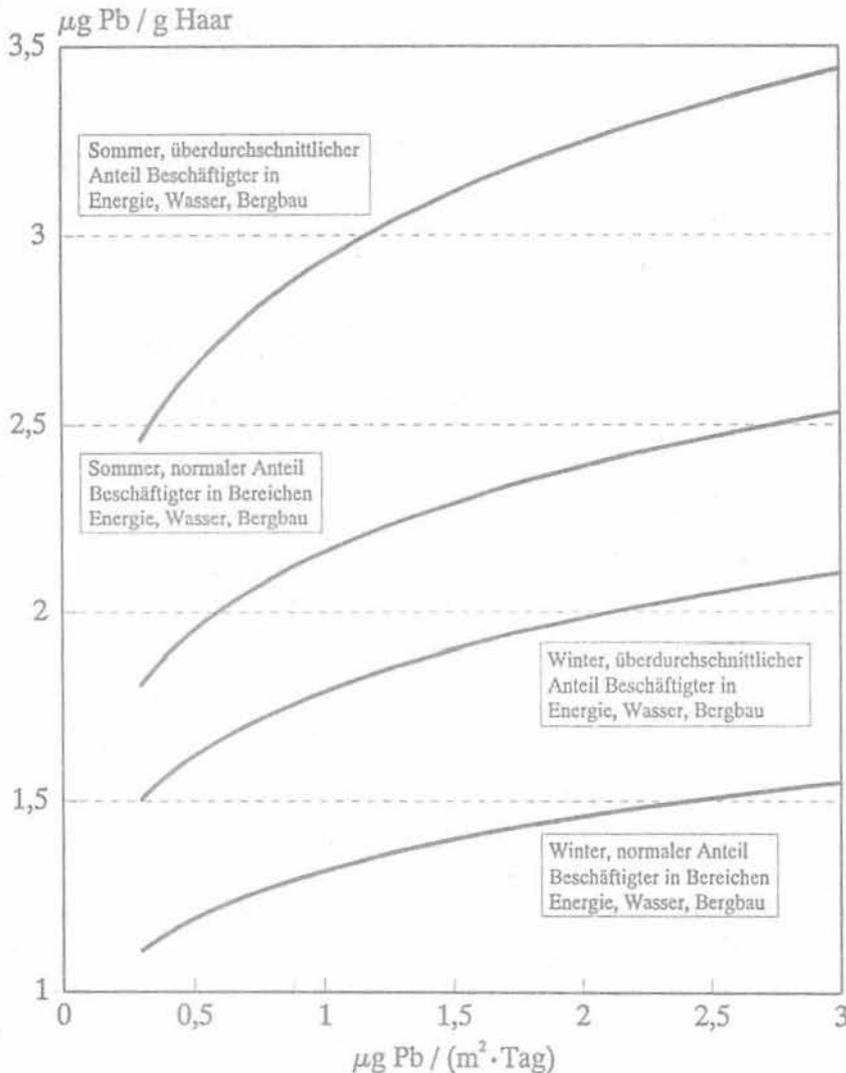


Vorhersage für: Winterhalbjahr; 0,43  $\mu\text{g}/(\text{m}^2\cdot\text{Tag})$  Bleiniederschlag im Haushalt; Haareinwaage: 140 mg; durchschnittlicher Anteil Beschäftigter in Bereichen Energie, Wasser, Bergbau.

Abb. 2.5.1: Bleigehalt im Haar nach Blutbleispiegel, Staubbelastrung im Beruf und beruflichem Status

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Die Umformung  $1,5895^{LNPBB} = PBBLUT^{0,4634}$  zeigt, daß bei einer Verdopplung des Blutbleispiegels eine Erhöhung des Bleigehaltes im Haar um 38 % vorherzusagen ist. Bei einem Blutbleispiegel von z.B. 6  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  ist gegenüber 5  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$  eine Erhöhung des Bleigehaltes im Haar um 8,8 % zu schätzen (Abb. 2.5.1).



Vorhersage für: Berufstätiger ohne deutliche Staubbelastung am Arbeitsplatz;  
mit Bleigehalt im Blut von 6,9  $\mu\text{g}/100\text{ ml}$ ; Haareinwaage: 140 mg.

Abb. 2.5.2: Bleigehalt im Haar nach Bleiniederschlag im Haushalt, Jahreszeit und Beschäftigten in Bereichen Energie, Wasser, Bergbau

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Weiterhin werden im Winter um 39 % niedrigere (Abb. 2.5.2), bei deutlicher bis starker Staubbelastung im Beruf um 27 % höhere (Abb. 2.5.1) und bei Pensionierten bzw. Rentnern um 33 % niedrigere Werte für den Bleigehalt im Haar vorhergesagt (Abb. 2.5.1).

Aus der Umformung  $1,1568^{LNPBBCH} = PBBCH^{0,1457}$  läßt sich berechnen, daß bei einer Verdopplung des Bleiniederschlags im Haushalt ein um 10,6 % erhöhter Haarbleispiegel vorherzusagen ist. Bei einer Erhöhung des Bleiniederschlags im Haushalt um  $10 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ , ausgehend vom geometrischen Mittelwert von  $4,3 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$ , ist eine Erhöhung des Bleigehaltes im Haar von 19,1 % zu kalkulieren (Abb. 2.5.2).

Die Clustervariable D6WSEWR schließt die Regionen Braunschweig, Dortmund-Sauerland, Bochum, Essen, Duisburg und Saar ein mit überdurchschnittlichem Anteil von Beschäftigten in den Bereichen Energie, Wasser und Bergbau. Hier wird durch das Modell ein um ca. 36 % erhöhter Bleigehalt im Haar geschätzt (Abb. 2.5.2).

#### 2.5.4 Stabilitätsprüfungen

Bei personaler Teilung der Gesamtstichprobe führt die Kreuzvalidierung zu einem Verlust an Varianzaufklärung von 5 %. Alle Prädiktoren sind auch in den Teilstichproben signifikant.

Bei regionaler Teilung der Gesamtstichprobe ergibt sich bei der Kreuzvalidierung ein Verlust an Varianzaufklärung bis zu 7,6 %. In einer Teilstichprobe sind die Variablen STAUB, D3STAT6 und D6WSEWR nicht mehr signifikant. Beide Teilstichproben unterscheiden sich allerdings bezüglich der Mittelwerte mehrerer Prädiktoren deutlich, insbesondere bezüglich der Clustervariablen D6WSEWR.

#### 2.5.5 Geschlechtsspezifische Modelle

Werden Männer und Frauen getrennt ausgewertet, so ist bei den Männern eine Erhöhung der Varianzaufklärung gegenüber der Gesamtstichprobe zu beobachten ( $R^2 = 0,215$ ). Die Standardpartialregressionskoeffizienten sämtlicher Prädiktoren des Gesamtmodells bleiben signifikant.

In der Unterstichprobe der Männer wurden nochmals alle Variablen überprüft mit dem Ziel einer signifikanten Verbesserung des Modells. Dabei zeigte sich, daß bei Hinzunahme der Prädiktoren:

- |        |  |
|--------|--|
| BODEN1 | (auch) glatter Fußboden in der Wohnung [Holzparkett, PVC, Fliesen usw. angegeben gegenüber ausschließlich textilem Belag],   |
| FR2023 | Häufigkeit des Trinkens von Erfrischungsgetränken [nie / maximal einmal pro Monat / zwei- bis dreimal pro Monat / etwa einmal pro Woche / mehrmals pro Woche / (fast) täglich] |

sich die Varianzaufklärung um etwa 2,7 % erhöht. Dabei wird bei glattem Fußbodenbelag in der Wohnung und häufigem Trinken von Erfrischungsgetränken ein höherer Bleigehalt im Haar vorhergesagt.

Glatte Fußböden in der Wohnung geht mit einer höheren Bleikonzentration im Hausstaub einher (Kap. 2.6) und könnte so zur exogenen Blei-Anreicherung der Haare beitragen. Warum dies allerdings nur bei Männern der Fall ist, kann nicht erklärt werden.

Häufiges Trinken von Erfrischungsgetränken (Männer trinken mehr als Frauen) könnte mit einer stärkeren Schweißbildung in Beziehung stehen. Über die Aufnahme von Blei aus dem Schweiß in die metabolisch-inaktive Keratin-Struktur der Haare nach längerer Exposition wird berichtet [Valkovic, 1988].

Tabelle 2.5.5 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der beteiligten Variablen, Tabelle 2.5.6 ihre Interkorrelationen und Tabelle 2.5.7 die Kenngrößen des Vorhersagemodells für die Unterstichprobe der Männer.

Tab. 2.5.5: Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (s) der Variablen (Männer)

	AM	s		AM	s
LNPBH	,471	1,034	D3STAT6	,144	,351
LNPBB	2,081	,378	D6WSEWR	,273	,446
ZEIT	,788	,409	BODEN1	,377	,485
HAARWAAG	132,096	52,054	FR2023	2,473	1,652
LNPBBCH	-,788	,819			
STAUB	,361	,481			
			Anzahl der Fälle = 501		

Tab. 2.5.6: Interkorrelationen der Variablen (Männer)

	LNPBB	ZEIT	HAARWAAG	STAUB	D3STAT6	LNPBBCH	BODEN1	FR2023	D6WSEWR
LNPBB	1,0000	,0051	-,0046	,0902	-,0814	,1019	,0466	,0186	-,0443
ZEIT		1,0000	,2522	-,0310	,0257	,0037	-,0608	-,1631	,2901
HAARWAAG			1,0000	,0266	-,0171	,0206	-,0182	-,0028	,4562
STAUB				1,0000	,0784	,1183	,0010	-,0238	,1148
D3STAT6					1,0000	-,0271	,0741	-,1919	,0937
LNPBBCH						1,0000	-,0904	,0023	,1238
BODEN1							1,0000	-,0638	-,0817
FR2023								1,0000	-,0833
D6WSEWR									1,0000

Tab. 2.5.7: Modellkennwerte für die Logarithmen des Bleis im Haar (Männer)

Multiples R	,49212	<u>Varianzanalyse</u>							
R <sup>2</sup>	,24218		FG	Quadratsumme	mittl. Quadrat				
Korrigiertes R <sup>2</sup>	,22829	Regression	9	129,34982	14,37220				
Standardfehler	,90793	Residuen	491	404,74745	,82433				
	F =	17,43495	Signif F =	,0000					
Variable	B	SE B	95 % Confdnce Intrvl B	Beta	Correl	Partial	T	Sig T	
FR2023	,077696	,025728	,027146	,128247	,124205	,176973	,135039	3,020	,0027
LNPBBCH	,196432	,051636	,094978	,297887	,155590	,173244	,169206	3,804	,0002
LNPBB	,677476	,109550	,462232	,892721	,247726	,286780	,268815	6,184	,0000
HAARWAAG	-,003143	8,4943E-04	-,004812	-,001474	-,158282	-,137934	-,164689	-3,700	,0002
STAUB	,270330	,087182	,099034	,441627	,125771	,162553	,138584	3,101	,0020
BODEN1	,273947	,086457	,104075	,443819	,128601	,105946	,141556	3,169	,0016
ZEIT	-,497519	,107047	-,707846	-,287191	-,196803	-,210308	-,205279	-4,648	,0000
D3STAT6	-,438718	,121844	-,678117	-,199318	-,149057	-,145161	-,160392	-3,601	,0003
D6WSEWR	,375241	,104938	,169057	,581425	,161992	,020230	,159313	3,576	,0004
(Constant)	-,408814	,286192	-,971126	,153498				-1,428	,1538



Tab. 2.5.10: Modellkennwerte für die Logarithmen des Bleis im Haar (Frauen)

Variable	B	SE B	95 % Confidence Interval B	Beta	Correl	Partial	T	Sig T
D4RSTAT	,262975	,076794	-,413837 - ,112112	-,142351	-,146907	-,148228	-3,424	,0007
HAARWAAG	,002090	7,6806E-04	-,003599 -5,81028E-04	-,113614	-,112904	-,118259	-2,721	,0067
AS0402	,616930	,176230	,270724 ,963136	,145129	,147404	,151455	3,501	,0005
A8514	,363856	,118623	-,596892 - ,130819	-,127369	-,118262	-,133060	-3,067	,0023
ZEIT	,320364	,112013	-,540416 - ,100313	-,120937	-,104788	-,124212	-2,860	,0044
LNPBBCH	,117480	,043967	,031107 ,203853	,111661	,134103	,116160	2,672	,0078
D6WSEWR	,342624	,097545	,150995 ,534253	,150315	,090203	,151951	3,512	,0005
(Constant)	,967349	,155727	,661419 1,273278				6,212	,0000

Multiples R		Varianzanalyse			
R <sup>2</sup>		Regression	FG	Quadratsumme	mittl. Quadrat
,33377			7	49,77170	7,11024
Korrigiertes R <sup>2</sup>	,09948	Residuen	522	397,00784	,76055
Standardfehler	,87210				
F = 9,34880		Signif F = ,0000			

## 2.5.6 Nach Raucherstatus differenzierte Modelle

In der Unterstichprobe der Nichtraucher ist die Variable STAUB nicht mehr signifikant. Die Varianzaufklärung beträgt  $r^2 = 0,154$ . In der Stichprobe der Raucher sinkt die Varianzaufklärung erheblich ( $r^2 = 0,088$ ) und die Prädiktoren LNPBB, LNPBBCH, und D6WSEWR sind nicht mehr signifikant.

## 2.5.7 Diskussion

### 2.5.7.1 Bleigehalt im Blut

Bei Berücksichtigung aller zur Verfügung stehenden Variablen ist der Zusammenhang zwischen dem Bleigehalt im Blut und dem Bleigehalt im Haar am stärksten, wenngleich der dadurch aufgeklärte Varianzanteil mit etwa 5 % als nicht sehr hoch angesehen werden kann.

Auch in anderen Studien ergab sich im Bereich relativ geringer Haar- und Blutbleigehalte nur ein vergleichsweise schwacher Zusammenhang zwischen dem Bleigehalt im Blut und im Haar [Krause/Chutsch, 1987; Wibowo et al., 1986].

Da zudem die für die Vorhersage des Blutbleispiegels deutlichen Prädiktoren wie z. B. die Häufigkeit des Wein- und Biertrinkens, das Geschlecht und das Alter im Zusammenhang mit dem Bleigehalt im Haar keine Bedeutung haben, scheint der endogene Anteil des im Haar gemessenen Bleigehaltes gering zu sein.

Für Blut und Haar gelten sehr unterschiedliche physiologische Prinzipien. Der Einbau von Elementen in das Haar wird durch einen wesentlich längeren Zeitraum determiniert, als das beim Blut der Fall ist. Zwar sorgt die Blutversorgung der einzelnen Haarfollikeln und der direkte Anschluß an das interzelluläre Flüssigkeits-

system für eine "Sofortinformation", die aber, bedingt durch die relativ geringe Wachstumsgeschwindigkeit des Haares erst mit großer Verzögerung angezeigt wird bzw. sich erst bei anhaltender interner Bleibelastung als Erhöhung des Bleigehaltes im Haar abzubilden vermag [Bencze, 1987].

#### **2.5.7.2 Jahreszeit der Haarentnahme**

Durch die Jahreszeit der Haarentnahme können 3,6 % der Varianz des Bleigehaltes im Haar erklärt werden. Mit dem gefundenen Modell werden im Winter um 38 % niedrigere Werte als im Sommer geschätzt. Über diesen saisonalen Effekt wird auch in anderen Studien berichtet [Manuwald et al., 1991; Wilhelm et. al., 1989]. Die im Sommer längeren Aufenthaltszeiten im Freien dürften hierfür verantwortlich sein. Daraus ist zu schließen, daß der Bleigehalt der Außenluft den Bleigehalt des Haares im wesentlichen mitbestimmt.

Elektronenmikroskopische Haaruntersuchungen mit Röntgenanalysezusatz ergaben, daß Blei von außen in das Haar einwandert und selbst durch mehrfache Waschgänge mit Komplexbildnern nicht abgewaschen werden kann [Dresch/Fortmann, 1976].

#### **2.5.7.3 Staubbelastung im Beruf**

Durch die Staubbelastung im Beruf können 1,6 % der Varianz des Bleigehaltes im Haar erklärt werden. Personen, die angaben, am Arbeitsplatz einer deutlichen bis starken Staubbelastung ausgesetzt zu sein, wiesen gegenüber beruflich geringer Belasteten einen um 27 % höheren Bleigehalt im Haar auf.

Dies deckt sich mit zahlreichen anderen Untersuchungsergebnissen. So fanden z.B. Johnson et al. (1975) bei Verkehrspolizisten und Parkhausarbeitern, Boiteau et al. (1983) bei Handwerkern und Mechanikern und Foo et al. (1993) bei Arbeitern einer Batteriefabrik sehr viel höhere Werte als bei Kontrollgruppen. Die berufliche Bleiexposition der Eltern erwies sich bei einer Untersuchung von spanischen Schulkindern als signifikantester Einflußfaktor auf den Bleigehalt im Kinderhaar [Schuhmacher et al., 1991].

#### **2.5.7.4 Pension, Rente**

Durch die Variable "Pension, Rente" können 1,4 % der Varianz des Bleigehaltes im Haar erklärt werden. Der Einfluß der beruflichen Belastung zeigt sich auch dadurch, daß für Pensionäre und Rentner im Vergleich zur restlichen Allgemeinbevölkerung ein um 33 % niedriger Bleigehalt im Haar nachweisbar ist.

Mögliche Erklärungen sind, daß für Personen im Ruhestand der tägliche Weg zur Arbeit mit den damit verbundenen Kfz-bedingten Bleiemissionen sowie berufsbedingte Belastungen entfallen.

#### **2.5.7.5 Bleiniederschlag im Haushalt**

Durch den Bleiniederschlag im Haushalt können 2,1 % der Varianz des Bleigehaltes im Haar erklärt werden. Die Bleigehalte in Haar und Hausstaubniederschlag können Ausdruck der regionalen Belastung sein. Darüber hinaus kann der Bleiniederschlag im Haushalt die potentielle Expositions-Möglichkeit im Haushalt widerspiegeln. Bei höherem Bleiniederschlag im Haushalt steigt der Bleigehalt im Haar etwas. Ein erkennbarer Zusammenhang des Bleigehaltes der Staubsaugerbeutelprobe mit dem Haarbleigehalt - wie er

beispielsweise in einer länger zurückliegenden Untersuchung für deutlich stärker bleibelastete Haushalte innerhalb der Großstadt New York nachweisbar war [Creason et al., 1975] - ergibt sich hier nicht.

#### 2.5.7.6 Regionale Effekte

Durch den Anteil von Beschäftigten in den Bereichen Energie, Wasser, Bergbau können 0,7 % der Varianz des Bleigehaltes im Haar erklärt werden. Für Personen aus Regionen mit einem überdurchschnittlichen Beschäftigten-Anteil in den Bereichen Energie, Wasser, Bergbau ist Blei im Haar stärker konzentriert, als dies für Personen aus Regionen mit weniger großen Anteilen der Fall ist. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Erhebungspunkte in nur 39 der 75 Raumordnungsregionen der Bundesrepublik Deutschland liegen.

Dieser Zusammenhang erscheint plausibel, da Kohlefeuerungsanlagen, Metallhütten etc. bedeutsame Blei-Emittenten darstellen.

In einer Untersuchung an Kindern in der spanischen Provinz Tarragona war der durchschnittliche Bleigehalt im Haar für die Industrieregion im Vergleich zur landwirtschaftlichen Region ebenfalls höher, wenngleich dieser Unterschied nicht statistisch signifikant war [Schuhmacher et al., 1991].

In einigen Untersuchungen ließen sich aktuelle regionale Einflüsse auf den Bleigehalt in Haaren feststellen. Dadurch, daß der Hausstaubniederschlag zumindest teilweise durch die Immissionssituation der Wohngegend beeinflusst ist, sollen diese Befunde an dieser Stelle angeführt werden. Ein Einfluß der städtischen Wohnumgebung wurde z.B. für Kinderhaare nachgewiesen [Faris et al., 1991; Manuwald et al., 1991; Wilhelm et al., 1989].

#### 2.5.8 Weitere Informationen

##### **Geschlecht:**

Die geometrischen Mittelwerte des Bleigehaltes im Haar bei Männern und Frauen betragen 1,60  $\mu\text{g/g}$  bzw. 1,21  $\mu\text{g/g}$  und sind im t-Test signifikant voneinander verschieden. Die Variable SEX (Geschlecht) ist dennoch nicht signifikant im Modell, da die Geschlechtsdifferenz durch andere Variable des Modells, insbesondere die Variable zur beruflichen Staubbelastung, begründet ist.

In der Literatur stellt sich ein Geschlechtseffekt des Bleigehaltes im Haar wie folgt dar:

Bei Unterstichproben des US-"National Health and Nutrition Examination Survey II" (NHANES II, 1976-1980) zeigte sich bei der erwachsenen amerikanischen Allgemeinbevölkerung, daß Männer tendenziell höhere Bleigehalte im Kopfhaar aufweisen [DiPietro et al., 1989]. Dies gilt auch für die erwachsene Allgemeinbevölkerung aus zwei französischen Regionen [Boiteau et al., 1983]. Nach Gordon (1985) sind bei insgesamt 17.380 untersuchten Engländern die Männerhaare signifikant bleihaltiger als die Frauenhaare, und zwar für alle Altersklassen.

Im Rahmen einer großen japanischen Studie zur Schaffung von Normalwerten für die Allgemeinbevölkerung waren keine Geschlechtsunterschiede nachweisbar [Kamakura, 1983]. Dies gilt auch für eine griechische Studie an Landarbeitern [Leotsinidis/Kondakis, 1990]

Für unter standardisierten Bedingungen gesammelte und analysierte Haarproben aus vier vorstädtischen Universitätsgemeinschaften in England, Deutschland, Saudi Arabien und Sudan wurden die Cadmium- und Bleigehalte bestimmt. Dabei ergaben sich ebenfalls keine signifikanten Geschlechtsunterschiede [Ahmed/Elmburak, 1990].

Bei der Untersuchung von Kinderhaaren werden z.T. in den Haaren von Mädchen höhere Bleigehalte als bei den Jungen nachgewiesen [Prucha, 1987; Schuhmacher et al., 1991; Wibowo et al., 1986]. Einige Autoren können keinen Einfluß des Geschlechtes nachweisen [Manuwald et al., 1991; Wilhelm et al., 1987]. Teilweise werden gerade für Jungen die höheren Gehalte beschrieben [Wilhelm et al., 1989].

#### **Rauchen:**

Ein Effekt des Rauchens konnte in der Gesamtstichprobe nicht nachgewiesen werden. Lediglich für Frauen, die niemals geraucht haben, kann gegenüber anderen Frauen ein um 23,1 % niedrigerer Bleigehalt im Haar geschätzt werden (vgl. 2.5.5).

In anderen Studien ist ein Effekt des Rauchverhaltens ebenfalls nicht nachweisbar [Ahmed/Elmburak, 1990; Boiteau et al., 1983; Takagi et al., 1986; Wilhelm et al., 1990]. Lediglich in einer Untersuchung von Creason et al. (1975) wird berichtet, daß Raucher höhere Bleigehalte im Haar aufwiesen als Nichtraucher.

#### **Alter:**

Ein Einfluß des Lebensalters konnte in dieser Studie nicht nachgewiesen werden. Dies steht in Übereinstimmung mit Studien an berufsmäßig bleibelasteten Männern [Grandjean, 1978], brasilianischen Fischern in der Umgebung einer Blei-Schmelze [Carvalho et al., 1984], der französischen Allgemeinbevölkerung [Boiteau et al., 1983] und umfangreichen Populationsstichproben der männlichen Einwohner verschiedener Gebiete der ehemaligen DDR [Lüderitz et al., 1985]. Für die Unterstichprobe der amerikanischen Studie NHANES II, die auf ihren Bleigehalt der Haare hin untersucht wurde, wird das Alter als signifikanter Prädiktor erwähnt, über die Richtung des Zusammenhanges werden jedoch keine Aussagen gemacht [Paschal et al., 1989].

#### **Trinkwasser:**

Der Zusammenhang zwischen Bleigehalt im Haar und Bleigehalt in den beiden Trinkwasserproben wurde ebenfalls überprüft, da ein solcher u.a. durch das Waschen und Spülen der Haare mit Leitungswasser möglich erscheint. Diese Hypothese konnte in der Stichprobe nicht bestätigt werden.

#### **Alkohol:**

Im Gegensatz zum Bleigehalt im Blut war ein Einfluß des Alkohols auf die Blei-Haarkonzentration nicht zu erkennen.

### **Alter der Möbel**

Bei der Modellbildung für den Bleigehalt im Haar trat immer wieder das Alter der Möbel (W68) als Prädiktor auf ( $p = 0,0000$ ). Danach würde ein um ca. 31 % niedrigerer Bleigehalt im Haar bei überwiegend älteren Möbeln (vor 1980) vorhergesagt. Da dieser Zusammenhang nicht interpretiert werden konnte bzw. nicht zu erkennen war, wofür diese Variable als Indikator steht, wurde sie nicht in das Modell aufgenommen. Der Beitrag von W68 zur Varianzaufklärung beträgt ca. 1,5 %.

### **Beschäftigung in der Nahrungsmittelindustrie**

In der Unterstichprobe der Männer konnten niedrigere Bleigehalte im Haar für Beschäftigte in der Nahrungsmittelindustrie gegenüber in anderen Branchen Beschäftigten gefunden werden. Ein entsprechender Effekt ist nachweisbar ( $p = 0,014$ ) und könnte mit entsprechenden hygienischen Anforderungen wie z.B. Tragen von Kopfbedeckung und damit niedrigerer exogener Belastung begründbar sein. Wegen des geringen Beitrags zur Varianzaufklärung (+ 0,7 %) wurde diese Variable nicht in das Modell aufgenommen.

## 2.6 Blei im Inhalt des Staubsaugerbeutels

Bei der Modellbildung wurden ca. 750 Variablen (Fragebogenangaben, klinisch-chemische Parameter usw., vgl. auch Kap. 1.7) geprüft. Alle nicht im Modell enthaltenen bzw. im Folgenden nicht explizit genannten Variablen haben keinen nennenswerten Beitrag zur Erklärung der Varianz des Logarithmus des Bleigehaltes im Inhalt des Staubsaugerbeutels geleistet.

Der Bleigehalt der aus dem Inhalt der Staubsaugerbeutel gezogenen Proben ist, soweit er statistisch aufgeklärt werden kann, in hohem Maße durch regionale Faktoren bestimmt. Da die verfügbaren regionalen Variablen deutlich korreliert sind, war es schwierig, eine eindeutige und stabile Lösung zu finden. Es wurde zunächst eine Lösung mit sieben Prädiktoren und einer Varianzaufklärung von 13 % gefunden. Diese erwies sich bei einer Kreuzvalidierung (mit Stichprobenteilung nach Regionen) allerdings als sehr instabil. Die Ursachen liegen in den zum Teil erheblichen Korrelationen zwischen den regionalen Variablen, aber auch darin, daß die verfügbaren regionalen Variablen die eigentlichen Ursachen der Variabilität der Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel nur unvollkommen erklären können.

Aus diesen Gründen wurden zunächst die Variablen zum Beruf, zur Wohnung (Nutzung, Ausstattung usw.), zum Heizen und zum Rauchen untersucht. Es ergaben sich eine Reihe von Hinweisen auf Zusammenhänge, die meist nicht stabil waren. Anschließend wurden regionale Variablen sowie die Ortsvariablen intensiv untersucht. Es erwies sich als nicht sinnvoll, mehr als eine dieser Variablen in das Modell aufzunehmen. Insgesamt konnte so nur eine geringe Varianzaufklärung für die Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel gefunden werden.

### 2.6.1 Modell für Logarithmus der Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel

Für das logarithmierte Kriterium LNPBBT ergibt sich bei 2571 Fällen eine Varianzaufklärung von 3,7 % ( $R^2 = 0,037$  bei 2 und 2568 Freiheitsgraden,  $p = 0,0000$ ). Das Vorhersagemodell enthält die nachstehenden zwei Prädiktoren:

1. BODEN2 (auch) textiler Bodenbelag in der Wohnung [textile Auslegware, Teppiche usw. angegeben gegenüber ausschließlich glattem Bodenbelag]
2. TRANFFLR Anteil Verkehrsflächen in der Region [%; bezogen auf Gesamtfläche der Region, Stand: Ende 1984]

Dabei könnten an Stelle der Variablen TRANFFLR eine Reihe weiterer regionaler Variablen stehen (s.o.).

Tabelle 2.6.1 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der beteiligten Variablen, Tabelle 2.6.2 ihre Interkorrelationen und Tabelle 2.6.3 die Kenngrößen des Vorhersagemodells.

Tab. 2.6.1: Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (s) der Variablen

	AM	s	
LNPBBT	3,243	1,384	
BODEN2	,814	,389	
TRANFFLR	6,131	2,987	Anzahl der Fälle = 2571

Tab. 2.6.2: Interkorrelationen der Variablen

	NPBBT	BODEN2	TRANFFLR
LNPBBT	,0000	-,0963	,1612
BODEN2		1,0000	,0512
TRANFFLR			1,0000

Tab. 2.6.3: Modellkennwerte für die Logarithmen des Bleis im Staubbeutel

		Varianzanalyse						
Multipl. R	,19115							
R <sup>2</sup>	,03654		FG	Quadratsumme	mittl. Quadrat			
Korrigiertes R <sup>2</sup>	,03579	Regression	2	179,91952	89,95976			
Standardfehler	1,35912	Residuen	2568	4744,05274	1,84737			
		F =	48,69606	Signif F =	,0000			
Variable	B	SE B	95 % Confdnce Intrvl B	Beta	Correl	Partial	T	Sig T
BODEN2	-,365556	,068900	-,068900 - ,230450	-,102847	-,096306	-,104128	-5,306	,0000
TRANFFLR	,076573	,008982	,008982 ,094187	,165249	,161178	,165891	8,525	,0000
(Constant)	3,070901	,081547	,081547 3,230805				37,658	,0000

## 2.6.2 Varianzkomponenten

Die nachstehende Tabelle 2.6.4 enthält die Produkte  $\beta \cdot r$  und die Änderungen der Varianzaufklärung  $\delta R^2$  für die einzelnen Prädiktoren. Die Änderungen in der Varianzaufklärung gelten auch hier nur für die Prädiktor-Reihenfolge der Tabelle 2.6.4.

In dieser Reihenfolge sind beide Änderungen der quadrierten multiplen Korrelation mit  $p = 0,000$  signifikant.

Tab. 2.6.4: Varianzkomponenten der Prädiktoren für die Vorhersage der Logarithmen des Bleis im Staubsaugerbeutel

	$\beta \cdot r$	$\delta r^2$
BODEN2	,010	,010
TRANFFLR	,027	,027
Summe:	,037	,037

Aus Tabelle 2.6.4 ist zu erkennen, daß 2,7 % von den insgesamt 3,7 % aufgeklärter Varianz auf den regionalen Prädiktor TRANFFLR zurückzuführen sind. Als einzigen haushaltsbezogenen Prädiktor enthält das Modell die Art des Bodenbelages. Damit wird 1 % der Varianz erklärt.

### 2.6.3 Transformiertes Modell für Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel

Die aus Tabelle 2.6.3 ableitbare Regressionsgleichung gilt für die Logarithmen des Bleis im Staubbeutel. Für die nicht logarithmierten Bleiwerte ergibt sich durch entsprechende Umformung folgende Modellgleichung:

Blei im Staubbeutel

= 21,561  $\mu\text{g/g}$

$\cdot 0,6938^{\text{BODEN}^2}$

(auch) textiler Bodenbelag in der Wohnung = 1, sonst = 0

$\cdot 1,0796^{\text{TRANFFLR}}$

Verkehrsflächen in der Region Ende 1984 in % bezogen auf die Gesamtfläche

Die Bleikonzentration im Staubbeutel ist also bei textilem Bodenbelag in der Wohnung gegenüber allen anderen Bodenbelägen um 30,4 % niedriger.

Der Anteil der Verkehrsflächen in der Region schwankt zwischen den Regionen von etwa 4 % bis zu etwa 17 %. Für einen um 1 % höheren Anteil an Verkehrsflächen wird nach dem Modell eine um 8 % höhere Bleikonzentration im Staubbeutel vorhergesagt.

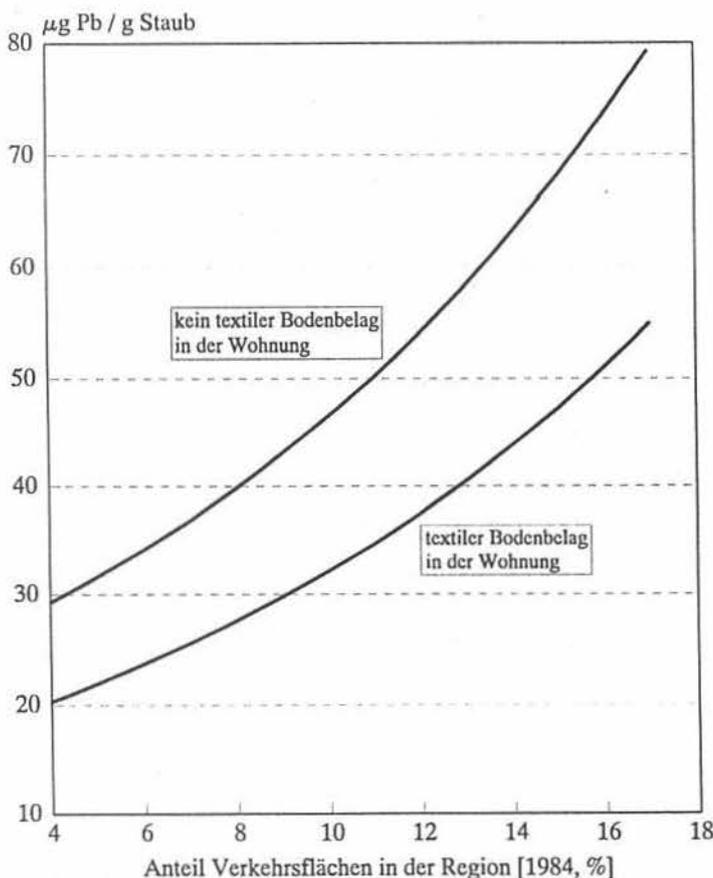


Abb. 2.6.1: Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel nach Art des Bodenbelages und dem Anteil der Verkehrsflächen in der Region

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

## 2.6.4 Stabilitätsprüfungen

### 2.6.4.1 Kreuzvalidierung

Wird die Gesamtstichprobe nach einem Zufallskriterium in zwei Unterstichproben geteilt, so ergeben sich quadrierte multiple Korrelationen von  $R_1^2 = 0,035$  und  $R_2^2 = 0,038$  in den beiden Teilstichproben 1 und 2. Die Prädiktoren sind in beiden Modellen signifikant. Die zurückgerechneten Varianzanteile durch Einsetzen der Teilstichproben in die Modellgleichung der jeweils anderen Teilstichprobe betragen  $R_{2/1}^2 = 0,035$  und  $R_{1/2}^2 = 0,038$ . Der Verlust an Varianzaufklärung ist jeweils kleiner als 0,1.

### 2.6.4.2 Stabilität nach Regionen

Bei Stichprobenteilung nach Regionen betragen die entsprechenden Werte für die Teilstichproben der Regionen mit ungeraden und geraden Nummern  $R_u^2 = 0,047$  und  $R_g^2 = 0,036$ , bzw.  $R_{u/g}^2 = 0,038$  und  $R_{g/u}^2 = 0,027$  für die zurückgerechneten Varianzanteile. Die Standardpartialregressionskoeffizienten beider Prädiktoren bleiben ebenfalls in beiden Teilstichproben signifikant. Die Verluste an Varianzaufklärung betragen jeweils 0,9 %.

## 2.6.5 Diskussion

### 2.6.5.1 Art des Bodenbelages

Durch die Art des Bodenbelages kann 1 % der Varianz der Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel erklärt werden. Solomon und Hartford (1976) fanden im Hausstaub von Böden ohne Teppich etwa doppelt so hohe Bleikonzentrationen wie im Hausstaub von Böden mit textilen Belägen.

In einer anderen amerikanischen Untersuchung konnten Roberts et al. (1990) nachweisen, daß die Bleibelastung (in  $\mu\text{g Pb}/\text{m}^2$ ) von Teppichen durchschnittlich etwa zehnmal niedriger ist, wenn in den Haushalten die Straßenschuhe beim Betreten der Wohnung ausgezogen werden. Über das Tragen von Straßenschuhen in der Wohnung gibt es in der hier vorliegenden Studie leider keine Angaben. Wenn man aber unterstellt, daß Straßenschuhe eher in Wohnungen ohne Teppiche getragen werden, so könnte dies die Erklärung liefern, warum die Bleikonzentration im Staubbeutel bei textilem Bodenbelag gegenüber allen anderen Bodenbelägen niedriger ist. Möglich ist auch, daß die Bleikonzentration im Staubbeutel bei textilen Bodenbelägen deshalb niedriger ist, weil ein höherer Anteil textiler Fasersubstanz im Beutel vorhanden ist.

### 2.6.5.2 Anteil Verkehrsflächen in der Region

Durch den Anteil der Verkehrsflächen in der Region können 2,7 % der Varianz der Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel erklärt werden. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Erhebungspunkte in nur 39 der 75 Raumordnungsregionen der Bundesrepublik Deutschland liegen. Der Anteil Verkehrsflächen in der Region ist diejenige Variable, die den regionalen Effekt am besten beschreibt. Ein größerer Anteil von Verkehrsflächen ist vor allem in dichter besiedelten Regionen und Städten anzutreffen. Vor allem verursacht durch die Emissionen des Kfz-Verkehrs ist die Bleibelastung über den Schwebstaub, den Staubniederschlag und den Boden und damit auch der Eintrag von Blei in die häusliche Wohnumgebung in städtischen

Räumen höher. Bei nicht vorhandenen Bleiquellen in der Wohnung (z.B. Farbanstriche) geschieht der hauptsächliche Eintrag von Blei somit über diesen Pfad. Verschiedene Autoren konnten Abhängigkeiten des Bleigehaltes im Hausstaub (Staubsaugerbeutel oder Bodenstaub) von Größen wie Art der Straße, Entfernung zur Straße aber auch dem Bleigehalt im Boden oder dem Straßenstaub in der Nähe des Hauses finden [Culbard et al., 1988; Diemel et al., 1981; Fergusson/Kim, 1991; Hunt et al., 1993; Jensen, 1992; Kim/Fergusson, 1993; Thornton, 1988].

### **2.6.6 Weitere Informationen**

Es gibt eine Reihe von Hinweisen auf Zusammenhänge mit weiteren Variablen, die aber deshalb nicht in das Modell aufgenommen wurden, weil sie zur Instabilität des Modells bei der Kreuzvalidierung führten. Die Ursachen sind vor allem in signifikanten Korrelationen unterschiedlichen Grades zu den zwei Prädiktoren des Modells zu suchen. Dennoch seien an dieser Stelle einige dieser potentiellen Prädiktoren genannt.

#### **2.6.6.1 Alter des Wohnhauses**

Bei Aufnahme in das Modell hat die Variable IHAUSALT einen positiven Zusammenhang mit dem Kriterium, d.h. je älter das zur Zeit bewohnte Haus ist, desto größer ist die Bleikonzentration im Staubbeutel. Das Alter des Wohnhauses korreliert mit beiden Prädiktoren des Modells negativ, d.h. ältere Häuser finden sich bevorzugt in Regionen mit geringerem Anteil von Freiflächen und haben vergleichsweise weniger textile Bodenbeläge.

#### **2.6.6.2 Gemeindegrößenklasse**

Wird die Variable DGKLA (Gemeinden mit weniger als 5000 Einwohnern) als zusätzlicher Prädiktor in das Vorhersagemodell für die Bleikonzentration im Staubsaugerbeutel aufgenommen, so ergibt sich ein positiver Zusammenhang ("kleine Gemeinden" → höhere Bleikonzentration im Staubbeutel). Bei Kreuzvalidierung ist dieses Modell nicht stabil. Die Variable DGKLA korreliert mit den beiden anderen Prädiktoren (u.a. weniger textile Bodenbeläge in "kleinen Gemeinden"). Daher erweist es sich als schwierig, den Zusammenhang zwischen Gemeindegröße und Bleikonzentration im Staubbeutel zu interpretieren.

#### **2.6.6.3 Wohnungsvolumen pro Person**

Nimmt man die Variable BELEG2 (Wohnungsvolumen pro Person) zusätzlich in das Modell auf, so wird mit steigendem Wohnungsvolumen pro Person eine höhere Bleikonzentration im Staubbeutel geschätzt.

#### **2.6.6.4 Brennstoffe**

Bei Aufnahme der Variablen A8513 (Heizen mit Holz und Kohle) wird bei Vorhandensein dieser Brennstoffe eine höhere Bleikonzentration im Staubbeutel vorhergesagt. Die Variable A8513 korreliert mit BODEN2 negativ, aber auch mit dem Alter des Wohnhauses sowie verschiedenen regionalen Variablen.

#### **2.6.6.5 Zeitdauer seit letzter Staubbeutelreinigung**

Würde diese Variable in das Modell aufgenommen, so würde mit steigender Zeitdauer seit letzter Staubbeutelreinigung eine höhere Bleikonzentration im Staubbeutel geschätzt.

Berücksichtigt man, daß aus dem Staubsaugerbeutel eine "Mischprobe" von 0,5 g von verschiedenen Stellen des Beutels entnommen wurde, nicht jedoch aus dem unmittelbaren Rand- und Bodenbereich des Beutels, so folgt, daß bei einem frisch eingesetzten Staubsaugerbeutel diese Vorschrift natürlich schwierig einzuhalten war, was sich wiederum auf die Zusammensetzung der Probe ausgewirkt haben könnte.

Außerdem ist es möglich, daß die Filterwirkung des Beutels mit zunehmender Füllung immer feiner wird, so daß feine Partikel in zunehmendem Maße zurückgehalten werden. Es wäre dann zu erwarten, daß mit zunehmender Benutzungsdauer des Beutels der eigentliche Staubanteil der Füllung gegenüber grobem Material wie Teppichfasern, Haaren, Papier- und Essensresten relativ ansteigt und sich dadurch auch der Bleigehalt der Probe erhöhen kann. Damit kann also die Zusammensetzung der Probe vom Leerungsdatum des Beutels bzw. seinem Füllgrad abhängen.

Der Zusammenhang mit der Zeitdauer seit der letzten Staubbeutelreinigung war auch für Cadmium [Schwarz et al., 1993] festzustellen.

#### 2.6.6.6 Weitere regionale Variable

Es gibt eine Reihe von regionalen Variablen, die den Prädiktor TRANFFLR im statistischen Sinne etwa gleichwertig ersetzen könnten. Einige davon seien im folgenden genannt:

Ein positiver Zusammenhang mit der Bleikonzentration im Staubbeutel bei Aufnahme in das Modell an Stelle von TRANFFLR wird gefunden bei

- TECHANR (Anteil Arbeitnehmer in technischen Berufen in der Region)
- SFFLR (Anteil Siedlungsfläche an der Gesamtfläche der Region)
- INOXEWR (industrielle NO<sub>x</sub>-Emission der Region in t/1000 Einwohner, 1980)
- BAUFFFR (Verhältnis bebaute Fläche zur Freifläche in der Region, 1984)
- AGGAGG (agglomerierter Raum)
- D1D1CHT (Verdichtungsräume)
- ALTIND (altindustrialisierte dichte Regionen)
- EWFLR (Bevölkerungsdichte)
- PKW85FLR (PKW-Dichte je ha in der Region 1985)

Ein negativer Zusammenhang mit der Bleikonzentration im Staubbeutel bei Aufnahme in das Modell an Stelle von TRANFFLR wird gefunden bei

- FFFLR (Anteil Freiflächen an der Gesamtfläche der Region)
- B100ANR (Anteil Arbeitnehmer in Betrieben mit weniger als 100 Arbeitnehmern in der Region, 1984)

#### 2.6.6.7 Renovierungsmaßnahmen in der Wohnung

Eine Frage des Fragebogens war, ob in den letzten zwei Monaten Renovierungsarbeiten in der Wohnung ergriffen wurden. Die entsprechende Variable zeigt keinen signifikanten Einfluß auf die Bleikonzentration im Staubbeutel.

## 2.7 Bleiniederschlag im Haushalt

Bei der Modellbildung wurden ca. 750 Variablen (Fragebogenangaben, klinisch-chemische Parameter usw., vgl. auch Kap. 1.7) geprüft. Alle nicht im Modell enthaltenen bzw. im Folgenden nicht explizit genannten Variablen haben keinen nennenswerten Beitrag zur Erklärung der Varianz des Logarithmus des Bleiniederschlags im Haushalt geleistet.

Sowohl die Staubbiederschlagsprobe als auch die Probe aus dem Staubsaugerbeutel sollten dazu dienen, die durch die Staubbelastung des Haushaltes entstehende Exposition der Bewohner abzuschätzen. Bereits in Abschnitt 2.3 wurde aber erkennbar, daß der Zusammenhang der Bleimessungen aus beiden Proben mit  $r = 0,12$  recht gering ist (vgl. Tab. 2.3.1). Da die Bleimenge im Staubbiederschlag auf die Becherfläche und die Aufstellzeit normiert ist, während Blei im Staubbeutel als Konzentration einer Probe gemessen worden ist, wurde ergänzend auch die Bleimenge im Staubbiederschlag auf eine Konzentration umgerechnet (als Quotient aus niedergeschlagener Menge Blei und der insgesamt niedergeschlagenen Menge Hausstaub). Auch hierbei zeigte sich aber kein deutlicher Zusammenhang zwischen den Blei-Messungen beider Probearten (vgl. Abschnitt 2.3). Beide Proben sind also offenbar ganz unterschiedlich determiniert.

Es gibt unterschiedliche Möglichkeiten, den Bleiniederschlag im Haushalt auszuwerten. Ein starker positiver Zusammenhang besteht zwischen der gesamten Hausstaubbiederschlagsmenge und dem Bleiniederschlag im Haushalt [Bernigau et al., 1993]. Um die Einflüsse auf die Gesamtstaubbiederschlagsmenge von denen auf die Bleikonzentration im Hausstaubbiederschlag zu trennen, wäre es sinnvoll, für diese Variablen zwei separate Modelle zu entwickeln.

Im Rahmen dieser Auswertung haben wir uns entschieden, die absolute Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub zu untersuchen. Die gesamte Hausstaubbiederschlagsmenge wurde dabei nicht als Prädiktor in das Modell aufgenommen, um nicht den Zusammenhang mit möglichen anderen Variablen zu überdecken. Würde die gesamte Hausstaubbiederschlagsmenge als Prädiktor in das Modell aufgenommen, so würde sich der Anteil an aufgeklärter Varianz erhöhen, wobei ca. die Hälfte davon auf die gesamte Hausstaubbiederschlagsmenge zurückgeht [Bernigau et al., 1993].

### 2.7.1 Modell für Logarithmus des Bleiniederschlags im Haushalt

Für das logarithmierte Kriterium LNPBBCH ergibt sich bei 2066 Fällen eine Varianzaufklärung von etwa 14 % ( $R^2 = 0,144$  bei 7 und 2058 Freiheitsgraden,  $p = 0,0000$ ). Das Vorhersagemodell enthält die nachstehenden sieben Prädiktoren:

1. D2ZIMM    Aufstellort des Staubbechers [Staubbecher stand in Küche, Wohnküche gegenüber anderen Zimmern]
2. HAUSALT    Alter des Wohnhauses [Jahre]
3. A82D        Heizungsart [Beheizung mittels Heizkörpern einer Zentralheizung / sonst]
4. BELEG        Wohnfläche pro Person [ $m^2$ ]
5. AD12        Etage der Wohnung
6. KIND14     Anzahl der Kinder zwischen 3 und 14 Jahren im Haushalt
7. EWFLG        Bevölkerungsdichte der Gemeinde [Einwohner / ha]

Tabelle 2.7.1 enthält die Mittelwerte und Standardabweichungen der beteiligten Variablen, Tabelle 2.7.2 ihre Interkorrelationen und Tabelle 2.7.3 die Kenngrößen des Vorhersagemodells.

Tab. 2.7.1: Mittelwerte (AM) und Standardabweichungen (s) der Variablen

	AM	s		AM	s
LNPBBCH	,876	,802	AD12N	,849	1,144
D2ZIMM	,201	,401	KIND14	,425	,763
HAUSALT	35,019	32,809	EWFLG	10,254	10,869
A82D	,708	,455			
BELEG	38,080	18,249			

Anzahl der Fälle = 2066

Tab. 2.7.2: Interkorrelationen der Variablen

	LNPBBCH	D2ZIMM	HAUSALT	A82D	BELEG	AD12	KIND14	EWFLG
LNPBBCH	1,0000	-,1582	,1648	-,1293	,0618	,2027	-,1553	,1444
D2ZIMM		1,0000	,1709	-,0657	,0763	-,0920	-,0674	-,0847
HAUSALT			1,0000	,0269	-,0738	,0676	-,2402	,0001
A82D				1,0000	-,3017	-,0374	,0359	-,0228
AD12N					1,0000	-,1066	,0864	-,0704
BELEG						1,0000	-,0110	,3117
KIND14							1,0000	-,0690
EWFLG								1,0000

Tab. 2.7.3: Modellkennwerte für die Logarithmen des Bleiniederschlags im Haushalt

Variable	B	SE B	95 % Confdnce Intrvl B	Beta	Correl	Partial	T	Sig T
D2ZIMM	-,378452	,041860	-,460545 - ,296360	-,189166	-,165834	-,195448	-9,041	,0000
HAUSALT	,003825	5,2346E-04	,002799 ,004852	,156394	,162819	,159032	7,308	,0000
A82D	-,220797	,037297	-,293941 - ,147653	-,125178	-,159207	-,129399	-5,920	,0000
BELEG	-,004808	9,4495E-04	-,006661 - ,002955	-,109343	-,134855	-,111467	-5,088	,0000
AD12	,052135	,015185	,022356 ,081914	,074353	,154898	,075467	3,433	,0006
KIND14	,098015	,022917	,053073 ,142958	,093143	,059686	,093863	4,277	,0000
EWFLG	,012242	,001615	,009075 ,015409	,165812	,216516	,164799	7,580	,0000
(Constant)	-,806243	,059246	-,922432 - ,690054				-13,608	,0000

Multiples R		,38011		Varianzanalyse			
R <sup>2</sup>	,14449	FG	7	Quadratsumme	192,13556	mittl. Quadrat	27,44794
Korrigiertes R <sup>2</sup>	,14145	Regression	7				
Standardfehler	,74350	Residuen	2058		1137,64824		,55279
F =		49,65318		Signif F =		,0000	

### 2.7.2 Varianzkomponenten

Die nachstehende Tabelle 2.7.4 enthält die Produkte  $\beta \cdot r$  und die Änderungen der Varianzaufklärung  $\delta R^2$  für die einzelnen Prädiktoren. Die Änderungen in der Varianzaufklärung gelten auch hier nur für die Prädiktor-Reihenfolge der Tabelle 2.7.4.

In dieser Reihenfolge sind die Änderungen der quadrierten multiplen Korrelation mit mindestens  $p = 0,000$  signifikant (außer für KIND14:  $p = 0,001$ ).

Tab. 2.7.4: Varianzkomponenten der Prädiktoren für die Vorhersage der Logarithmen des Bleiniederschlags im Haushalt

	$\beta \cdot r$	$\delta r^2$
D2ZIMM	,031	,027
HAUSALT	,025	,037
A82D	,020	,016
BELEG	,015	,021
AD12	,011	,014
KIND14	,006	,005
Wohnung gesamt:	,108	,120
EWFLG	,036	,024
Summe:	,144	,144

Mehr als drei Viertel der aufgeklärten Varianz, nämlich etwa 10 % der Gesamtvarianz, sind auf Merkmale der Wohnung (Nutzung, Lage, Heizung) zurückzuführen. Für etwa 3 % ist die Bevölkerungsdichte Indikator.

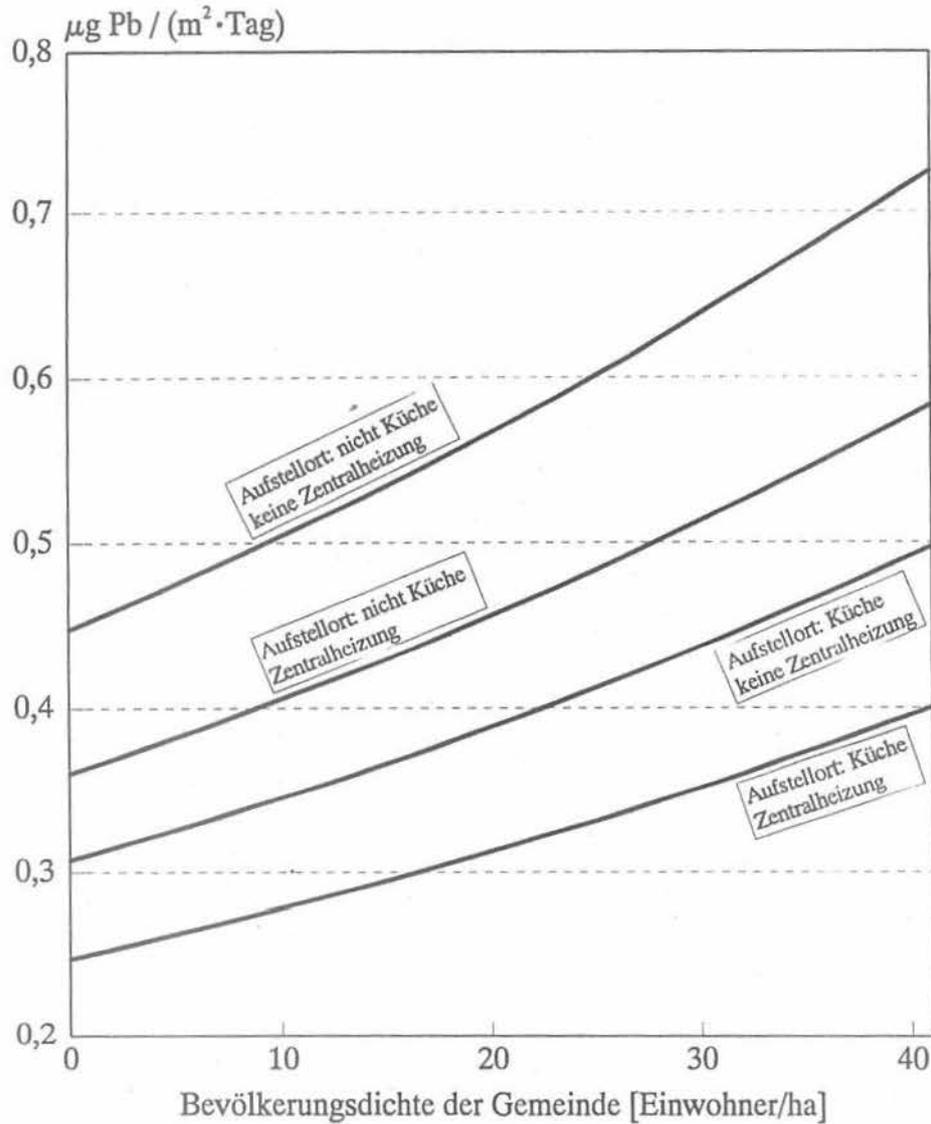
### 2.7.3 Transformiertes Modell für den Bleiniederschlag im Haushalt

Die aus Tabelle 2.7.3 ableitbare Regressionsgleichung gilt für die Logarithmen des Bleiniederschlags im Haushalt. Für die nicht logarithmierten Bleiwerte ergibt sich durch entsprechende Umformung folgende Modellgleichung:

Bleiniederschlag im Haushalt

$$= 0,4465 \mu\text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{Tag})$$

- 0,6849D2ZIMM Staubbecher stand in Küche, Wohnküche = 1, andere Räume = 0
- 1,0038HAUSALT Alter des Wohnhauses (Jahre)
- 0,8019A82D Beheizung über Heizkörper einer Zentralheizung 1, andere Art 0
- 0,9952BELEG Wohnfläche pro Haushaltsmitglied ( $\text{m}^2$ )
- 1,0535AD12 Etage der Wohnung (Erdgeschoß = 0, 1. Etage = 1 usw.)
- 1,1030KIND14 Anzahl der Kinder zwischen 3 und 14 Jahren im Haushalt
- 1,0123EWFLG Bevölkerungsdichte der Gemeinde (Einwohner/ha)



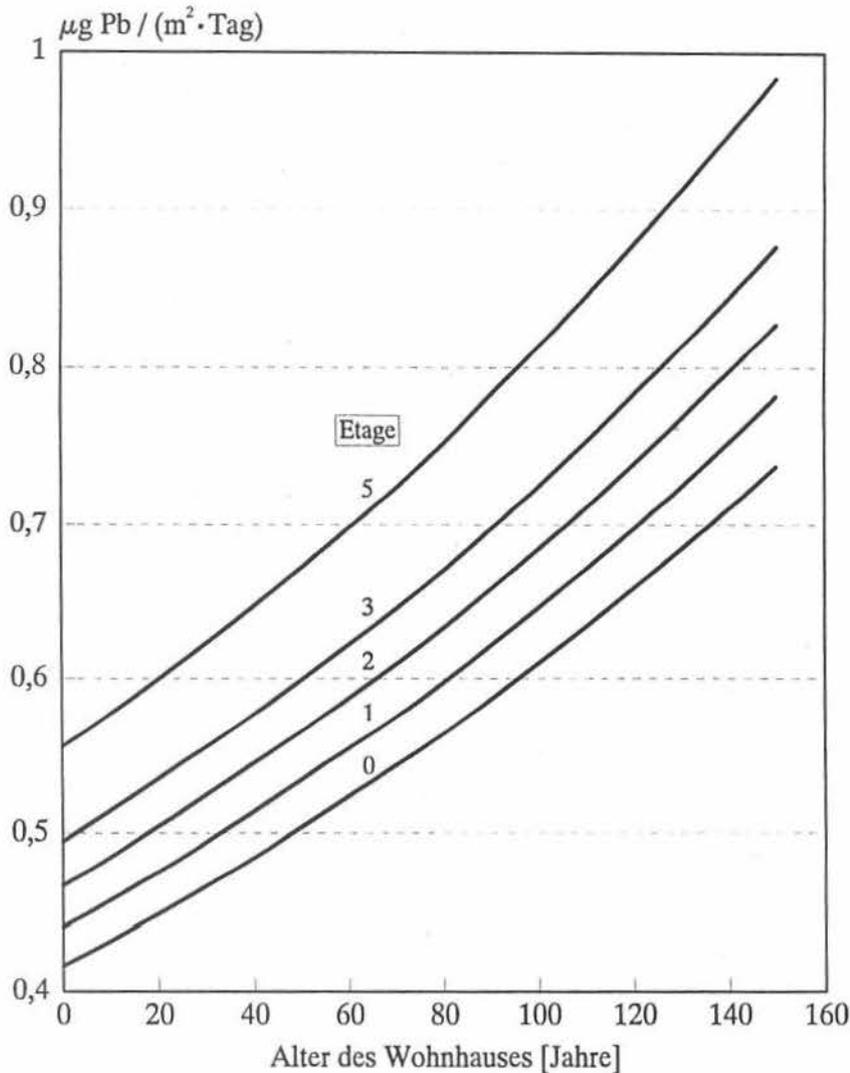
Vorhersage für: ein 35 Jahre altes Wohnhaus; die Wohnung befindet sich in der ersten Etage;  
38 m<sup>2</sup> Wohnfläche je Haushaltsmitglied; keine Kinder zwischen 3 und 14 Jahren im Haushalt.

Abb. 2.7.1: Bleiniederschlag im Haushalt nach Bevölkerungsdichte, Aufstellort des Staubbechers und der Art der Heizung

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Wenn der Staubbecher in der Küche/Wohnküche stand, so wird ein um 31,5 % niedrigerer Bleiniederschlag gegenüber Wohn- bzw. anderen Zimmern vorhergesagt (Abb. 2.7.1).

Für ein um 10 Jahre älteres Wohnhaus wird ein um 3,9 % erhöhter Bleiniederschlag geschätzt (Abb. 2.7.2).



Vorhersage für: Staubbecher stand nicht in Küche/Wohnküche; keine Zentralheizung;  
 38 m<sup>2</sup> Wohnfläche je Haushaltsmitglied; keine Kinder zwischen 3 und 14 Jahren im Haushalt;  
 Bevölkerungsdichte der Gemeinde: 10 Einwohner/ha.

Abb. 2.7.2: Bleiniederschlag im Haushalt nach Alter des Wohnhauses und Etage der Wohnung

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

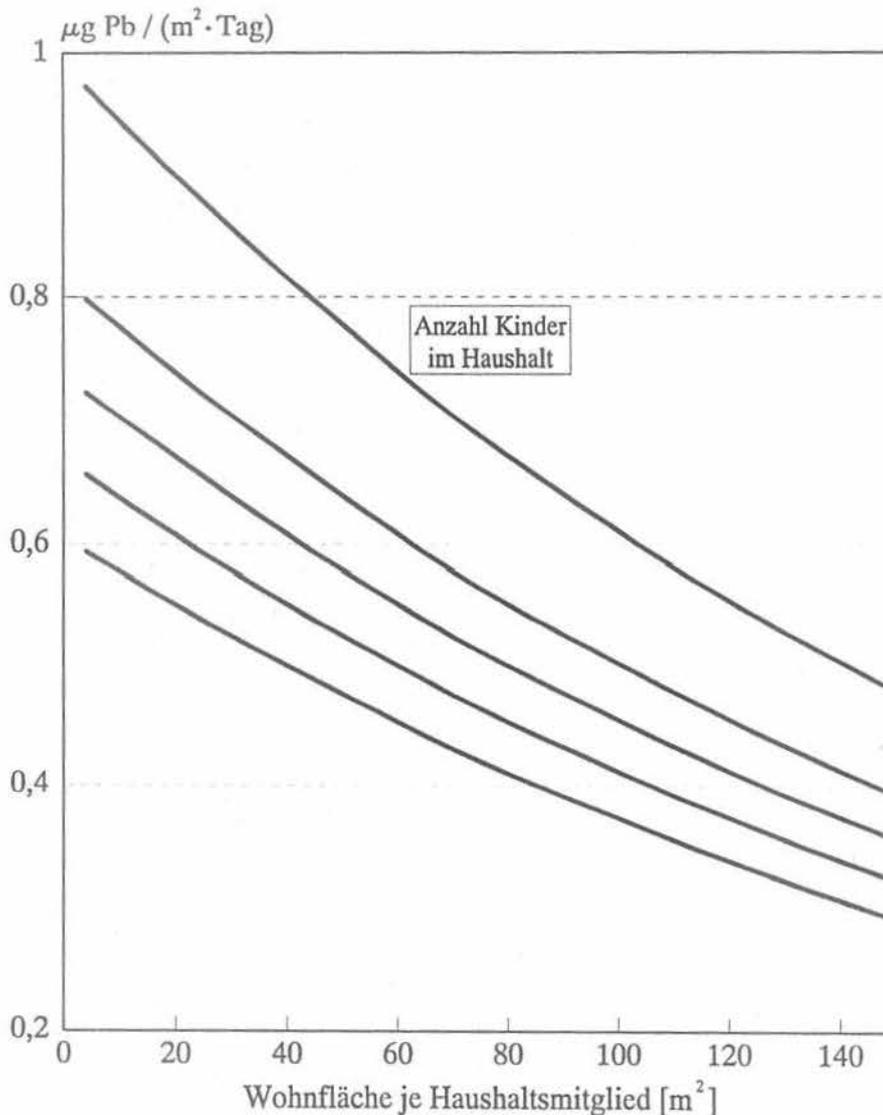
Erfolgt die Beheizung der Wohnung mittels Heizkörper einer Zentralheizung, so wird ein gegenüber einer anderen Art der Beheizung um ca. 20 % niedrigerer Bleigehalt geschätzt (Abb 2.7.1).

Je höher die Wohnung im Wohnhaus sich befindet, desto größer wird der Bleiniederschlag im Haushalt geschätzt, und zwar um 5,4 % je Etage (Abb. 2.7.2).

Die Wohnfläche je Haushaltsmitglied variiert in der Stichprobe zwischen 4 m<sup>2</sup> und 230 m<sup>2</sup> und liegt im Mittel bei 37,9 m<sup>2</sup>. Die nach dem Statistischen Jahrbuch der Bundesrepublik Deutschland für 1989 aus der Gesamtwohnfläche und der Bevölkerungszahl zwischen 25 und 69 Jahren berechenbare mittlere Wohnfläche je Einwohner der Bundesrepublik beträgt 32 m<sup>2</sup>. Beim Vergleich beider Mittelwerte ist zu

berücksichtigen, daß im Rahmen des Umwelt-Surveys nur Haushalte untersucht und betreffende Probanden befragt wurden, in denen mindestens eine 25- bis 69-jährige Person deutscher Staatsangehörigkeit lebt. Ein-Personen-Haushalte sind in der Stichprobe des Umwelt-Surveys unterrepräsentiert [siehe auch Krause et al., 1991a].

Für 10 m<sup>2</sup> Wohnfläche je Haushaltsmitglied mehr wird ein um 4,7 % niedrigerer Bleiniederschlag im Haushalt geschätzt (Abb. 2.7.3).



Vorhersage für: Staubbecher stand nicht in Küche/Wohnküche; ein 35 Jahre altes Wohnhaus; keine Zentralheizung; Wohnung befindet sich in der ersten Etage des Wohnhauses; Bevölkerungsdichte der Gemeinde: 10 Einwohner/ha.

Abb. 2.7.3: Bleiniederschlag im Haushalt nach Wohnfläche je Haushaltsmitglied und der Anzahl der Kinder zwischen 3 und 14 Jahren im Haushalt

Quelle: BGA, WaBoLu, Umwelt-Survey Bundesrepublik Deutschland 1985/86

Je Kind zwischen 3 und 14 Jahren erhöht sich der Bleigehalt um 10,3 %.

Bei einer um 10 Einwohner je ha höheren Bevölkerungsdichte in der Gemeinde wird ein um 13 % erhöhter Bleiniederschlag im Haushalt vorhergesagt (Abb. 2.7.3).

## 2.7.4 Stabilitätsprüfungen

### 2.7.4.1 Kreuzvalidierung

Wird die Gesamtstichprobe nach einem Zufallskriterium in zwei Unterstichproben geteilt, so ergeben sich quadrierte multiple Korrelationen von  $R_1^2 = 0,169$  und  $R_2^2 = 0,130$  in den beiden Teilstichproben 1 und 2. In Teilstichprobe 2 ist der Prädiktor BELEG nicht mehr signifikant. Die zurückgerechneten Varianzanteile durch Einsetzen der Teilstichprobe in die Modellgleichung der jeweils anderen Teilstichprobe betragen  $R_{1/2}^2 = 0,155$  und  $R_{2/1}^2 = 0,116$ . Der Verlust an Varianzaufklärung beträgt also jeweils etwa 1,4 %.

### 2.7.4.2 Stabilität nach Regionen

Bei einer Stichprobenteilung nach Regionen ergeben sich für die Teilstichproben der ungeradzahligen und der geradzahligen Regionen  $R_u^2 = 0,177$  und  $R_g^2 = 0,128$ . Alle Prädiktoren sind in den Teilstichproben ebenfalls signifikant. Als zurückgerechnete Varianzanteile ergeben sich  $R_{u/g}^2 = 0,167$  und  $R_{g/u}^2 = 0,119$ , also Aufklärungsverluste von jeweils etwa 1 %.

Die Stabilität des Regressionsmodells ist insgesamt gut.

## 2.7.5 Diskussion

### 2.7.5.1 Aufstellzimmer des Staubbeckers

Durch das Aufstellzimmer des Staubbeckers (Küche gegenüber anderen Räumen) können 3,1 % der Varianz der Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub erklärt werden. Etwa in 20 % der untersuchten Haushalte wurde gemäß der eingangs genannten Bedingungen (vgl. Kap. 2.7) als Aufstellzimmer des Hausstaubbeckers die (Wohn-)Küche gewählt. Für diese Haushalte ergab sich im Vergleich zu Haushalten, in denen der Becher in anderen Wohnräumen stand, eine um über 30 % niedrigere niedergeschlagene Bleimenge. Gleichzeitig wird aber für (Wohn-)Küchen in der gleichen Stichprobe eine um 37 % höhere Gesamtmenge niedergeschlagenen Hausstaubs geschätzt [Bernigau et al., 1993]. Das bedeutet, daß insbesondere die Bleikonzentration im sedimentierten Hausstaub in Küchen gegenüber anderen Wohnräumen wesentlich niedriger ist.

Was aber unterscheidet (Wohn-)Küchen von anderen Wohnräumen im Hinblick auf die Blei- bzw. Gesamtstaubniederschlagsrate des Haushalts?

Der Haupteintrag von Blei in die Wohnung erfolgt durch Kleidung und insbesondere Straßenschuhe [Aurand/Hoffmeister, 1980]. Möglicherweise ist der Bleieintrag in Küchen dadurch geringer, daß sie weniger mit Straßenschuhen betreten werden und die durchschnittliche Fensterfläche bezogen auf das Raumvolumen im Durchschnitt in Küchen geringer ist als in anderen Wohnräumen. Die letztere Tatsache ist

anhand der Daten des Umweltfragebogens belegbar. Weiterhin wäre denkbar, daß durch küchenspezifische Tätigkeiten die Staubbildung und Verwirbelung in Küchen (insbesondere Wohnküchen!) gegenüber anderen Wohnräumen höher ist.

#### 2.7.5.2 Alter des Wohnhauses

Durch das Alter des Wohnhauses können 2,5 % der Varianz der Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub erklärt werden. Über eine höhere Bleilast des Hausstaubs älterer Häuser gegenüber Häusern mit einer jüngeren Bausubstanz wird auch in anderen Studien - vorwiegend aus dem angelsächsischen Raum - berichtet und mit dem höheren Bleigehalt älterer Farben und Baumaterialien begründet [Davies et al., 1987; Fergusson/Schroeder, 1985; Thornton et al.; 1985].

In der Bundesrepublik Deutschland gilt seit dem 27. Mai 1980 für Innenräume ein Anwendungsverbot für Anstrichstoffe, deren Gehalt an leichtlöslichem Bleicarbonat oder Bleisulfat 2 %, berechnet auf Blei, übersteigt. Seit dem Inkrafttreten der Arbeitsstoffverordnung im Jahre 1980 müssen zudem Anstrichstoffe ab einem Gehalt von 1 % löslichem Blei als gesundheitsschädlich gekennzeichnet werden [Dube/Sonneborn, 1986]. Dies schließt nicht aus, daß auf dem Importwege nichtgekennzeichnete bleihaltige Produkte auf dem bundesrepublikanischen Heimwerkermarkt auftauchen.

Insgesamt läßt sich festhalten, daß im zeitlichen Verlauf die Anwendung bleihaltiger Farben in der Bundesrepublik Deutschland immer stärker eingedämmt wurde, so daß der Anstieg des Bleiniederschlags mit dem Alter des Hauses plausibel erscheint.

Eine weitere Ursache für den höheren Bleiniederschlag in älteren Häusern kann sein, daß diese sich oft in altindustrialisierten Gebieten befinden, in denen die Umweltbelastung höher als in anderen Gebieten ist.

Natürlich kann nicht ausgeschlossen werden, daß ältere Häuser weniger dicht schließende Türen und Fenster haben und so der Staubeintrag von außen höher ist, wie dies andere Autoren vermuten [Sayre/Katzel, 1979; Seifert/Drews, 1985].

#### 2.7.5.3 Heizungsart

Durch die Heizungsart können 2 % der Varianz der Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub erklärt werden. Wird die Wohnung mittels Heizkörpern einer Zentralheizung beheizt, so ist die Bleimenge im Staubbienerschlag um 20 % vermindert. Dies gilt sowohl im Vergleich zu Einzelöfen, die mit Holz und Kohle beheizt werden als auch in bezug auf andere Heizsysteme wie Fußbodenheizungen oder den Betrieb von Heizlüftern. Hier dürfte also weniger die Blei-Freisetzung aus der Kohleverbrennung eine Rolle spielen als die Staubaufwirbelung insgesamt. Es ist ein gewisser zusätzlicher Effekt bei Heizen mit Holz und Kohle in den Daten erkennbar. Dieser Effekt ist jedoch nicht stabil und deshalb nicht im Modell enthalten.

#### 2.7.5.4 Wohnungslage (Etage)

Durch die Etagenhöhe der Wohnung können 1,1 % der Varianz der Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub erklärt werden. Der Anstieg des Bleiniederschlags im Haushalt mit zunehmender Etagenhöhe kann nicht

zufriedenstellend interpretiert werden. Ein Eintrag von Blei in die Wohnung ist einerseits durch die Haushaltsmitglieder (Schuhe, Kleidung) und andererseits durch die Außenluft bei geöffneten Fenstern denkbar. Der gefundene Effekt könnte nur auf dem letzterem Wege erklärt werden. Dann müßte z.B. in den höheren Etagen mehr gelüftet werden. Dies läßt sich allerdings in den Daten nicht bestätigen, obwohl es eine Reihe von Korrelationen gibt, die auf eine häufigere Lüftung in den oberen Etagen hinweisen (z.B. höhere Zimmertemperaturen, Luftqualität wird schlechter beurteilt). Eine andere Erklärung wäre, daß Hochhäuser sich bevorzugt in Ballungsgebieten bzw. Stadtzentren befinden, wo eine höhere Belastung der Außenluft zu erwarten ist. Der Zusammenhang zwischen Geschoßlage der Wohnung und dem Bleiniederschlag im Haushalt ist wesentlich deutlicher als der zwischen der Art des Wohnhauses und dem Bleiniederschlag. Prüft man das Modell z.B. in den Untergruppen

- Wohnung befindet sich in Mehrfamilienhaus, Wohnblock oder Hochhaus,
- Wohnung befindet sich in einer Stadt mit mehr als 100 000 Einwohnern,
- Wohnung befindet sich in einer Gegend mit städtischer Besiedlung,
- Wohnung befindet sich in einer Wohngegend mit Blockbebauung ohne Grünanlagen und
- Wohnung befindet sich in einer Region mit großen Verdichtungsräumen,

so bleibt der Zusammenhang mit der Etagenhöhe jedoch stets stabil. Es ist sicher notwendig, weitere Überlegungen zu diesem Befund anzustellen bzw. den gefundenen Zusammenhang an anderem Datenmaterial zu überprüfen, da die statistische Sicherheit dieses Effektes im Modell am geringsten ist.

#### **2.7.5.5 Nutzungsintensität der Wohnung**

Durch die "Nutzungsintensität" der Wohnung können 2,1 % der Varianz der Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub erklärt werden.

Der Zusammenhang zwischen der Wohnfläche pro Haushaltsmitglied und der niedergeschlagenen Bleimenge kann in zweierlei Richtung interpretiert werden: Zum einen könnte der Staubeintrag pro Fläche um so höher sein, je höher auch die Zahl der Bewohner pro Fläche ist. Zum anderen könnte weniger der Staubeintrag als vielmehr die Staubaufwirbelung mit der Intensität der Wohnungsnutzung ansteigen.

Auch der Zusammenhang mit der Anzahl der in der Wohnung lebenden Kinder läßt sich unter diesen beiden Aspekten (Staubeintrag und Staubaufwirbelung) sehen. Ursächlich für den Einfluß der Kinderzahl neben der Belegungsdichte könnten andere Lebensgewohnheiten der Kinder sein. Möglicherweise ist durch eine größere Aktivität der Kinder sowohl der Staubeintrag in die Wohnung als auch die Staubaufwirbelung in der Wohnung höher als bei Erwachsenen.

#### **2.7.5.6 Bevölkerungsdichte der Gemeinde**

Durch die Bevölkerungsdichte der Gemeinde können 3,6 % der Varianz der Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub erklärt werden. Die Bevölkerungsdichte (EWFLG) könnte ein Indikator für die Belastung der Außenluft am Wohnort sein. Insbesondere korreliert die Variable EWFLG sehr hoch mit der PKW-Dichte (vgl. 2.4.4.10).

### 2.7.6 Weitere Informationen

Zusammenhänge mit weiteren Variablen deuten sich an, wurden aber nicht in das Modell aufgenommen, da sie entweder wenig zur Varianzaufklärung beitragen oder instabil sind. Wären diese Zusammenhänge valide, so ergäbe sich folgendes Bild:

- Wenn der Befragte Hunde im Haushalt hält (TIER02), dann würde ein höherer Bleigehalt im Staubbecher vorhergesagt.
- Wird die Luftqualität außen im Sommer als schlecht beurteilt (LUFTAS), so würde ein erhöhter Bleiniederschlag im Haushalt vorhergesagt.
- Ist das Zimmer, in dem der Staubbecher aufgestellt war, ein geräuscmäßig durch Straßenverkehr belasteter Raum, dann würde ein höherer Bleiniederschlag geschätzt.
- Bei Verwendung von Warmluftgeräten zur Heizung (D9HEIZ) würde ein niedrigerer Bleiniederschlag im Haushalt geschätzt.
- Bei Heizen mit Holz und Kohle (A8513) würde ein erhöhter Bleiniederschlag geschätzt.
- Bei überdurchschnittlichem Anteil an Arbeitnehmern in der Elektro- und Metallindustrie im Kreis (D8WSANK) würde ein niedrigerer Bleiniederschlag im Haushalt vorhergesagt (vgl. 2.4!).
- Bei hoher wirtschaftlicher Dynamik in der Region (D3DYNR) würde ebenfalls ein höherer Bleiniederschlag im Haushalt geschätzt.

Wie schon beim Staubbeutel (s. Kap. 2.6.6.8), konnte auch für den Bleiniederschlag im Haushalt kein Zusammenhang mit Renovierungsmaßnahmen in der Wohnung in den letzten zwei Monaten vor Aufstellung gefunden werden.



### 3. SCHLUSSFOLGERUNGEN

Im Rahmen des 1. Umwelt-Survey, der 1985/86 in der Bundesrepublik Deutschland durchgeführt wurde, konnte u.a. der Blutbleigehalt bei 2731 erwachsenen Personen ermittelt werden. Der geometrische Mittelwert sowie der Median betragen jeweils  $6,9 \mu\text{g Pb} / 100 \text{ ml Blut}$ . Bei einer Wiederholung des Umwelt-Surveys 1990/91 in den alten Bundesländern [Schulz et al., 1993] wurden ein geometrischer Mittelwert sowie ein Median von jeweils  $4,5 \mu\text{g Pb} / 100 \text{ ml Blut}$  gemessen. Die Mediane der Bleigehalte im Blut, die in den Jahren 1979 und 1981 in der Bundesrepublik Deutschland im Rahmen der EG-Blutbleikampagnen bei jeweils ca. 5000 Probanden ermittelt wurden, lagen noch bei 11 bzw.  $10 \mu\text{g Pb} / 100 \text{ ml Blut}$ . Diese Tendenz zu niedrigeren Blutbleispiegeln in Deutschland läßt sich vor allem auf die erfolgreiche Umsetzung gesetzlicher Maßnahmen zur Senkung des Bleigehaltes im Benzin zurückführen.

Trotz dieser durch das Benzinbleigesetz bedingten Erfolge wurden 1985/86 noch bei 2 % der Frauen zwischen 25 und 45 Jahren bzw. 3,4 % der übrigen Erwachsenen und 1990/91 noch bei 1,2 % bzw. 2 % Bleigehalte im Blut von  $\geq 15 \mu\text{g} / 100 \text{ ml}$  gemessen. Da es Hinweise dafür gibt, daß auch bei Blut-Bleiwerten unterhalb von  $15 \mu\text{g} / 100 \text{ ml}$  insbesondere für Kinder negative Auswirkungen auf das ZNS sowie auf andere Systeme (z.B. Vitamin-D-Stoffwechsel, Erythropoese) möglich sind und nach dem heutigen Erkenntnisstand die Ermittlung einer Schwellenkonzentration schwierig ist, sollte auch weiterhin die Senkung des Blutbleispiegels der Bevölkerung durch Verringerung der potentiellen Expositionsquellen das Ziel umweltpolitischer Maßnahmen sein.

Die Ergebnisse des Umwelt-Surveys 1985/86 stellen die aus Einzelstudien an ausgewählten Bevölkerungskollektiven abgeleiteten Erkenntnisse auf eine sichere Grundlage und verifizieren die folgenden Befunde repräsentativ für die deutsche Allgemeinbevölkerung:

- **Weitere Verringerung der Bleiemission von Kraftfahrzeugen**

Der Kraftfahrzeugverkehr stellte zum Zeitpunkt der Erhebung für die beruflich nicht bleibelastete Allgemeinbevölkerung noch immer eine wesentliche Expositionsquelle dar. Entsprechend finden sich in den Regressionsmodellen Indikatorvariablen der Verkehrsdichte, z.B. die Bevölkerungsdichte und der Anteil von Verkehrsflächen in der Region. Die mit der Umstellung auf Katalysatorbetrieb verbundene weitere Zunahme des Anteils von bleifreiem Benzin wird diese Belastungen weiter verringern.

- **Verringerung der beruflichen Exposition durch "saubere" Arbeitsplätze**

Studien bei beruflich Exponierten zeigen, daß die Belastung mit Schwermetallen am Arbeitsplatz eine bedeutende Expositionsquelle sein kann und Maßnahmen zur Verringerung dieser Belastung notwendig sind. In der vorliegenden Bevölkerungsquerschnittsstichprobe ist der Anteil beruflich stark schwermetall-exponierter Probanden erwartungsgemäß gering. Daher hat die Einflußgröße "berufliche Belastung" für die Allgemeinbevölkerung nach den Ergebnissen dieser Studie insgesamt eine geringe Bedeutung, ist aber dennoch nachweisbar.

- **Beseitigung noch vorhandener Bleirohrinstallationen für Trinkwasserleitungen**

Erhöhte Bleigehalte im Trinkwasser, verursacht z.B. durch Bleirohre oder bleihaltige Lote in Verbindung mit relativ niedrigen pH-Werten des Wassers, führen zu erhöhten Bleigehalten im Blut. Im Umwelt-Survey 1985/86 ist der Zusammenhang zwischen den Bleigehalten im Trinkwasser und im Blut signifikant. Durch die vergleichsweise geringen Bleigehalte im Trinkwasser (98,8 % der in der Stagnationsprobe gemessenen Werte liegen unter  $40 \mu\text{g} / \text{l}$ , dem Grenzwert der Trinkwasserverordnung von 1990) ist die Stärke dieses Einfluß auf den Blutbleispiegel relativ gering, dürfte jedoch bei höheren Bleigehalten im Trinkwasser entsprechend stärker ausgeprägt sein.

- **Verringerung der Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub durch Ersatz von Einzelöfen mit Holz-/Kohlefeuerung**

Die Bleiniederschlagsmenge im Hausstaub wird u.a. durch Heizsystem und Brennstoffe beeinflusst. Ziel umweltpolitischer Maßnahmen sollte auch aus diesem Grund die Verringerung des Anteils einzeln betriebener Öfen mit Holz-/Kohlefeuerung sein. Ursache für die in derartig beheizten Wohnungen gegenüber zentralbeheizten Wohnungen gemessenen höheren Bleiniederschlagsmengen könnten erhöhte Staub- sowie Bleiemissionen bei Verbrennung von Holz/Kohle sein.

Während diese Maßnahmen teilweise nur mit Hilfe von administrativen Regelungen möglich sind, können die folgenden individuellen Verhaltensweisen zum vorbeugenden Gesundheitsschutz beitragen:

- **Vermeidung des Tabakkonsums**

Neben anderen nachgewiesenen gesundheitsschädigenden Wirkungen des Rauchens trägt das Rauchen auch zu einer Erhöhung des Bleigehalts im Blut bei. Die Blei-Kontamination von Tabaken und die äußere Kontamination von Zigaretten (durch bleihaltigen Staub an den Händen) können Ursache für diesen Zusammenhang sein. Das Modell für den Bleigehalt im Blut enthält den Thiocyanatgehalt im Serum (u.a. Indikator des Rauchens), wobei mit höheren Thiocyanatgehalten im Serum höhere Blutbleigehalte assoziiert sind.

- **Vermeidung bzw. Einschränkung des Konsums von alkoholischen Getränken insbesondere von Wein, Sekt und Bier**

Der Konsum von Wein, Sekt und Bier trägt wie das Tabakrauchen auch zu einer Erhöhung des Bleigehaltes im Blut bei. Allerdings kann der Bleigehalt dieser alkoholischen Getränke nicht allein für den Anstieg des Blutbleispiegels ausschlaggebend sein. Bekannt ist, daß die gastrointestinale Absorptionsrate aus Getränken 5 bis 8 mal höher ist als die aus festen Nahrungsmitteln. Höchstwahrscheinlich erhöht Alkohol darüber hinaus die Resorption von Blei aus diesen Getränken.

Bei folgenden Fragestellungen sollte in Zukunft an die Ausarbeitung von Empfehlungen, Verminderungs- und Vermeidungsstrategien oder gar Regelungen gedacht werden, auch wenn diese Fragestellungen noch weiterer klärender Forschung bedürfen:

- *Warum haben Männer und Frauen unterschiedliche Bleigehalte im Blut?*

Die im Umwelt-Survey beobachtete Differenz zwischen den Bleigehalten im Blut von Männern und Frauen, die auch in anderen Studien gefunden wurde, kann nicht vollständig interpretiert werden.

- *Warum haben Personen, die häufiger Wein/Sekt sowie Bier trinken, einen höheren Blutbleispiegel?*

Die Ursachen für diesen Zusammenhang sind nicht völlig klar und werden in der Literatur zum Teil widersprüchlich diskutiert.

- *Ist die Bleikonzentration im Hausstaub bei Vorhandensein von textilen Bodenbelägen geringer?*

Im Inhalt des Staubsaugerbeutels wurde bei textilen Bodenbelägen eine niedrigere Bleikonzentration gefunden. Auch die Gesamtmenge an niedergeschlagenem Hausstaub ist bei Vorhandensein textiler Bodenbeläge geringer. Allerdings konnte für die Bleiniederschlagsmenge ein Zusammenhang mit der Art des Bodenbelags nicht gefunden werden.

- *Warum ist der Bleiniederschlag in älteren Wohnhäusern höher?*

Besteht ein Zusammenhang mit dem Anteil bleihaltiger Farben, oder gibt es andere Gründe dafür, daß das Alter eines Wohnhauses positiv mit dem Bleiniederschlag korreliert?



#### 4. LITERATUR

- Ahmed, A.F.M., Elmubarak, A.H.: Lead and Cadmium in Human Hair: A Comparison Among Four Countries. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 45 (1990) 139-148.
- Angerer, J., Schaller, K.H.: Blei, Analyse gefährlicher Substanzen in biologischen Materialien. Vol. 2, VCH-Verlagsgesellschaft, Weinheim 1988, 183-193.
- 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.
- Aurand, K., Hoffmeister, H. (Hrsg.): Ad hoc-Felduntersuchungen über die Schwermetallbelastung der Bevölkerung im Raum Oker im März 1980. BGA-Berichte 2/1980. Dietrich Reimer Verlag, Berlin, 1980.
- 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.
- Aurand, K., Sonneborn, M., Wagner, M.: Ergebnisse der ersten Teilstudie zur Ermittlung der Bleibelastung bei ausgewählten Bevölkerungsgruppen in der Umgebung einer Bleihütte (Bericht über eine Untersuchungsreihe 1972-1974). In: Blei und Umwelt II. Beiträge zum Problem der Bleibelastung des Menschen. BGA-Berichte 1/1978, Dietrich Reimer Verlag, Berlin, 1978.
- Baron, P., Schweinsberg, F.: Eine Literaturstudie über Konzentrationen von Arsen, Blei, Cadmium in Körperflüssigkeiten und Geweben. 4. Mitt.: Blei. *Zbl. Hyg.* 188 (1989) 195-239.
- Becher, H., Jahn, I., Jöckel, K.H.: Passivrauchen als Gesundheitsrisiko. Untersuchung über Schwerpunkte der Exposition. Informationsschrift des Ministers f. Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen, Busse Druck, Herford 1987.
- Beckmann, U., Schwarz, E.: Qualitätssicherung der medizinischen Daten des DHP-Surveys. *DHP-Forum*, 2, Bonn 1986, 7-16.
- Bencze, K.: Für die Validität der Haaranalyse. In: C. Krause, M. Chutsch (Hrsg.): Haaranalyse in Medizin und Umwelt. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Bd. 71, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1987, 119-134.
- Bernigau, W., Chutsch, M., Henke, M., Krause, C., Schulz, C., Schwarz, E.: Influence of the domestic environment on household dust components and their association with the pollutant burden of subjects. 6th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Helsinki, 4.-8. July 1993, Vol. 1, 657-662.
- Berode, M., Wietlisbach, V., Rickenbach, M., Guillemin, M.P.: Lifestyle and environmental factors as determinants of blood lead levels in a Swiss population. *Environ. Res.* 55 (1991) 1-17.
- BfLR (Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung, Hrsg.): Informationen zur Raumentwicklung. Heft 11/12, Bonn 1987.
- BfLR (Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung): BfLR-Mitteilungen Nr. 2, Bonn 1991.
- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Auswirkungen der Luftverunreinigungen auf die menschliche Gesundheit. Bericht des BMU für die Umweltministerkonferenz vom 8. Mai 1987.

- Boiteau, H.L., Stoklov, M., Remond, D., Buffet, H., Metayer, C., Vincent, F., Cornetau, H., Faure, J.: Taux de plomb, de cadmium et de mercure dans les cheveux des habitants des regions de Nantes et de Grenoble. *Toxicol. Eur. Res.* 5 (1983) 281-289.
- Bortz, J.: Statistik. 3. Auflage. Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1989.
- Bortz, J., Muchowski, E.: Analyse mehrdimensionaler Kontingenztafeln nach dem allgemeinen linearen Modell. *Z. Psychol.* 196 (1988) 83-100.
- Boscolo, P., Sabbioni, E., Di Giacomo, F., Sforza, G.R., Giaccio, G.: Preliminary study on trace elements reference values in blood and urine from inhabitants of Abruzzo (Central Italy). In: M. Anke, D. Meisner, C.F. Mills (eds.): Trace elements in man and animals. TEMA 8, 1993.
- Breslow, N.E., Day, N.E.: Statistical Methods in Cancer Research. International Agency for Research on Cancer, Lyon 1980.
- Carvalho, F., Tavares, T.M., Souza, S.P., Linhares, P.S.: Lead and Cadmium Concentrations in the Hair of Fishermen from the Subae River Basin. Brazil. *Environ. Res.* 33 (1984) 300-306.
- Chutsch, M., Krause, C.: Zusammenfassende Bewertung von Haaranalysen. In: Krause, C., Chutsch, M. (Hrsg.): Haaranalyse in Medizin und Umwelt. Schriftenreihe des Vereins für Wasser- Boden- und Lufthygiene, Bd. 71, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York 1987, 223.
- Ciba-Geigy AG (Hrsg): Wissenschaftliche Tabellen Geigy. 8. Auflage. Basel 1980.
- Cohen, J.: Statistical power analysis for the behavioral sciences. New York, Academic Press, 1977.
- Creason, J.P., Hinners, T.A., Bumgarner, J.P., Pinkerton, C.: Trace Elements in Hair, as Related to Exposure in Metropolitan New York. *Clin. Chem.* 21 (1975) 603-612.
- Culbard, E.B., Thornton, I., Watt, J., Wheatley, M., Moorcroft, S., Tompson, M.: Metal Contamination in British Urban Dusts and Soils. *J. Environ. Qual.* 17, 2 (1988) 226-234.
- Davies, D.J.A., Watt, J.M., Thornton, I.: Lead Levels in Birmingham Dusts and Soils. *Sci. Total Environ.* 67 (1987) 177-185.
- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltgutachten 1987. Kohlhammer-Verlag, Stuttgart und Mainz 1987.
- DeSilva, P.E.: Blood Lead Levels and the Haematokrit Correction. *Ann. Occup. Hyg.* 28 (1984) 417-428.
- Diemel, J.A.L., Brunekreef, B., Boleij, J.S.M., Biersteker, K., Veenstra, S.J.: The Arnhem Lead Study II. Indoor Pollution, and Indoor/Outdoor Relationships. *Environ. Research* 25 (1981) 449-456.
- DiPietro, E.S., Philips, D.L., Paschal, D.C., Neese, J.W.: Determination of Trace Elements in Human Hair. *Biol. Trace Elem. Res.* 22 (1989) 83-100.
- Drasch, G.A., Böhm, J., Baur, C.: Lead in Human Bones. Investigations on an Occupationally Non-Exposed Population in Southern Bavaria (F.R.G.). I. Adults. *Sci. Total Environ.* 64 (1987) 303-315.
- Dresch, W., Fortmann, K.-M.: Blei-Einschlüsse in menschlichem Haar. *Naturwissenschaften* 63 (1976) 436-437.
- Dube, R., Sonneborn, M.: Lacke und Farben. Zusammensetzung und Verwendung im Heimwerkerbereich. MvP-Hefte 3/1986, Max von Pettenkofer-Institut des Bundesgesundheitsamtes, Berlin 1986.
- Ducoffre, G., Claeys, F., Bruaux, P.: Lowering Time Trend of Blood Lead Levels in Belgium. *Environ. Research* 51 (1990) 25-34.

- Elinder, C.G., Friberg, I., Lind, B., Jawaid, M.: Lead and Cadmium Levels in Blood Samples from the General Population of Sweden. *Environ. Research* 30 (1983) 233-253.
- Elinder, C.G., Lind, B., Nilsson, B., Oskarsson, A.: Wine - An Important Source of Lead Exposure. *Food Addit. Contam.* 5 (1988) 641-644.
- Elwood, P.C.: The Sources of Lead in Blood: A Critical Review. *Sci. Total Environm.* 52 (1986) 1-23.
- Elwood, P.C., Gallacher, J.E.J., Phillips, K.M., Davies, B.E., Toothill, C.: Greater Contribution to Blood Lead from Water than from Air. *Nature* 310 (1984) 138-140.
- EPA, Environmental Protection Agency: Air Quality Criteria for Lead. U.S. EPA 600/8-83-028A, 1983.
- Eschnauer, H.: Spurenelemente und Ultra-Spurenelemente in Wein. *Naturwissenschaften* 73 (1986) 281-290.
- Ewers, U., Schlipkötter, H.-W.: Aufnahme, Verteilung und Ausscheidung von Metallen und Metallverbindungen. In: Merian, E. (Hrsg.): *Metalle in der Umwelt*. Verlag Chemie, Weinheim 1984.
- Ewers, U., Schlipkötter, H.-W.: Lead. In: Merian, E. (Ed.): *Metals and their Compounds in the Environment*. Verlag Chemie, Weinheim 1991, 971-1014.
- Ewers, U., Brockhaus, A., Dolgner, R., Freier, I., Turfeld, M., Engelke, R., Jermann, E.: Blutblei- und Blutcadmiumkonzentrationen bei 55-66jährigen Frauen aus verschiedenen Gebieten Nordrhein-Westfalens - Entwicklungstrends 1982-1988. *Zbl. Hyg.* 189 (1990) 405-418.
- Falbe, J., Regitz, M. (Hrsg.): *Römpp Chemie Lexikon*. 9. Auflage, Thieme Verlag, Stuttgart, New York 1989, 449.
- Faris, A., Kamal, A.-A.M. Kamal, Shoman, A.: Lead Related Behavioral and Psychological Performance Changes in Primary School Children from Industrial, Urban and Rural Areas in Egypt. *Wissenschaft und Umwelt* 1-2 (1991) 31-36.
- Fergusson, J.E., Kim, D.: Trace Elements in Street and House Dusts: Sources and Speciation. *Sci. Total Environ.* 100 (1991) 125-150.
- Fergusson, J.E., Schroeder, R.J.: Lead in Household Dust of Christchurch, New Zealand: Sampling, Levels and Sources. *Sci. Total Environ.* 46 (1985) 61-72.
- Foo, S.C., Khoo, N.Y., Heng, A., Chua, L.H., Chia, S.E., Ong, C.N., Ngim, C.H., Jeyaratnam, J.: Metals in Hair as Biological Indices for Exposure. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 65 (1993) 83-86.
- Gaensslen, H., Schubö, W.: *Einfache und komplexe statistische Analyse*. München, Reinhardt, 1973.
- Gordon, G.F.: Sex and Age Related Differences in Trace Element Concentrations in Hair. *Sci. Total. Environ.* 42 (1985) 133-147.
- Goyer, R.A.: Lead. In: Seiler, H.G., Sigel, H. (Eds.): *Handbook on the Toxicity of Inorganic Compounds*. Marcel Dekker, Inc., New York, Basel 1988, 359-382.
- Grandjean, P.: Lead Concentration in Single Hairs as a Monitor of Occupational Lead Exposure. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 42 (1978) 69-71.
- 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.
- Grandjean, P., Olsen, N.B., Hollnagel, H.: Influence of Smoking and Alcohol Consumption on Blood Lead Levels. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 48 (1981) 391-397.

- 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.
- Güther, B., Schwarz, E.: Der Gesundheitssurvey. Design, Methoden, Feldergebnisse. Endbericht zur ersten regionalen und nationalen Haupterhebung 1984 - 1986 im Rahmen der Deutschen Herz-Kreislauf-Präventionsstudie (DHP). Infratest Gesundheitsforschung, Institut für Sozialmedizin und Epidemiologie des Bundesgesundheitsamtes, München, Berlin 1986.
- Heinrich, J., Holtz, H., Spix, C., Luster, M., Sturm, G.: Einflußfaktoren auf den Thiozyanatspiegel. Poster-Beitrag auf der 36. Jahrestagung der GMDS, München: 16.-18.9.1991.
- Hense, H.-W., Filipiak-Pittroff, B., Honig-Blum, K., Keil, U.: Epidemiologische Untersuchungen zur Bedeutung der Bleibelastung für die Entwicklung kardiovaskulärer Erkrankungen. Die Beziehung zwischen Blutbleispiegeln und arteriellem Blutdruck in der ersten Follow-Up-Untersuchung der MONICA-Augsburg Kohortenstudie. Bericht des GSF-Forschungszentrums für Umwelt und Gesundheit, Neuherberg, 1991.
- Hoffmeister, H., Thefeld, W., Stolzenberg, H., Schön, D.: Untersuchungsbefunde und Laborwerte. Nationaler Gesundheits-Survey 1984-1986. BGA-Schriften 1/92, MMV Medizin Verlag München 1992.
- Hoffmeister, H., Hoeltz, J., Schön, D., Schröder, E., Güther, B.: Nationaler Untersuchungs-Survey und regionale Untersuchungssurveys der DHP. DHP-Forum, Band 1. Bonn 1988.
- Hopper, J.L., Balderas, A., Mathews, J.D.: Analysis of Variation in Blood Lead Levels in Melbourne Families. *Med. J. Aust.* 11 (1982) 573-576.
- Huel, G., Boudene, C., Jouan, M., Lazar, P.: Assessment of Exposure to Lead of the General Population in the French Community through Biological Monitoring. *Int. Arch. Occup., Environ. Health* 58 (1986) 131-139.
- Hunt, A., Johnson, D.L., Thornton, I., Watt, J.M.: Apportioning the sources of lead in House Dusts in the London Borough of Richmond, England. *Sci. Total Environ.* 138 (1993) 183-206.
- Jensen, H.: Lead in Household Dust. *Sci. Total Environ.* 114 (1992) 1-6.
- Johnson, D.E., Tillery, J.B., Prevost, R.J.: Trace Metals in Occupationally and Nonoccupationally Exposed Individuals. *Environ. Health Perspect.* 10 (1975) 151-158.
- Kamakura, M.: A Study of the Characteristics of Trace Elements in the Hair of Japanese - Reference Values and the Trace Elements Patterns for Determining Normal Levels-. *Jpn. J. Hyg.* 38 (1983) 823-838.
- Kim, N., 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.
- Kramer, A., Meng, W., Reinwein, D., Weuffen, W., Below, H., Ermisch, U., Jülich, W.-D., Koch, St., Kellner, R., Meng, S., Schibille, O., Strassenburg, A., Bauch, K., Straube, W., Ulrich, F.E., Ventz, M.: Experimentelle und epidemiologische Untersuchungen zu Wechselbeziehungen von Thiocyanat und Schilddrüsenfunktion. *Z. gesamte Hygiene* 36 (1990) 383-387.
- Krause, C., Chutsch, M.: Haare als Indikator für die Erfassung von Pb- und Cd-Belastungen. In: Krause, C., Chutsch, M. (Hrsg.): Haaranalyse in Medizin und Umwelt. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-Boden- und Luftthygiene, Bd. 71, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart/New York 1987.
- Krause, C., Englert, N. und R. Leis: Toxische Bestandteile von Tennenbelägen. In: Schriftenreihe Sport- u. Freizeitanlagen B1/84, Bundesinstitut für Sportwissenschaften Köln (Hrsg.) 1984.

- Krause, C., Chutsch, M., Henke, M., Leiske, M., Schulz, C., Schwarz, E.: Umwelt-Survey. Band IIIa, Wohninnenraum: Spurenelementgehalte im Hausstaub. WaboLu-Hefte 2/91. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamts, Berlin 1991a.
- Krause, C., Chutsch, M., Henke, M., Huber, M., Kliem, C., Schulz, C., Schwarz, E.: Umwelt-Survey. Band I, Studienbeschreibung und Humanbiologisches Monitoring. WaboLu-Hefte 5/89. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamts, Berlin 1989.
- Krause, C., Chutsch, M., Henke, M., Leiske, M., Meyer, E., Schulz, C., Schwarz, E., Wolter, R.: Umwelt-Survey. Band IIIb, Wohninnenraum: Trinkwasser. WaboLu-Hefte 3/91. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamts, Berlin 1991b.
- Krause, C., Chutsch, M., Henke, M., Huber, M., Kliem, C., Leiske, M., Mailahn, W., Schulz, C., Schwarz, E., Seifert, B., Ullrich, D.: Umwelt-Survey, Band IIIc, Wohninnenraum: Raumluft. WaBoLu-Hefte 4/91. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin 1991c.
- Landrigan, P.J., Froines, J.R., Mahaffey, K.R.: Body Lead Burden: Summary of Epidemiological Data on its Relation to Environmental Sources and Toxic Effects.  
In: Mahaffey, K.R. (Ed.): Dietary and Environmental Lead: Human Health Effects.  
Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1985, 421-459.
- Laxen, D.P.H., Raab, G.M., Fulton, M.: Children's Blood Lead and Exposure to Lead in Household Dust and Water - A Basis for an Environmental Standard for Lead in Dust.  
Sci. Total Environ. 66 (1987) 235-244.
- Lehnert, G., Szadkowski, D.: Die Bleibelastung des Menschen.  
Verlag Chemie, Weinheim 1983.
- Leotsinidis, M., Kondakis, X.: Trace Metals in Scalp Hair of Greek Agricultural Workers.  
Sci. Total Environ. 95 (1990) 149-156.
- Lüderitz, P., Marquardt, D., Leppin, S., Grosser, J., Belakowsky, M.S.: Referenzwerte für die Konzentrationen von 12 Elementen im Kopfhair. Z. Klin. Med. 40 (1985) 1515-1520.
- Mahaffey, K.R.: Factors Modifying Susceptibility to Lead Toxicity.  
In: Mahaffey, K.R. (Ed.): Dietary and Environmental Lead: Human Health Effects.  
Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1985, 373-419.
- Mahaffey, K.R., Annet, J.L., Roberts, J., Murphy, R.S.: National Estimates of Blood Lead Levels: United States, 1976-1980. N. Engl. J. Med. 307 (1982) 573-579.
- Manuwald, O., Wilhelm, M., Bronisch, M., Herzog, V., Palaske, G., Scheer, S.: Bleikonzentrationen in Erfurter Kinderhaaren. Forum Städte-Hygiene 42 (1991) 355-360.
- 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.
- Meyer, E.: Blei im Trinkwasser und Abhilfestrategien. In: Lahmann, E., Jander, K. (Hrsg): Schwermetalle in der Umwelt. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1987, 53-69.
- Moreau, T., Lellough, J., Orssaud, G.: Effect of Alcohol and Smoking on Blood Lead in Middle Aged British Men. Br., Med. J. 284 (1982) 1046-1047.

- 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.
- Müller, J., Weigert, P. (Hrsg.): Bleigehalte in und auf Lebensmitteln. Zentrale Erfassungs- und Bewertungsstelle für Umweltchemikalien. ZEBS Hefte 2, 1990.
- Ohnesorge, F.K.: Toxikologische Bewertung von Arsen, Blei, Cadmium, Nickel, Thallium und Zink. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 15, Umwelttechnik, Nr. 38. VDI-Verlag, Düsseldorf 1985, 31-54.
- Paschal, D.C., DiPietro, E.S., Phillips, D.L., Gunter, E.W.: Age Dependence of Metals in Hair in a Selected U.S. Population. *Environ. Res.* 48 (1989) 17-28.
- Pocock, S.J., Shaper, A.G., M. Walker, Wale, C.J., Clayton, B., Delves, T., Lacey, R.F., Packham, R.F., Powell, P.: Effects of Tap Water Lead, Water Hardness, Alcohol, and Cigarettes on Blood Lead Concentrations. *J. Epidemiol. Community Health* 37 (1983) 1-7.
- Probst-Hensch, N., Braun-Fahrlaender, C., Bodenmann, A., Ackermann-Liebich, U.: Alcohol consumption and other lifestyle factors: Avoidable sources of excess lead exposure. *Soz. Präventivmed.* 38 (1993) 43-50.
- Prucha, J.: Schwermetallgehalt des Kinderhaares. *Zbl. Bakt. Hyg. B*, 185 (1987) 273-290.
- Qu, J.-B., Jin, C., Liu, Y.-T., Yin, S.-N., Watanabe, T., Nakatsuka, H., Seiji, K., Inoue, O., Ikeda, M.: Blood Lead Levels of the General Populations of Three Chinese Cities. *Sci. Total Environ.* 77 (1988) 35-44.
- Quinn, M.J.: Factor Affecting Blood Lead Concentrations in the UK: Results of the EEC Blood Lead Surveys 1979-1981. *Int. J. Epidemiol.* 14 (1985) 420-431.
- Quinn, M.J., Delves, H.T.: UK Blood Lead Monitoring Programme 1984-1987: Protocol and Results for 1984. *Human Toxicol.* 6 (1987) 459-474.
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltgutachten 1987, Verlag Kohlhammer, Stuttgart und Mainz, 1987.
- Roberts, J., Mahaffey, K.R., Annett, J.L.: Blood Lead Levels in General Populations. In: Mahaffey, K.R. (Ed.): *Dietary and Environmental Lead: Human Health Effects*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1985, 355-372.
- Roberts, J.W., Camann, D.E., Spittler, T.M.: Monitoring and Controlling Lead in House Dust in Older Homes. 5th International Conference on Indoor Air Quality and Climate, Toronto, 29. July-3. Aug. 1990, Vol. 2, 435-440.
- Roels, H.A., Balis-Jaques, M.N., Buchet, J.-P., Lauwerys, R.R.: The Influence of Sex and Chelation Therapy on Erythrocyte Protoporphyrin and Urinary Aminolevulinic Acid in Pb Exposed Workers. *J. Occup. Med.* 21 (1979) 527-539.
- Rosen, F.F.: Metabolic and Cellular Effects of Lead: A Guide to Low Level Lead Toxicity in Children. In: Mahaffey, K.R. (Ed.): *Dietary and Environmental Lead: Human Health Effects*. Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1985, 157-185.
- Sayre, J.W., Katzel, M.D.: Household Surface Lead Dust: Its Accumulation in Vacant Homes. *Environ. Health Persp.* 29 (1979) 179-182.
- Schäfer, Th., Wachtel, H.-W.: Umweltbezogene Gesundheitsberichterstattung. Asgard, Sankt Augustin 1989.

- Schuhmacher, M., Domingo, J.L., Llobet, J.M., Corbella, J.: Lead in Children's Hair, as Related to Exposure in Tarragona Province, Spain. *Sci. Total Environ.* 104 (1991) 167-173.
- Schulz, C., Bernigau, W., Krause, C., Seiwert, M.: The 1990/92 Environmental Survey in the Old and New Länder of the Federal Republic of Germany. Newsletter of the WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control at the Institute for Water, Air and Soil Hygiene of the Federal Health Office 12(1993)5-9.
- Schulz, C., Chutsch, M., Kirschner, R., Kirschner, W., Kunert, M.: Umwelt-Survey, Band II, Umweltinteresse, -wissen, -verhalten. WaboLu-Hefte 1/91. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamts, Berlin 1991.
- Schwarz, E., Chutsch, M., Krause, C., Schulz, C., Thefeld, W.: Umwelt-Survey, Band IVa, Cadmium. WaboLu-Hefte 2/93. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamts, Berlin 1993.
- Seifert, B.: Ergebnisse von Bleiniederschlagsmessungen in städtischen Gebieten und in der Umgebung von Industriegebieten. In: Blei und Umwelt II. Beiträge zum Problem der Bleibelastung des Menschen. BGA-Berichte 1/1978, Dietrich Reimer Verlag, Berlin, 1978.
- Seifert, B., Drews, M.: Blei- und Cadmiumbelastung ausgewählter Innenräume von Häusern in Oker/Harlingerode (1983/84). WaBoLu-Hefte 3/1985. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, Berlin 1985.
- Shaper, A.G., Pocock, S.J., Walker, M., Wale, C.J., Clayton, B., Delves, H.T., Hinks, L.: Effects of Alcohol and Smoking on Blood Lead in Middle-Aged British Men. *Br. Med. J.* 284 (1982) 299-302.
- Silbergeld, E.K., Schwartz, J., Mahaffey, K.: Lead and Osteoporosis: Mobilization of Lead from Bone in Postmenopausal Women. *Environ. Res.* 47 (1988) 79-94.
- Solomon, R.L., Hartford, J.W.: Lead and Cadmium in Dusts and Soils in a Small Urban Community. *Environ. Sci. Technol.* 10 (1976) 773-777.
- Tafel, V.: Lehrbuch der Metallhüttenkunde, Band II. Hirzel-Verlagsbuchgesellschaft, Leipzig 1953.
- Takagi, Y., Matsuda, S., Imai, S., Ohmori, Y., Masuda, T., Vinson, J.A., Mehra, M.C., Puri, B.K., Kaniewski, A.: Trace Elements in Human Hair: An International Comparison. *Bull. Environ. Contam. Toxicol.* 36 (1986) 793-800.
- Tang, N., Nakatsuka, H., Watanabe, T., Liu, S.-J., Qu, Q.-S., Liu, Y.-T., Cai, S.-X., Ikeda, M.: Blood Lead Levels of Beijing (China) Citizens. *Sci. Total Environ.* 90 (1990) 31-39.
- Telisman, S., Prpic-Majic, D., Kezic, S.: In vivo Study on Lead and Alcohol Interaction and the Inhibition of Erythrocyte Delta-Aminolevulinic Acid Dehydratase in Man. *Scand. J. Work Environ. Health* 10 (1984) 239-244.
- Thornton, I.: Metal Content of Soils and Dusts. *Sci. Total Environ.* 75 (1988) 21-39.
- Thornton, I., Davies, D.J.A., Watt, J.M., Quinn, M.J.: Lead Exposure in Young Children in the United Kingdom. *Environ. Health Persp.* 89 (1990) 55-60.
- Thornton, I., Culbard, E., Moorcroft, S., Watt, J., Wheatley, M., Thompson, M.: Metals in Urban Dusts and Soils. *Environ. Technol. Letters* 6 (1985) 137-144.
- Thron, H.L., Englert, N., Krause, C., Laskus, L., Sonneborn, M., Wagner, H.M.: Bleibelastung von Bevölkerungsgruppen. WaBoLu-Berichte 2/1978, Dietrich Reimer Verlag, Berlin, 1978.

- Tsuchiya, K.: Lead. In: Friberg, L., Nordberg, G.F., Vouk, V. (Eds.): Handbook on the Toxicology of Metals, 2nd Edition. Elsevier Science Publishers, Amsterdam 1986, 298-353.
- Valkovic, V.: Human Hair. Vol. II: Trace Element Levels. Boca Raton, CRC Press, Florida 1988, 186.
- Waldron, H.A.: Metals in the Environment, Cap. 6: Lead. Academic Press 1980.
- 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.
- Watanabe, T., Fujita, H., Koizumi, A., Chiba, K., Miyasaka, M., Ikeda, M.: Baseline Level of Blood Lead Concentration among Japanese Farmers. *Arch. Environ. Health.* 40 (1985) 170-176.
- Weigert, P., Müller, J., Klein, H., Zufelde, K.P., Hillebrand, J.: Arsen, Blei, Cadmium und Quecksilber in und auf Lebensmitteln. In: Zentrale Erfassungs- und Bewertungszentrale für Umweltchemikalien des Bundesgesundheitsamtes (ZEBS) Heft 1/1984.
- Weuffen, W., Kramer, A., Ambrosius, H., Adrian, V., Below, H., Jülich, W.-D., Koch, S., Thürkow, B., Verbeek, F.: Zur Bedeutung des endogenen Wirkstoffs und Umweltfaktors Thiocyanat für die unspezifische und spezifische Resistenz aus hygienischer Sicht. *Zbl. Hyg.* 189 (1990) 473-510.
- WHO, World Health Organization: "Inorganic Lead", Environmental Health Criteria 165, WHO, Geneva, 1995.
- Wibowo, A.A.E., Herber, R.F.M., Das, H.A., Roeleveld, N., Zielhuis, R.L.: Levels of Metals in Hair of Young Children as an Indicator of Environmental Pollution. *Environ. Res.*, 40 (1986) 346-356.
- Wilhelm, M., Ewers, U.: Metalle/Blei. In: Wichmann, H.E., Schlipkötter, H.-W., Fülgraff, G. (Hrsg.): Handbuch der Umweltmedizin. ecomed, Landsberg/Lech, 1993.
- Wilhelm, M., Ohnesorge, F.K.: 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.: Einflußgrößen auf Spurenelementgehalte in Haaren von Kindern. In: C. Krause, M. Chutsch (Hrsg.): Haaranalyse in Medizin und Umwelt. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Luftthygiene, Bd. 71, Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, New York 1987, 55-70.
- Wilhelm, M., Lombeck, I., Hafner, D., Ohnesorge F.K.: Hair Lead Levels in Young Children from the FRG, J. Trace Elem. Electrolytes Health Dis. 3 (1989) 165-170.
- Wittmers, L.E.: Lead in Bone, IV. Distribution of Lead in the Human Skeleton. *Arch. Environ. Health.* 43 (1988) 381-391.
- Zheng, X.Q., Ji, R.D.: Assessment of Lead Contamination of the General Environment through Blood Lead Levels. *Environ. Monit. Assessm.* 9 (1987) 169-177.
- Zumkley, H., Kisters, K.: Spurenelemente: Geschichte, Grundlagen, Physiologie, Klinik. Wiss. Buchges., Darmstadt 1990, 22-30.

## Anhang: Liste der in den Regressionsmodellen enthaltenen Variablen

A82D	Heizungsart [Beheizung mittels Heizkörpern einer Zentralheizung vs. sonst]
A8514	Heizen mit Strom [nein / auch / nur]
AD12	Etage der Wohnung
ALTER	Lebensalter in Jahren
AS0402	Fahren mit dem Fahrrad zum Arbeitsplatz [nicht / unter anderem / ausschließlich]
AS07K	Metalle, Schwermetalle, sonst. Elemente als Arbeitsbelastung des Befragten [nein / ja]
BELEG	Wohnfläche pro Person [m <sup>2</sup> ]
BIERH	Trinken von Bier [mehr als einmal pro Woche vs. bis zu einmal pro Woche]
BODEN1	(auch) glatter Fußboden in der Wohnung [Holzparkett, PVC, Fliesen usw. vs. ausschließlich textilem Belag],
BODEN2	(auch) textiler Bodenbelag in der Wohnung [textile Auslegware, Teppiche usw. vs. ausschließlich glattem Bodenbelag]
CCVP	Zellpackungsvolumen [ähnlich Hämatokrit, in %]
D2ZIMM	Aufstellort des Staubbeckers [Staubbecher stand in Küche, Wohnküche vs. anderen Zimmern]
D3STAT6	Befragter ist in Pension, (Früh-)rente [„trifft nicht zu“ vs. „trifft zu“]
D4RSTAT	niemals geraucht [„ja“ vs. „sonst“]
D6WSEWR	überdurschn. Anteil Beschäftigter in Energie, Wasser, Bergbau in der Region [„trifft nicht zu“ vs. „trifft zu“]
D8WSANK	überdurschn. Anteil Arbeitnehmer in der Elektro- und Metallindustrie im Kreis [„trifft nicht zu“ vs. „trifft zu“]
EWFLG	Bevölkerungsdichte der Gemeinde [Einwohner / ha]
FR2023	Häufigkeit des Trinkens von Erfrischungsgetränken [nie / maximal einmal pro Monat / zwei- bis dreimal pro Monat / etwa einmal pro Woche / mehrmals pro Woche / (fast) täglich]
HAARWAAG	Haareinwaage [mg]
HAUSALT	Alter des Wohnhauses [Jahre]
KALZ	Kalzium im Serum [mmol/l]
KIND14	Anzahl der Kinder zwischen 3 und 14 Jahren im Haushalt
LNPBB	natürlicher Logarithmus des Bleigehaltes im Blut [µg/100 ml]
LNPBBCH	natürlicher Logarithmus des Bleiniederschlags im Haushalt [µg/(m <sup>2</sup> ·Tag)]
LNPBBT	natürlicher Logarithmus des Bleigehaltes im Inhalt des Staubsaugerbeutels [µg/g]
LNPBH	natürlicher Logarithmus des Bleigehaltes im Haar [µg/g]
LNPBSPON	natürlicher Logarithmus des Bleigehaltes im Spontantrinkwasser [µg/l]
PBLAST1	Bleibelastung im Beruf [„keine oder geringe Belastung“ vs. „deutliche Belastung“]
QALT	Quadrat des Lebensalters
SEX	Geschlecht [Männer vs. Frauen]
STAUB	Staub-Belastung im Beruf [„keine, geringe Belastung“ vs. „deutliche, starke Belastung“]
THIO	Thiocyanat im Serum [µmol/l]
TRANFFLR	Anteil Verkehrsflächen in der Region [%; bezogen auf Gesamtfläche der Region, Stand: Ende 1984]
WEIN1	Trinken von Wein in den 24 h vor der Blutabnahme [„1 bis 2 Gläser“ vs. „sonstige Mengen“]
WEIN2	Trinken von Wein in den 24 h vor der Blutabnahme [„mehr als 2 Gläser“ vs. „bis höchstens 2 Gläser“]
WEINH1	Trinken von Wein/Sekt [„mehr als einmal pro Monat bis höchstens einmal pro Woche“ vs. „sonst“]
WEINH2	Trinken von Wein/Sekt [„häufiger als einmal pro Woche“ vs. „bis höchstens einmal pro Woche“]
ZEIT	Jahreszeit [„Mai-September“ vs. „Oktober-April“]