

UMWELTFORSCHUNGSPLAN DES  
BUNDESMINISTERIUMS FÜR UMWELT,  
NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT

Forschungsbericht 201 62 214/12  
UBA-FB 000586



**Umwelt-Survey 1998**  
**Band VIII:**  
**PAK-Metabolite im Urin der**  
**Bevölkerung in Deutschland -**  
**Belastungsquellen und -pfade**

von

**Wolfgang Bernigau**  
**Karl E. Lorber**  
**Michael Wilken**

unter Mitarbeit von

**Frank Heidrich**  
**Manfred Leiske**

MWC - Michael Wilken Consulting  
und  
INDAST GmbH, Berlin

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

Diese WaBoLu-Veröffentlichung kann bezogen werden bei

**Vorauszahlung von 7,50 Euro**

durch Post- bzw. Banküberweisung,  
Verrechnungsscheck oder Zahlkarte auf das

Konto Nummer 4327 65 - 104 bei der

Postbank Berlin (BLZ 10010010)

Fa. Werbung und Vertrieb,

Wolframstraße 95-96,

12105 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.

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr  
für die Richtigkeit, die Genauigkeit und  
Vollständigkeit der Angaben sowie für  
die Beachtung privater Rechte Dritter.  
Die in der Studie geäußerten Ansichten  
und Meinungen müssen nicht mit denen des  
Herausgebers übereinstimmen.

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

Redaktion: Fachgebiet II 1.2  
Margarete Seiwert

Berlin, Mai 2004

## **VORWORT**

Im Zeitraum von 1997 bis 1999 wurde in der Bundesrepublik Deutschland der 3. Umwelt-Survey (Umwelt-Survey 1998) durchgeführt. Wie seine Vorgänger dient er der Ermittlung und Aktualisierung repräsentativer Daten über die bestehenden korporalen Schadstoffbelastungen und Schadstoffbelastungen im häuslichen Bereich. Darüber hinaus sollen Quellen und Pfade für eine Schadstoffbelastung identifiziert und quantifiziert werden. Untersucht wurde eine repräsentative Querschnittsstichprobe der 18- bis 69-jährigen Wohnbevölkerung in der Bundesrepublik. Das Erhebungsinstrumentarium umfasste Blut- und Urinproben der Probanden sowie Hausstaub- und Trinkwasserproben aus ihren Haushalten. Parallel dazu wurde zur Ergänzung der Messdaten eine Fragebogenerhebung zu expositionsrelevanten Verhaltensweisen und Bedingungen in den Haushalten und in der Wohnumgebung durchgeführt.

Die Auswertung und Darstellung des sehr umfangreichen Datenmaterials erfolgt in der bewährten Form von Berichtsbänden.

Band I: Umwelt-Survey 1998. Studienbeschreibung

Band II: Umwelt-Survey 1998. Fragebogendaten zur Expositionsschätzung in Deutschland

Band III: Umwelt-Survey 1998. Human-Biomonitoring: Stoffgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland

Band IV: Umwelt-Survey 1998. Trinkwasser: Elementgehalte in Stagnationsproben des häuslichen Trinkwassers der Bevölkerung in Deutschland

Band V: Umwelt-Survey 1998. Hausstaub: Stoffgehalte im Hausstaub aus Haushalten der Bevölkerung in Deutschland

Band VI: Umwelt-Survey 1998. Nikotin und Cotinin im Urin der Bevölkerung in Deutschland - Belastungsquellen und -pfade

Band VII: Umwelt-Survey 1998. Arsen, Schwer- und Edelmetalle in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland - Belastungsquellen und -pfade

Band VIII: Umwelt-Survey 1998. PAK-Metabolite im Urin der Bevölkerung in Deutschland - Belastungsquellen und -pfade

In Band II bis V werden deskriptive Auswertungen der verschiedenen Erhebungsinstrumente dargestellt, in den folgenden Bänden multivariate Analysen zur Bewertung wesentlicher Belastungspfade für ausgewählte Schadstoffe.



## Berichts-Kennblatt

1. Berichtsnummer UBA-FB	2.	3. 201 62 214/02 und /12
4. Titel des Berichts Bewertung wesentlicher Pfade der Schadstoffbelastung der Allgemeinbevölkerung mit Hilfe multivariater Analysen (Datenmaterial der Gesundheits- und Umweltsurveys) Teilprojekt B: PAK-Metaboliten im Urin, Teilvorhaben 2.		
5. Autor(en), Name(n), Vorname(n) Bernigau, Wolfgang, Lorber, Karl E., Wilken, Michael unter Mitarbeit von Heidrich, Frank, Leiske, Manfred	8. Abschlußdatum 31.07.2003	9. Veröffentlichungsdatum
6. Durchführende Institution (Name, Anschrift)  MWC - Michael Wilken Consulting Florastr. 8; D-12163 Berlin INDAST GmbH Jessnerstr. 54, D-10247 Berlin	10. UFOPLAN-Nr. FKZ 201 62 214/02 und /12	11. Seitenzahl 121
7. Fördernde Institution (Name, Anschrift)  Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin	12. Literaturangaben 115	13. Tabellen und Diagramme 49
	14. Abbildungen 13	
15. Zusätzliche Angaben		
16. Kurzfassung Im Rahmen des Umwelt-Surveys 1998 zur Ermittlung der Schadstoffbelastung der Allgemeinbevölkerung in Deutschland, an dem eine repräsentative Stichprobe von insgesamt 4822 Personen aus 120 Erhebungsorten im Alter von 18 bis 69 Jahren teilnahm, wurden in einer zufällig ausgewählten Teilstichprobe von 573 Morgenurinproben die Gehalte der PAK-Metaboliten 1-Hydroxypyren, 1-, 2/9- und 3-Hydroxyphenanthren sowie die Summe dieser Hydroxyphenanthrene bestimmt. Aus den im begleitenden Fragebogen über expositionsrelevante Fragen erhaltenen Informationen wurden durch multivariate Zusammenhangsanalysen die massgeblichen Prädiktoren für die Belastung mit PAK-Metaboliten im Urin in ihrer Bedeutung erfasst und in ihrer Wirkung quantifiziert. Die dargestellten Ergebnisse beruhen auf multiplen linearen Regressionsanalysen, die sowohl für die Gesamtstichprobe als auch für die Teilstichprobe der Nichtraucher durchgeführt wurden. Alle Regressionsmodelle wurden sowohl für die creatinin- als auch volumenbezogenen Stoffgehalte im Urin gebildet. Erwartungsgemäß dominiert der Prädiktor Creatinin in allen volumenbezogenen Modellen. Mit 4 Prädiktoren konnten insgesamt 55,7% der Varianz der volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalte erklärt werden. Bei den verschiedenen Hydroxyphenanthrenen wurde mit bis zu 5 Prädiktoren im volumenbezogenen Modell eine Varianzaufklärung zwischen 38,5 und 53,4% erreicht. Herausragender Prädiktor ist das Rauchen, der außer beim 2/9-Hydroxyphenanthren den größten Einfluss hat. Das Wohnen in den neuen Bundesländern führt im Vergleich zu den alten Bundesländern ebenso zu signifikant höheren PAK-Metaboliten-Gehalten im Urin wie dezentrale Heizungen verglichen mit zentral beheizten Wohnungen. Während für die Hydroxyphenanthrene auch der Alkoholkonsum als Prädiktor ermittelt wurde, konnte für das 1-Hydroxypyren kein Zusammenhang festgestellt werden. Die in der Literatur mehrfach aufgezeigten Einflüsse durch den Straßenverkehr und den Konsum gegrillter und geräucherter Speisen konnten in dieser Studie nicht aufgezeigt werden.		
17. Schlagwörter PAK, Allgemeinbevölkerung, Exposition, Harn, Urin, PAK-Metaboliten, Pyren, Phenanthren, Hydroxypyren, Hydroxyphenanthren, Regressionsanalyse, Umweltsurvey, Umwelt-Survey, Prädiktoren, Rauchen, Nichtraucher, Humanbiomonitoring, Creatinin, Kreatinin, Alkohol, Ost-West, Heizung, Straßenverkehr, neue Bundesländer, Ernährung, Grillen, gegrillte Speisen, Räuchern, geräucherte Speisen		
18. Preis	19.	20.

## Report Cover Sheet

1. Report No. UBA-FB	2.	3. 201 62 214/02 and /12
4. Report Title Assessment of essential paths of contamination of the general population by means of multivariate regression analyses (data of the Health and Environmental Survey). Subproject B2: PAH-metabolites in urine.		
5. Autor(s), Family Name(s), First Name(s) Bernigau, Wolfgang, Lorber, Karl E., Wilken, Michael in co-operation with Heidrich, Frank, Leiske, Manfred		8. Report Date 31.07.2003
6. Performing Organisation (Name, Address)  MWC - Michael Wilken Consulting Florastr. 8; D-12163 Berlin INDAST GmbH Jessnerstr. 54, D-10247 Berlin		9. Publication Date
7. Sponsoring Agency (Name, Address)  Umweltbundesamt, Postfach 33 00 22, D-14191 Berlin		10. UFOPLAN-Ref. No. 201 62 214/02 and /12
		11. No. of Pages 121
		12. No. of Reference 115
		13. No. of Tables, Diagrams 49
		14. No. of Figures 13
15. Supplementary Notes		
16. Abstract Within the scope of the German Environmental Survey 1998 for the determination of the contamination of the general population in Germany, in which 4822 subjects in the aged 18 to 69 from 120 locations participated, in a randomly chosen sub-sample of 573 morning urine samples the contents of the PAH-metabolites 1-hydroxypyrene, 1-, 2/9- and 3-hydroxyphenanthrene and the sum of the hydroxyphenanthrenes were determined. With the information which is obtained from exposure related questions in the accompanying questionnaire the relevant predictors for the contamination of the urine with PAH-metabolites were found by multivariate correlation analyses. The presented results are based on multiple linear regression analyses which were performed for the total sub-sample as well as for the sub-sample of the non-smokers. All regression models were built for the creatinine related and the volume related metabolite concentrations in urine. As expected, the predictor creatinine dominates in volume related models. With 4 predictors, 55.7% of the variance of the volume related 1-hydroxypyrene content could be explained. For the different hydroxyphenanthrenes, a variance explanation between 38.5 and 53.4 % was achieved with up to 5 predictors in the volume related model. The dominant predictor is smoking which has the biggest impact in the models for all metabolites except for the 2/9-hydroxyphenanthrene. Living in East-Germany in contrast to living in West-Germany as well as decentral heating in contrast to central heating systems lead to significantly higher PAH-metabolite concentrations in urine. While alcohol consumption could also be determined as predictor for the hydroxyphenanthrenes, no correlation could be found for 1-hydroxypyrene. The influence of traffic, consumption of grilled and smoked food reported in several other studies could not be found here.		
17. Keywords PAH, general population, exposure, urine, PAH metabolites, predictor, pyrene, phenanthrene, smoked food, hydroxypyrene, hydroxyphenanthrene, correlation analysis, environmental survey, smoking, non-smoking, biomonitoring, creatinine, alcohol, East-Germany, West-Germany, heating traffic, grilled food, nutrition		
18. Price	19.	20.

## **Inhaltsverzeichnis**

<i>Zusammenfassung .....</i>	<b>1</b>
<i>Summary.....</i>	<b>5</b>
<b>1 Einleitung.....</b>	<b>9</b>
<b>2 Studienbeschreibung.....</b>	<b>12</b>
2.1 Stichproben.....	12
2.2 Erhebungsinstrumentarium.....	13
2.3 Analytik und Qualitätskontrolle .....	14
<b>3 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) – Vorkommen, Verwendung und Wirkung.....</b>	<b>15</b>
3.1 Natürliche und anthropogene Quellen der PAK .....	15
3.2 Toxikologie und Metabolisierung .....	18
<b>4 Hypothesen zum Auftreten einer korporalen Belastung mit Hydroxypyren und Hydroxyphenanthrenen .....</b>	<b>21</b>
4.1 Individuelle Faktoren und Urinparameter .....	22
4.2 Rauchen .....	23
4.3 Alkoholkonsum .....	24
4.4 Ernährung und Verbrauchsgegenstände .....	25
4.5 Wohnungsumfeld .....	26
4.6 Häuslicher Bereich .....	27
4.7 Arbeitsplatz .....	28
<b>5 Statistische Methoden .....</b>	<b>31</b>
5.1 Überblick über die Vorgehensweise .....	31
5.2 Die Prädiktorvariablen.....	31
5.3 Die Kriteriumsvariablen .....	32
5.4 Das Regressionsmodell .....	36
5.5 Die Modellbildung.....	37
5.6 Kennwerte für die Güte eines Regressionsmodells .....	38
5.7 Kennwerte der Prädiktoren.....	40
5.8 Stichprobe und Regressionsanalyse .....	41

<b>6 Ergebnisse und Diskussion.....</b>	<b>43</b>
6.1 1-Hydroxypyren .....	44
6.1.1 Regressionsmodelle der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin .....	44
6.1.2 Effekte der Prädiktoren der Regressionsmodelle der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin.....	47
6.1.3 Prädiktoren mit schwache Effekten .....	51
6.2 Hydroxyphenanthrene .....	52
6.2.1 Regressionsmodelle der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin.....	54
6.2.2 Effekte der Prädiktoren der Regressionsmodelle der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	56
6.2.3 Prädiktoren mit schwachen Effekten .....	63
6.3 Anmerkungen zu einigen nicht signifikanten Prädiktoren .....	68
<b>7 Schlussbemerkungen .....</b>	<b>69</b>
<b>8 Literatur.....</b>	<b>75</b>
<b>9 Verzeichnisse.....</b>	<b>83</b>
9.1 Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole .....	83
9.2 Tabellenverzeichnis .....	84
9.3 Abbildungsverzeichnis .....	87
<b>10 Anhang.....</b>	<b>89</b>
10.1 Zusätzliche statistische Kennwerte für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin .....	89
10.2 Regressionsanalysen für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin – zusätzliche statistische Kennwerte .....	92
10.3 Regressionsanalysen für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin – zusätzliche statistische Kennwerte .....	95
10.4 Regressionsanalysen für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin – zusätzliche statistische Kennwerte .....	99
10.5 Regressionsanalysen für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin – zusätzliche statistische Kennwerte .....	103
10.6 Regressionsanalysen für die $\Sigma(1-,2/9-,3-)$ -Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin – zusätzliche statistische Kennwerte.....	107
10.7 Erläuterungen zu den in den Regressionsanalysen benutzten Variablen.....	111

## Zusammenfassung

Im Zeitraum von 1997 bis 1999 wurde in der Bundesrepublik Deutschland der 3. Umwelt-Survey (Umwelt-Survey 1998) durchgeführt. Wie seine Vorgänger (Umwelt-Survey 1985/86 und Umwelt-Survey 1990/92) ist der Umwelt-Survey 1998 eine umfassende Bevölkerungsstudie zur Ermittlung der Schadstoffbelastung der Allgemeinbevölkerung in Deutschland. Untersucht wurde eine repräsentative Querschnittsstichprobe der 18- bis 69-jährigen Wohnbevölkerung in der Bundesrepublik. Die Auswahl der untersuchten Querschnittsstichprobe erfolgte nach einem mehrfach geschichteten Auswahlverfahren, wobei die Merkmale Geschlecht, Lebensalter, Gemeindegröße und der Wohnort in den alten und neuen Ländern berücksichtigt wurde. Insgesamt nahmen 4822 Personen aus 120 Erhebungsstädten an der Untersuchung teil.

Wie in den früheren Studien wurde eine Morgenurinprobe entnommen sowie mittels mehrerer Fragebögen eine Vielzahl an Informationen zu potenziellen Expositionssquellen und -bedingungen (Rauchen und Ernährungsgewohnheiten, Wohnsituation, Wohnungsumgebung) erfragt. Aus dem Gesamtkollektiv der Urinproben wurden 573 zufällig ausgewählte Proben für die Bestimmung der PAK-Metaboliten herangezogen.

Der vorliegende Berichtsband stellt die Ergebnisse statistischer (multivariater) Zusammenhangsanalysen dar, deren Ziel es ist, Einflussfaktoren der korporalen Belastung mit PAK-Metaboliten zu erfassen und deren Wirkung zu quantifizieren. Die dargestellten Ergebnisse beruhen auf multiplen linearen Regressionsanalysen, bei denen die Zielvariable die logarithmierten PAK-Metabolitkonzentrationen im Urin sind. Diese Regressionsanalysen wurden sowohl für alle Probanden des Umwelt-Survey 1998 gerechnet, bei denen Meßwerte der PAK-Metabolitkonzentrationen im Urin ( $N=573$ ) vorlagen, als auch separat für die Teilstichprobe der Nichtraucher ( $N=389$ ) erstellt. Mittels multipler Regressionsanalysen wurden die Effekte von Einflussfaktoren (Prädiktoren) sowohl auf die volumenbezogenen als auch auf die creatinin bezogenen Gehalte an 1-Hydroxypyren, 1-Hydroxyphenanthren, 2/9-Hydroxyphenanthren, 3-Hydroxyphenanthren und  $\Sigma(1-, 2/9-, 3-)Hydroxyphenanthren$  im Morgenurin geschätzt.

In allen Regressionsmodellen, in denen die volumenbezogenen Gehalte der PAK-Metaboliten die Kriteriumsvariable waren, dominiert der Prädiktor Creatiningehalt im Urin, der ein Maß für die Verdünnung des Urins ist. Dadurch ist die Varianzaufklärung in den Modellen für die creatininbezogenen Metaboliten-Gehalte generell niedriger als für die volumenbezogenen.

Mit 4 Prädiktoren konnten 55,7 % der Varianz der volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalte im Urin der Probanden erklärt werden. Für die  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ -Gehalte wurde eine Varianzaufklärung von 48,8 % mit 5 Prädiktoren erreicht. Vergleicht man die Regressionsmodelle für die einzelnen Hydroxyphenanthrene, so weist das Modell für die volumenbezogenen 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte mit 53,4 % die höchste Varianzaufklärungsrate auf, während für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte 40,5 % und für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte 38,5 % erreicht wurden.

Herausragender Prädiktor für die Konzentration der PAK-Metaboliten im Harn der Probanden ist das Rauchen. Außer beim 2/9-Hydroxyphenanthren hat das Rauchen den größten Einfluss. Die Konzentration aller Metaboliten im Harn ist dabei abhängig von der Zahl der pro Tag gerauchten Zigaretten.

Als weiterer Prädiktor konnte für alle Phenanthren-Metaboliten sowohl für das Gesamtkollektiv als auch für das Teilkollektiv der Nichtraucher der Alkoholkonsum ermittelt werden. Bei erhöhtem Alkoholkonsum treten erhöhte Phenanthren-Metabolitenkonzentrationen auf. Eine Abhängigkeit der 1-Hydroxypyren-Konzentration vom Alkoholkonsum konnte hingegen jedoch nicht konstatiert werden.

Das Heizungssystem und der Wohnort (alte/neue Bundesländer) stehen in Zusammenhang mit den Gehalten der PAK-Metaboliten im Urin. Der Einfluss dieser Faktoren wird sowohl durch Ergebnisse der Regressionsberechnungen für das Gesamtkollektiv als auch für das Teilkollektiv der Nichtraucher belegt. Bei Probanden, deren Wohnung nicht zentral, sondern dezentral beheizt wird, lassen sich sowohl signifikant höhere 1-Hydroxypyren- als auch Hydroxyphenanthren-Gehalte im Urin feststellen, als bei jenen, die in zentral beheizten Wohnanlagen leben. Bei Probanden mit Wohnsitz in den neuen Bundesländern ist ein im Vergleich zu Probanden mit Wohnsitz in den alten Bundesländern signifikant höherer Gehalt an 1-Hydroxypyren und Hydroxyphenanthrenen im Urin zu erwarten.

Die separate Auswertung für die Teilstichprobe der Nichtraucher ergab bis auf den Body Mass Index (BMI) keine zusätzlichen Erkenntnisse gegenüber der Gesamtstichprobe.

Der Body Mass Index (BMI) konnte nur im Modell für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Urin in der Teilstichprobe der Nichtraucher als Prädiktor ermittelt werden. Mit steigendem BMI

kann eine Zunahme der 2/9-Hydroxyphenanthren-Konzentration im Urin konstatiert werden. Für das 1-Hydroxyphenanthren und  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$  im Teil- und Gesamtkollektiv deutete sich ein schwacher positiver Einfluss des Body Mass Index bei den Berechnungen der Regressionsmodelle an, der jedoch nicht stabil ist.

Neben diesen starken Prädiktoren konnten eine Reihe von Prädiktoren mit schwachen Effekten ermittelt werden. Dazu zählen im Modell für das 1-Hydroxypyren in der Nichtraucher-Teilstichprobe das Passivrauchen und für die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Urin das Geschlecht, das Lebensalter des Probanden, der Konsum von Kaffee, das Wohnen in städtischen gegenüber ländlichen Wohngebieten, die Entfernung der Wohnung zu Metall verarbeitenden Betrieben, die Verwendung von Holzschutzmitteln sowie die Tätigkeit als Kraftfahrer.

Die in der Literatur vielfach aufgeführten Zusammenhänge mit dem Straßenverkehr, dem Verzehr von gebrillten und geräucherten Speisen sowie sonstiger beruflicher Exposition konnten hier nicht gefunden werden. Das könnte darauf zurückgeführt werden, dass die in dieser sehr breit angelegten Studie zur Verfügung stehenden Informationen nicht spezifisch genug bzw. der Anteil Exponierter in der Stichprobe zu gering waren.



## Summary

From 1997 through 1999, the 3<sup>rd</sup> German Environmental Survey (GerES III) was conducted in the Federal Republic of Germany. Like its predecessors (Environmental Survey 1985/86 and Environmental Survey 1990/92), the German Environmental Survey 1998 (GerES III) is a comprehensive population study to determine the exposure of the population to contaminants in Germany. The basis was a representative sample of adults (18 to 69 years of age) of the general population. A stratified random sampling-procedure was used to select the cross-sectional population sample, considering the parameters gender, age, community size and place of residence (West- or East-Germany). A total of 4822 subjects from 120 locations participated in GerES III.

Like in the previous surveys, samples of urine (morning urine) were used, and information about potential sources and conditions of exposure were collected by questionnaire-based interviews (smoking and eating habits, living situation, residential environment). 573 randomly chosen urine samples out of all samples were taken for the determination of the PAH-metabolites.

The present report describes the results of multivariate statistical analyses carried out in order to determine the main factors influencing the levels of metabolite concentration of polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) in urine and to quantify their effects. The results are based on multiple linear regression analyses, with the criterion variable being the logarithm of the PAH-metabolites concentration in urine. These regression analyses were calculated for all subjects of the Survey 1998, whose measured values of the PAH-metabolite concentrations in urine (N=573) were available as well as separately for the non-smokers (N=389). The impact of influencing factors (predictors) on the volume related values as well as on the creatinine related values of 1-hydroxypyrene, 1-hydroxyphenanthrene, 2/9-hydroxyphenanthrene, 3-hydroxyphenanthrene and  $\Sigma(1-,2/9-,3-)hydroxyphenanthrene$  in urine was estimated with multiple regression analyses.

In all regression models, in which the volume-related concentrations of the PAH-metabolites were used as criterion variables, the predictor creatinine content in urine, which is a common parameter for the dilution of the urine, was most dominant.

Therefore the proportion of variance explained by the models is in general lower for the creatinine related than for the volume related metabolite contents.

With 4 predictors, 55,7 % of the variance of the volume related 1-hydroxypyrene values in the urine could be explained. For the  $\Sigma(1-,2/9-,3)$ -hydroxyphenanthrene values, an explanation of 48,8 % of the variance could be obtained with 5 predictors.

A comparison of the regression models for the hydroxyphenanthrenes shows that the model for the volume related 3-hydroxyphenanthrenes has the highest rate of explained variance with 53,4 %, while for 1-hydroxyphenanthrene 40,5 % and for 2/9-hydroxyphenanthrene 38,5 % could be achieved.

Predominant predictor for the concentration of the PAH-metabolites in the urine of the subjects is smoking. Except for 2/9-hydroxyphenanthrene, smoking has the greatest effect. The concentration of all metabolites in urine actually depends on the number of cigarettes smoked per day.

Another predictor that was determined for all phenanthrene metabolites was the consumption of alcohol, for the total sample as well as for the sub-sample of non-smokers. With an increase in drinking of alcohol, increasing concentrations of phenanthrene metabolites can be found. However, it could not be shown that the 1-hydroxypyrene concentrations depend on the consumption of alcohol.

Heating systems and place of living (East/West-Germany) are related to the concentrations of PAH-metabolites in urine. The influence of these factors is confirmed by the results of the regression analyses for the total sample as well as for the sub-sample of non-smokers. Subjects, who live in homes with decentral heating systems, show significantly higher 1-hydroxypyrene as well as hydroxyphenanthrene concentrations in urine compared to those living in homes with central heating. Furthermore subjects living in East-Germany have significantly higher concentrations of 1-hydroxypyrene and hydroxyphenanthrene in urine compared to those living in West-Germany.

The separate evaluation for the sub sample of the non-smokers resulted in no additional findings compared with the total sample, except for the body mass index (BMI).

The body mass index (BMI) could be determined as predictor only in the model for the 2/9-hydroxyphenanthrene concentration in urine in the sub-sample of the non-smokers. With increasing BMI, an increase in the 2/9-hydroxyphenanthrene concentration in urine was observed. The calculations of the regression models indicate a slightly positive but not very stable influence of

the body mass index on the 1-hydroxyphenanthrene and  $\Sigma(1-,2/9-,3-)hydroxyphenanthrene$  for the total and the sub-sample.

Besides these predictors, a lot of predictors with less strong or stable effects were determined. Among them are passive smoking in the model for 1-hydroxypyrene in the sub sample of the non-smokers and gender, age of the subject, consumption of coffee, living in urban versus rural areas, distance of home from metal processing factories, use of timber preservatives and occupation as driver in the models for the hydroxyphenanthrene concentrations in urine.

The relations with traffic, consumption of grilled and smoked food and other occupational exposure reported by several other studies could not be found here. This could be due to the fact that the available information was not specific enough or that the number of exposed people in the sample was too small.



## 1 Einleitung

Der Umwelt-Survey dient der Erfassung, Bereitstellung und Aktualisierung von repräsentativen Daten über ausgewählte korporale Schadstoffbelastungen und Schadstoffbelastungen im häuslichen Bereich der Allgemeinbevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland. Die Daten der verschiedenen Erhebungsphasen (Umwelt-Survey 1985/86, Umwelt-Survey 1990/92, Umwelt-Survey 1998) ermöglichen einen zeitlichen Vergleich und eine gesamtdeutsche Berichterstellung zum Human-Biomonitoring und zu Schadstoffbelastungen in den Haushalten. Die an repräsentativen Querschnittsproben gewonnenen Daten dienen darüber hinaus der Ermittlung von Referenzwerten für das Human-Biomonitoring und von Vergleichswerten für die Wohnraum- und Trinkwasserhygiene.

Der Umwelt-Survey bezieht sich auf die erwachsene Wohnbevölkerung in der Bundesrepublik in der Altersgruppe zwischen 18 und 69 Jahren. Er wurde zeitgleich und in enger Kooperation mit dem Gesundheitssurvey des Robert-Koch-Institutes (RKI) durchgeführt.

Das Erhebungsinstrumentarium des Umwelt-Surveys 1998 umfasst, ähnlich wie im Umwelt-Survey 1985/86 und im Umwelt-Survey 1990/92, Blut- und Urinproben der Probanden, Hausstaubproben und Trinkwasserproben aus den Haushalten dieser Probanden, einen umweltbezogenen Fragebogen und einen mehr gesundheitlich und am Lebensstil orientierten Fragebogen. Mit Hilfe des Human-Biomonitorings wurde über die Analyse der Blut- und Urinproben die korporale Belastung der Probanden durch Umweltschadstoffe erfasst. Die Analysen des in den Haushalten entnommenen Trinkwassers sowie des Hausstaubes sind die Grundlage für die Ermittlung der Belastungen im häuslichen Bereich. Aus den Ergebnissen der Befragungen der Probanden wurden Informationen zu Expositionsbedingungen gewonnen (Rauch- und Ernährungsgewohnheiten, Wohnsituation, Wohnungsumgebung). Eine Beschreibung des methodischen Designs des Umwelt-Surveys 1998 findet sich bei Schulz et al. (2003).

Aus organisatorischen und haushaltstechnischen Gründen musste der Umfang des Untersuchungsprogramms des Umwelt-Surveys 1998 gegenüber seinen Vorgängern modifiziert werden. Im Gegensatz zu den Umwelt-Surveys 1985/86 und 1990/92 wurden keine Messungen des Staubniederschlages in den Wohnräumen und in der Außenluft vorgenommen. Auf der anderen Seite wurde das Spektrum der analysierten Schadstoffe ausgeweitet. Messungen der Konzentration

chlororganischer Verbindungen im Blut sowie Chlorphenole und Metaboliten der polzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) im Urin wurden durchgeführt.

Die Gehalte an Metaboliten polzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) im Urin wurden bei einem zufällig ausgewählten Teilkollektiv der Probanden des Umwelt-Surveys 1998 ermittelt. Im einzelnen handelt es sich um folgende Metaboliten:

1-Hydroxypyren

1-Hydroxyphenanthren

2/9-Hydroxyphenanthren

3-Hydroxyphenanthren

$\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$

Entscheidend für die gesundheitliche Bedeutung von PAK in der Umwelt ist die Tatsache, dass PAK zu den stärksten Humankanzerogenen gehören. PAK können außerdem in hohen Dosierungen Wirkungen auf die Haut, das Immunsystem und verschiedene Regulationsvorgänge haben. Vor dem Hintergrund des Gefährdungspotentials durch PAK ist die Kenntnis der Einflussgrößen, welche die korporale Belastung bestimmen, von großer Bedeutung.

Eine Möglichkeit, solche Faktoren zu bestimmen und darüber hinaus ihren Anteil am komplexen Zusammenwirken auf die korporale Belastung zu quantifizieren ist durch die Berechnung multipler regressionsanalytischer Modelle gegeben. Zielkriterium ist dabei, eine möglichst hohe Aufklärung der Varianz der Kriteriumsvariablen zu erreichen, d.h. auf der Grundlage aller wichtigen Informationen diejenigen Einflussgrößen zu ermitteln, die die Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin hauptsächlich bestimmen.

Der vorliegende Berichtsband stellt eine Ergänzung zur deskriptiven, bivariaten Auswertung der PAK-Metaboliten dar, die im Human-Biomonitoring-Band (Band III zum Umwelt-Survey 1998) dargestellt sind (Becker et al. 2002). Dort werden auch die wesentlichen Schritte der statistischen Auswertungen wie der Datengewichtung, der Definition der Zielvariablen, der Auswahl der Gliederungsmerkmale, der angegebenen Kennwerte, der Intervalle für Populationsperzentile zur Ermittlung von Referenzwerten und dem Vorgehen für den zeitlichen Vergleich beschrieben.

Im Rahmen dieses Berichtsbandes wird zunächst eine kurze Studienbeschreibung (Kapitel 2) vorangestellt, bevor die Bedeutung der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) als Umweltschadstoffe beschrieben wird (Kapitel 3). In Kapitel 4 werden Faktoren als potenzielle Prädiktoren hypothesesgeleitet ausgewählt. Danach werden die angewandten statistischen Methoden skizziert (Kapitel 5). Die Ergebnisse der hypothesenorientierten multivariaten Auswertung zur korporalen Belastung mit PAK werden im Kapitel 6 dargestellt und diskutiert. In den Schlussbemerkungen (Kapitel 7) werden schließlich allgemeine Aspekte und Anregungen für künftige Forschungsansätze angeführt.

## 2 Studienbeschreibung

Nachfolgend wird die diesem Projekt zugrunde liegende Stichprobenziehung, die Studienpopulationen, das Erhebungsinstrumentarium sowie die analytischen Methoden kurz beschrieben. Detaillierte Angaben über die angewandten Methoden können Schulz et al. (2003) entnommen werden.

Die Bestimmung der korporalen PAK-Belastung erfolgte durch die Analyse von Morgenurinproben. Das Design des Umwelt-Surveys war multisubstanziell orientiert angelegt und im Hinblick auf die Fragebögen nicht zielgerichtet auf die korporale PAK-Belastung ausgerichtet.

Die folgenden Ausführungen sind in gekürzter Form dem Human-Biomonitoring-Band (Band III zum Umwelt-Survey 1998) entnommen worden, der detaillierte Beschreibungen zu den einzelnen Punkten enthält (Becker et al. 2002).

### 2.1 Stichproben

Analog zu den zwei bisherigen Umwelt-Surveys wurde in der 3. Erhebungsrunde des Umwelt-Surveys 1998 eine Teilstichprobe des Bundes-Gesundheitssurveys 1998, der vom Robert Koch-Institut (RKI) durchgeführt wurde, herangezogen (Krause et al. 1998).

Die Auswahl der Probanden erfolgte nach einer mehrstufigen geschichteten Zufallsstichprobenziehung mit den Schichtungsmerkmalen alte und neue Bundesländer, Gemeindetyp, Alter und Geschlecht (Bellach et al. 1998). Die Grundgesamtheit stellte die 18- bis 79-jährige Wohnbevölkerung in Deutschland dar, die während des Befragungs- und Untersuchungszeitraumes in Privathaushalten lebte und in den Einwohnermeldeämtern mit Hauptwohnsitz gemeldet war. Damit wurden erstmalig ausländische Bürger mit Hauptwohnsitz in Deutschland in die Untersuchungen eingeschlossen, wobei ausreichend gute deutsche Sprachkenntnisse für die Teilnahme Voraussetzung waren. Ausgeschlossen wurden Personen, die in Kasernen, Altersheimen, Krankenhäusern, Heil- und Pflegeanstalten lebten.

Insgesamt umfaßte das Gesamtkollektiv der abgegebenen und verwendbaren Morgenurinproben eine Gesamtzahl von 4742 Proben. Hieraus wurde zufällig eine Teilstichprobe von 573 Proben für die Bestimmung der PAK-Metaboliten ausgewählt.

## 2.2 Erhebungsinstrumentarium

Erhebungsinstrumente des Umwelt-Surveys 1998 waren

- ein kurzes standardisiertes Interview zur Erfassung u.a. expositionsrelevanter Verhaltensweisen und Haushalts-/Wohnumgebungsbedingungen und substanzspezifischer Belastungen,
- ein Dokumentationsbogen zur Charakterisierung der gewonnenen Proben,
- das Innenraummonitoring (Trinkwasser- und Staubsaugerbeutelinhaltsproben),
- das Humanbiomonitoring (Vollblut- und Morgenurinproben).

Zusätzlich zu den Daten aus den Erhebungsunterlagen und den Analyseergebnissen des Umwelt-Surveys liegen von jedem Probanden Angaben aus dem Selbstausfüll-Fragebogen „Bundes-Gesundheitssurveys 1998 – Fragebogen“ (Bellach et al. 1998) sowie klinisch-chemische Laboranalysen und medizinisch-physikalische Untersuchungsergebnisse (Thierfelder et al. 1998) vor. Diese Erhebungsunterlagen und Analysen umfassen Angaben z.B. zum Rauchstatus, zu Ernährungsgewohnheiten, Biozidanwendungen. Außerdem stehen für das Ernährungsverhalten genauere Angaben aus einem Teilkollektiv zur Verfügung, deren Daten im Rahmen des Ernährungssurvey („Diet-History“) (Mensink et al. 1998) erhoben wurden. Die eingesetzten Erhebungsunterlagen und Analysen sind detailliert im Methodenband (Schulz et al. 2003) beschrieben.

Zur Bestimmung der PAK-Metaboliten im Urin wurden die Probanden um eine Morgenurinprobe (erster Toilettengang nach nächtlicher Schlafenszeit) gebeten. Diese wurden mit dekontaminierten 1 l-Vierkantflaschen genommen. Die gewonnenen Morgenurinproben wurden zunächst gewogen und anschließend für die Bestimmung des Creatiningehaltes und der ausgewählten Schadstoffe portioniert. Überschüssige Probenmengen des Morgenurins wurden in Uroboxen überführt.

## 2.3 Analytik und Qualitätskontrolle

Die Bestimmung der PAK-Metaboliten wurde von Ende 1998 bis Anfang 2000 vom Institut für Arbeits-, Sozial- und Umweltmedizin der Friedrich-Alexander Universität Erlangen-Nürnberg durchgeführt.

Folgende PAK-Metaboliten wurden bestimmt: 1-, 2/9-, 3-Hydroxyphenanthren und 1-Hydroxypyren. Die Urinproben wurden enzymatisch hydrolysiert und die Untersuchungsparameter mittels HPLC getrennt und fluoreszenzspektrometrisch detektiert. Mit der eingesetzten Methode ließen sich allerdings die Kongenere 2- und 9-Hydroxyphenanthren nicht trennen, die Gehalte werden daher als Summe dieser beiden Komponenten angegeben (Lintelmann et al. 1999). Für die Bestimmung aller PAK-Metaboliten wurde eine interne Qualitätskontrolle durchgeführt, deren Ergebnisse in Tab. 2.1 zusammenfassend dargestellt sind. In allen verwendeten Kontrollmaterialien lagen die Konzentrationen im unteren Bereich umweltbedingter PAK-Belastungen, so dass die erzielten Präzisionsdaten als gut anzusehen sind.

**Tab. 2.1 : Interne Qualitätskontrolle 1998-2000 – PAK-Metaboliten im Urin**

Substanz	Medium	BG (ng/l)	N	AM (ng/l)	S (ng/l)	VK (%)
1-OH-Pyren	Urin	12	113	111	20	18,0
1-OH-Phenanthren	Urin	16	113	166	11	6,6
2/9-OH-Phenanthren	Urin	4	113	118	16	13,6
3-OH-Phenanthren	Urin	5	113	162	20	12,4

Anmerkungen: BG = Bestimmungsgrenze. N = Anzahl der Kontrollmessungen. AM = arithmetisches Mittel.

s = Standardabweichung. VK (%) = Variationskoeffizient =  $100\% \cdot (s/AM)$

Zur externen Qualitätskontrolle wurde an Ringversuchen der Deutschen Gesellschaft für Arbeitsmedizin und Umweltmedizin e.V. mit Erfolg teilgenommen. Für die Ringversuche 23 (1999), 25 (2000) und 26 (2000) wurden für die Bestimmung von 1-Hydroxypyren im Harn im umweltmedizinischen Bereich die in der Tab. 2.2 dargestellten Resultate erzielt.

**Tab. 2.2 : Externe Qualitätskontrolle 1999-2000 – PAK-Metaboliten im Urin,  
Ergebnisse des 23., 25. und 26. Ringversuchs**

Ringversuch	Probe	Sollwert ( $\mu\text{g/l}$ )	Toleranzbereich ( $\mu\text{g/l}$ )	Istwert ( $\mu\text{g/l}$ )	SWA (%)	Zertifikat
1-OH-Pyren	A	0,74	0,390 – 1,100	0,81	+9	+
	B	1,65	1,040 – 2,260	2,24	+36	+
1-OH-Pyren	A	0,31	0,170 – 0,440	0,22	-29	+
	B	0,75	0,430 – 1,060	0,76	+1	+
1-OH-Pyren	A	0,22	0,120 – 0,320	0,31	+41	+
	B	0,42	0,270 – 0,580	0,53	+26	+

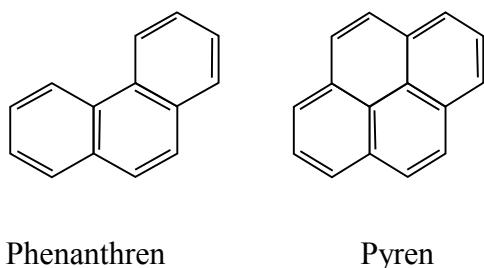
Anmerkungen: SWA (%) =  $100\% \cdot (\text{Istwert} - \text{Sollwert}) / \text{Sollwert}$

### 3 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) – Vorkommen, Verwendung und Wirkung

Mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) wird eine Substanzklasse von mehreren 100 Einzelverbindungen bezeichnet. Die Verbindungen bestehen aus Kohlenstoff- und Wasserstoffatomen in Form von kondensierten und miteinander verbundenen aromatischen Benzolringssystemen. Charakteristisches Strukturmerkmal ist die planare Anordnung der Ringsysteme.

PAK treten grundsätzlich als Gemische unterschiedlicher Zusammensetzungen auf, in denen Pyren und Phenanthren, neben Fluoranthen, häufig zu den dominanten PAK-Verbindungen zählen.

In der nachfolgenden Abb. 3.1 sind die Strukturformeln des Phenanthrens und Pyrens dargestellt.



**Abb. 3.1 : Strukturformel von Phenanthren und Pyren**

---

#### 3.1 Natürliche und anthropogene Quellen der PAK

Im Allgemeinen kann davon ausgegangen werden, dass die natürliche Bildung der PAK keine oder nur eine unwesentliche Rolle spielt (Pott et al. 1992) und dass die PAK-Quellen ausschließlich anthropogener (thermischer) Herkunft sind. Zu den natürlichen Quellen, bei denen PAK nachgewiesen wurden, können im weitesten Sinne auch Waldbrände (Blumer et al. 1975) und Vulkantätigkeiten (Ilnitzki 1983) gezählt werden. Zwar werden nach Untersuchungen von Gräf et al. (1966) PAK in der Natur von einigen Pflanzen und Mikroorganismen synthetisiert, allerdings wird von anderen Autoren (Hase et al. 1976) ein geogener bzw. biosynthetischer Ursprung der PAK bezweifelt.

Nur eine unwesentliche Anzahl von PAK-Verbindungen, z.B. Carbazol, Pyren und Anthracen wird großtechnisch hergestellt und wirtschaftlich genutzt (Haritopoulou 1996). Grundsätzlich werden PAK als ubiquitär vorkommend angesehen, da sie prinzipiell bei jedem Verbrennungsprozeß (Hausbrand, Kraftwerke, Verkehr u.a.) als Nebenprodukte unvollständiger Verbrennung in mehr oder minder starkem Maße gebildet werden. Die Freisetzung dieser Schadstoffe erfolgt auch bei thermischen Prozessen unter Sauerstoffmangel wie z.B. Pyrolyse, Verkokung, Cracken von Kohle und Öl, Teer- und Bitumenherstellung (Hanke et al. 1995, Knecht et al. 1990, 1999). Bei der Verarbeitung und Anwendung dieser Produkte können weitere Sekundäremissionsquellen entstehen.

Durch die Umstellung des Hausbrandes auf Zentralheizungssysteme bzw. den Wechsel von Kohle auf Gas und Öl ist zwar insgesamt in der Bundesrepublik Deutschland ein deutlicher Rückgang der PAK-Emissionen zu verzeichnen (Pott et al. 1992), in Regionen mit hohem Hausbrandanteil und der Verwendung von Kohle als Primärenergieträger können jedoch immer noch erhöhte PAK-Emissionen festgestellt werden (Baumbach et al. 2000, Engewald et al. 1993).

Auch der Verkehr stellt mit seinen Abgasen eine weitere potenzielle PAK-Quelle dar. Besonderes Augenmerk wird dabei auf den Dieselruß gerichtet, der hinreichend unter dem Verdacht steht, die Bildung von Karzinomen zu fördern (Pott et al. 1992). Untersuchungen über die vom Verkehr hervorgerufenen PAK-Emissionen wurden u.a. von Nielsen et al. (1996, 1999) durchgeführt. Dabei wurden deutlich erhöhte PAK-Gehalte einer innerstädtischen Hauptverkehrsstraße gegenüber der normalen Außenluftbelastung festgestellt. Bei Bodenuntersuchungen an Straßenrändern von stark befahrenen Straßen wurden in unmittelbarer Straßennähe ebenfalls erhöhte Belastungen im Boden nachgewiesen (Becht et al. 1998, Joneck et al. 1996). PAK-Emissionen entstehen nach Hirner et al. (1996) jedoch nicht nur bei der Kraftstoffverbrennung, sondern auch durch verbrauchte Schmierstoffe, Autoreifenabrieb und erodierten Straßenbelag. Expositionen der Bevölkerung mit PAK wurden im Ballungsraum Berlin beispielhaft von Fromme et al. (1998) im Autoinnen und in der U-Bahn untersucht.

Aufgrund der ubiquitären Verteilung der PAK ist es nicht verwunderlich, dass PAK auch bei Untersuchungen von Bohrkernen aus dem Grönland-Eis nachgewiesen wurden. Ein deutlicher Anstieg des PAK-Gehaltes konnte dabei etwa ab 1930 verzeichnet werden (Kawamura et al. 1994).

Eine weitere Primärquelle für die Aufnahme von PAK durch den Menschen stellt der Tabakrauch dar, bei dem durch die partiell unvollständige Verbrennung ebenfalls PAK gebildet werden. Eine der PAK-Komponenten, das Benz(a)pyren, gilt als hauptverantwortlich für die durch das Rauchen verursachten Krebserkrankungen. Umfangreiche Untersuchungen hierzu finden sich u.a. bei Baron et al. (1997).

Das ubiquitäre Auftreten der PAK wirft auch die Frage nach der Belastung des Bodens und von Lebensmitteln und Trinkwasser mit PAK auf, zumal lokal begrenzte Quellen wie z.B. Altlasten potenziell eine weitere Belastungsquelle darstellen können. Untersuchungen von Lebensmitteln (Bosset et al. 1997, Gertz et al. 1994, Münkner et al. 1993, Notar et al. 2000), Trinkwasser (Ihme et al. 1996, Lach et al. 1997, Rose et al. 1993a, 1993b) und in Böden (Fiedler et al. 1997, Grimmer 1993) deuten jedoch darauf hin, dass diese Expositionspfade für die Allgemeinbevölkerung von untergeordneter Bedeutung sind. Eine Ausnahme bildet der Verzehr von gegrillten, geräucherten und gerösteten Lebensmitteln bzw. Lebensmittelprodukten, die teilweise erheblich mit PAK belastet sein können (Buckley et al. 1992, Pott et al. 1992). Auch hier wird die Bildung der PAK auf die unvollständige Verbrennung bzw. pyrolytische Bedingungen beim Grillen, Rösten und Räucherprozeß zurückgeführt.

Eine weitere PAK-Quelle stellt die Verwendung von teerhaltigen Parkettklebern dar. Untersuchungen in Wohnbereichen, in denen diese Materialien eingesetzt wurden, zeigten, dass hierdurch erhöhte PAK-Konzentrationen in Innenräumen auftreten können (Dieckow et al. 1999, Heudorf 1999, Heudorf et al. 2000, 2001a). Auch bei der Verwendung von Asphalt-Fußbodenplatten ergaben die Arbeiten von Luther et al. (1990) eine erhöhte Belastung des Staubes der Innenraumluft mit PAK.

Schließlich sind als potenzielle PAK-Quelle noch steinkohlenteerhaltige Kosmetika und Arzneimittel zu nennen.

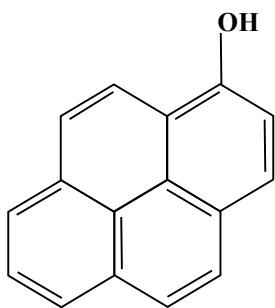
### 3.2 Toxikologie und Metabolisierung

Aufgrund der physikalischen Eigenschaften und des Entstehungsmechanismus sind die PAK überwiegend an Staubpartikel gebunden und werden somit ubiquitär über die Luft in alle Umweltkompartimente verteilt (Moriske 1998). Die Aufnahme der PAK kann dabei sowohl durch Inhalation als auch durch dermale Absorption oder durch Ingestion erfolgen (Angerer et al. 1997b, Boogard et al. 1995, Elovaara et al. 1995, van Rooij et al. 1993a, 1993b, Viau et al. 1995a, 1995b). Einmal in den menschlichen Körper aufgenommene PAK unterliegen einem komplexen Metabolismus, in dessen Verlauf sie allgemein in hydroxylierte Verbindungen umgewandelt werden (Glatt 1976).

Bei einer Reihe polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe wurden sowohl mutagene Wirkungen (z.B. Benzo(g,h,i)perylene, Benz(e)pyren, Indeno(1,2,3-c,d)perylene, Dibenz(a,h)anthracen) als auch kanzerogene (z.B. Chrysene, Benz(a)pyren, Dibenz(a,c)anthracen, Benzo(b/k)fluoranthene) nachgewiesen, wobei Komponenten mit 3 bis 6 aromatischen Ringen als besonders wirksam gelten. Bei Fluoranthene und Pyren wird eine cocancerogene Wirkung vermutet (Moriske 1998).

Die Metabolisierung der PAK erfolgt grundsätzlich in mehreren Stufen über die Bildung von Epoxiden und Diolepoxyden, die für die Karzinogenität einzelner PAK verantwortlich gemacht werden (Angerer 1999), zu hydroxylierten Verbindungen. Diese werden hauptsächlich über die Fäzes und den Urin ausgeschieden (Roggi et al. 1997). Die Art der Metaboliten hängt dabei auch von den jeweiligen PAK und ihrer Zusammensetzung in den jeweiligen Belastungsquellen ab. PAK mit geringerer Molekülmasse werden vorwiegend über den Harn ausgeschieden, während größer-kernige PAK bevorzugt über die Fäzes eliminiert werden (Angerer 1999, Jacob et al. 1996).

Pyren ist eine Komponente, die bei allen bekannten komplexen PAK-Mischungen in relevanten Konzentrationen, wenngleich nicht in einem konstanten Verhältnis zu den kanzerogenen Komponenten, enthalten ist und zu den dominanten Vertretern der PAK gehört. Somit kann einer der Pyren-Metaboliten, das 1-Hydroxypyren, im Urin sehr gut als Biomarker für eine PAK-Belastung insgesamt herangezogen werden (Jongeneelen et al. 1986, 1988, 1990, Roggi et al. 1997). In Abb. 3.2 ist die Strukturformel des 1-Hydroxypyrens dargestellt.



**Abb. 3.2 : Strukturformel des 1-Hydroxypyrens**

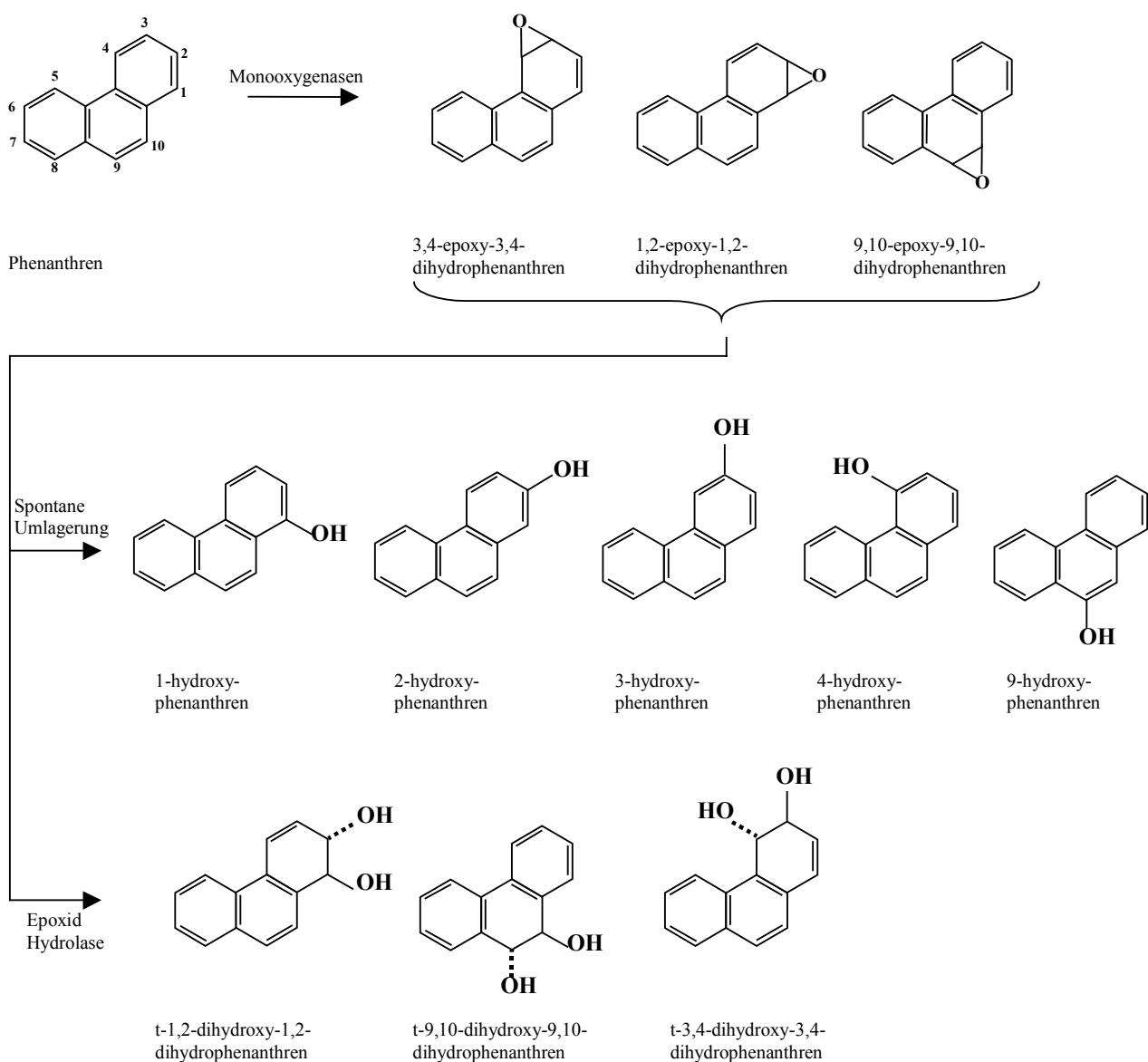
---

Gleiches gilt für die Metaboliten des Phenanthrens, d. h. verschieden substituierte Hydroxyphenanthrene (Angerer et al. 1997a, 1997b) sowie bei Hydroxy-Verbindungen des Chrysens und Benz(a)pyrens (Grimmer et al. 1991), des Naphthalins (Jansen et al. 1995) sowie der Mono- und Dihydroxyverbindungen des Benz(a)pyrens im Urin von Ratten (Fischer et al. 1998). Zudem berichten Grimmer et al. (1993) auch über die Möglichkeit, die Dihydrodiol-Verbindungen zum Biomonitoring heranziehen zu können.

Die wesentlichen Schritte des Metabolisierungsmechanismus zur Hydroxyverbindung sind am Beispiel des Phenanthrens in Abb. 3.3 dargestellt (Jacob et al. 1996). Das Schema macht deutlich, dass die Metabolisierung über mehrere Stufen erfolgt und zu einer Reihe von Produkten führt, von denen gegenwärtig jedoch nur eine begrenzte Zahl mit hinreichender Qualität analysierbar sind.

In einem ersten Schritt wird das Phenanthren durch Monooxygenasen zu Epoxidverbindungen metabolisiert, die wiederum entweder durch Epoxid-Hydrogenasen zu den Dihydroxy-dihydroverbindungen umgesetzt werden oder durch spontane Umlagerungen zu den Monohydroxyphenanthrenen reagieren. Die Präfixe charakterisieren hierbei die Stelle im Phenanthren-Grundgerüst, an der die OH-Gruppe in das Molekül eingeführt wurde.

Konkurrenzreaktionen im Metabolisierungsprozess sind die Mehrfach-Epoxidierung und die Bildung von mehrfach substituierten Komponenten. Somit stellen die einfachen Hydroxyverbindungen nur einen Ausschnitt aus der Vielzahl der möglichen Metabolisierungsprodukte dar.



**Abb. 3.3 : Mechanismus der Metabolisierung am Beispiel des Phenanthrens (Jacob et al. 1996)**

Die Halbwertszeit im Organismus für die Ausscheidung des Pyren in Form von 1-Hydroxypyren wurde in einer Reihe von Untersuchungen mit unterschiedlichen Expositionen bestimmt. Dabei kommen die Autoren zu Ergebnissen, die von 3 Stunden (Buckley et al. 1992) bis 35 Stunden (Jongeneelen et al. 1990) schwanken, meist jedoch zwischen 10 und 20 Stunden (Angerer 1999, Buchet et al. 1992) liegen.

#### **4 Hypothesen zum Auftreten einer korporalen Belastung mit Hydroxypyren und Hydroxyphenanthrenen**

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

In jedem Fall wurden für die multivariate Auswertung diejenigen potenziellen Einflussgrößen berücksichtigt, die im Rahmen der bivariaten deskriptiven Auswertung des Umwelt-Surveys 1998 signifikante Gliederungsmerkmale darstellten (vgl. Becker et al. 2002). Mittels der bivariaten statistischen Auswertung der Daten zur PAK-Metabolitkonzentration im Urin ließen sich Einflüsse des Geschlechtes und des Lebensalters aufzeigen. Ebenso konnte das Rauchverhalten (Rauchstatus, Anzahl der täglich gerauchten Zigaretten) als ein signifikantes Gliederungsmerkmal ausgewiesen werden. Weiterhin konnten bei einer dezentralen Wohnraumheizung (Ofenheizung oder das Betreiben von Kaminen) signifikant höhere Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin konstatiert werden. Ein schwacher Einfluss des Nahrungspfades zeigte sich durch die Signifikanz des Alkoholkonsums dahingehend, dass höhere Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin bei höherem Alkoholkonsum festgestellt wurden.

Da das Biomonitoring meist im Zusammenhang mit beruflichen Expositionen angewendet wird, liegen für einige Berufsgruppen recht umfangreiche Untersuchungen über 1-Hydroxypyren als Indikator für eine PAK-Exposition vor, insbesondere seit Mitte der 80er Jahre die entsprechend verbesserten analytischen Methoden hierzu entwickelt wurden (Jongeneelen et al. 1986). Untersuchungen zur Belastung mit Phenanthren-Metaboliten wurden erst in jüngster Zeit publiziert, so dass über die Belastungen mit diesen Ausscheidungsprodukten noch ein vergleichsweise geringes Datenmaterial vorliegt.

Neben der beruflichen PAK-Expositionen auf die Metaboliten-Exkretion wurden auch Studien über Bevölkerungsgruppen, die in Belastungsgebieten leben (Angerer et al. 1997c), durchgeführt.

Umfassende Untersuchungen zur Belastung der Allgemeinbevölkerung und deren Ursachen liegen bisher nicht vor oder sind zumindest nicht publiziert, wenngleich in den Arbeiten von Angerer (1997c), Göen et al. (1995) und Heudorf et al. (2000) über Daten zur Bandbreite der Metaboliten-

Belastung in der Allgemeinbevölkerung berichtet wird. Auch sind die zumeist relativ geringen Probandenzahlen nur bedingt geeignet, allgemein gültige Aussagen über die Exposition der Allgemeinbevölkerung zu erhalten. Und schließlich muss noch berücksichtigt werden, dass Bedingungen in anderen Ländern möglicherweise nur eingeschränkt auf die Verhältnisse in Deutschland übertragen werden können. Dennoch können aus den in diesen Studien zum Vergleich herangezogenen Kontrollgruppen vereinzelt Belastungspfade zur nicht-beruflichen Exposition der Allgemeinbevölkerung abgeleitet werden.

Da PAK immer als Gemische auftreten und Pyren und Phenanthren häufig zu den dominanten PAK-Komponenten bei allen bekannten Quellen zählen, wird im Hinblick auf die zuvor gemachten Bemerkungen hinsichtlich der eingeschränkten Datenlage für die Phenanthren-Metaboliten und die Exposition der Allgemeinbevölkerung (ohne spezifische berufliche Exposition) sowie der Herkunft der Untersuchungen eine gemeinsame Betrachtung aller Metaboliten zur Ermittlung der Prädiktoren angestellt, unabhängig davon, für welche der jeweiligen Metaboliten die verschiedenen Untersuchungen durchgeführt wurden.

#### **4.1 Individuelle Faktoren und Urinparameter**

Zhao et al. (1992) konnten keine signifikanten Unterschiede der Metaboliten-Gehalte im Harn bezüglich des Alters (je 15 chinesische Mädchen und Frauen, wobei die Mädchen geringfügig erhöhte Gehalte aufwiesen) und des Geschlechtes (30 weibliche unter den insgesamt 151 Probanden mit geringfügig geringeren Konzentrationen) feststellen. In einer Studie an 419 italienischen Probanden wird von Roggi et al. (1997) über eine deutliche Abhängigkeit der 1-Hydroxypyren-Exkretion vom Body Mass Index (BMI) unter den insgesamt 92 Rauchern berichtet, während in der gleichen Untersuchung keine Abhängigkeit vom Alter, vom Geschlecht und den Eßgewohnheiten festzustellen war.

In der vorliegenden Studie werden die im Rahmen des Umwelt-Surveys erhobenen Merkmale Body Mass Index, Alter und Geschlecht als Prädiktoren berücksichtigt.

Für die Urinparameter Retentionszeit und Creatinin erfolgte die Prüfung nur in den Modellen für volumenbezogene PAK-Metaboliten-Gehalte, für Urinmenge, Vollständigkeit und Tageszeit der Probenahme dagegen in allen Modellen.

#### 4.2 Rauchen

Das Rauchen gilt als wesentlicher Expositionspfad für die korporale Belastung mit PAK. Levin (1995) fasste die Ergebnisse des Workshop „Hydroxypyrene as a Biomarker for PAH Exposure in Man 1993“ zusammen, in dem sowohl über Hintergrundbelastungen der Allgemeinbevölkerung in verschiedenen Ländern als auch über berufliche Expositionen berichtet wurde. Als Einflussgrößen für die Hintergrundbelastung wurden neben Eßgewohnheiten die industrielle Umweltverschmutzung und die Rauchgewohnheiten als Expositionsquelle genannt. Im allgemeinen kann der Unterschied in der Belastung mit 1-Hydroxypyren im Harn zwischen Rauchern und Nichtrauchern als statistisch signifikant angesehen werden.

Viau et al. (1995c) (bei 140 kanadischen Freiwilligen) und Øvebro et al. (1995) (bei 128 Probanden aus Norwegen) berichten über einen signifikanten, bei gleichzeitiger beruflicher Exposition aber relativ geringen Zusatzbeitrag durch das Rauchen. Granella et al. (1993) beschreiben in ihrer Untersuchung aus Italien an insgesamt 106 Probanden ebenfalls den erheblichen Einfluss des Rauchens auf die Hintergrundbelastung (22 Raucher unter den 41 Personen der Kontrollgruppe), der allerdings durch berufliche Expositionen überdeckt werden kann. Sherson et al. (1992) konnten in einer Studie über 45 dänische Gießereiarbeiter (bei 52 Probanden einer Kontrollgruppe) dagegen auch bei beruflich exponierten Rauchern einen deutlichen Anstieg ermitteln.

Angerer et al. (1997c) wiesen den signifikanten Einfluss des Rauchens auf die 1-Hydroxypyren-Ausscheidung in Harnproben von 124 Frauen aus einem Industriegebiet in Deutschland nach. Darüber hinaus schieden die rauchenden Probanden (N=27) erhöhte Konzentrationen an 2/9-, 3- und 4-Hydroxyphenanthrenen aus, währenddessen der Gehalt an 1-Hydroxyphenanthren im Urin keinen Einfluss durch das Rauchen, wohl aber durch berufliche Expositionen erkennen ließ. Auch Heudorf et al. (2001b) fanden in ihrer Studie mit 288 Nichtrauchern und 100 Rauchern einen hoch signifikanten Einfluss des Rauchens und eine starke Abhängigkeit von der Zahl der konsumierten Zigaretten auf die Hydroxypyren- und Hydroxyphenanthren-Ausscheidung, die allerdings stark komponentenabhängig ist. Danach lässt sich für die Ausscheidung der 2-, 3- und 4-Hydroxyphenanthrene eine Abhängigkeit sowohl vom Rauchen als auch von der Dosis feststellen, nicht jedoch für die Konzentration des 1-Hydroxyphenanthrens im Urin. Göen et al. (1995) berichten zudem, dass auch beruflich nicht-exponierte Nichtraucher (N=16) gegenüber Nierauchern (N=33) eine deutlich erhöhte 1-Hydroxypyren Ausscheidung aufweisen.

Auch Roggi et al. (1997) belegten in einer Studie mit 419 Probanden, von denen 94 Probanden Raucher waren, den eindeutigen Einfluss des Rauchens auf den 1-Hydroxypyren-Gehalt im Urin, dessen Exkretion von der Höhe des Zigarettenkonsums abhängig ist.

Allerdings gibt es auch Arbeiten wie die von Ferreira et al. (1994) (N=286, Belgien), Jongeneelen et al. (1986), Omland et al. (1994) (N=138, Dänemark) und Zhao et al. (1988, 1990) (N=128, VR China), in denen kein signifikanter Unterschied zwischen Rauchern und Nichtrauchern festgestellt werden konnte. Auch Ny et al. (1993) finden keinen signifikanten Einfluss des Rauchens in ihrer niederländischen Studie mit über 51 Arbeitern in der Aluminium-Industrie, führen dieses Ergebnis aber auf die teilweise sehr hohe berufliche Exposition mit PAK zurück. Zhao et al. (1988, 1990) vermuten andere Einflussgrößen wie die inhalative Aufnahme von PAK in der Außenluft. In einer späteren Arbeit von Zhao et al. (1992) wurden nicht signifikante Unterschiede zwischen Rauchern und Nichtrauchern festgestellt, wobei der tägliche Zigarettenkonsum mit <20/Tag allerdings deutlich geringer war als in anderen Untersuchungen.

Bei der Untersuchung von Passivrauchern konnten keine signifikanten Unterschiede gegenüber Nichtrauchern im Hinblick auf die PAK-Metaboliten-Exkretion festgestellt werden und zwar sowohl für das 1-Hydroxypyren (Scherer et al. 1999) (N=42) als auch für die Hydroxyphenanthrene (Martin et al. 1989) (N=20). Allerdings konnten bei Untersuchungen zur PAK-Belastung von 81 Kindern in Wohnungen mit steinkohlenteerhaltigen Klebern in Parkettböden in manchen Fällen erhöhte 1-Hydroxypyren-Gehalte im Urin festgestellt werden, wenn die Kinder (N=31) in Raucherhaushalten leben (Lederer et al. 1998).

Aus dem Fragebogen des Umwelt-Surveys wurden sowohl die Angaben zu den Rauchgewohnheiten und zum Rauchverhalten als auch die Belastung durch Passivrauchen zur Auswertung herangezogen (vgl. Kapitel 10.7.).

### 4.3 Alkoholkonsum

Der Einfluss des Alkoholkonsums auf den PAK-Metaboliten-Gehalt wird nur vereinzelt in der Literatur beschrieben. Für die Phenanthren-Abbauprodukte wurden in diesem Zusammenhang keinerlei Untersuchungsergebnisse publiziert. Lediglich für das 1-Hydroxypyren werden in der Arbeit von Roggi et al. (1997) leicht positive Effekte bei erhöhtem Alkoholkonsum berichtet, die nach Ansicht der Autoren allerdings durch das Rauchverhalten maskiert werden können. Auch in

zwei niederländischen Untersuchungen konnte mit Hilfe von multiplen Regressionsanalysen weder bei 12 Kokereiarbeitern (Van Rooij et al. 1993a) noch in einer Studie über 76 beruflich nicht-exponierte männliche Freiwillige ein signifikanter Einfluss des Alkoholkonsums oder der Interaktion von Rauchen und Alkoholkonsum auf die 1-Hydroxypyren-Exkretion festgestellt werden (Van Rooij et al. 1994).

Im Umwelt-Survey konnte die aufgenommene Alkoholmenge zum einen aus den im Fragebogen gemachten Angaben berechnet werden. Zum anderen wurden für ein Teilkollektiv genauere Daten zum Alkoholkonsum aus dem Ernährungsverhalten („Diet-History“) errechnet (Mensink et al. 1998).

#### **4.4 Ernährung und Verbrauchsgegenstände**

Buckley et al. (1992, 1995) (USA, N=5 bzw. 24)) und Granella et al. (1993) (Italien, N=106) berichten über einen deutlichen Einfluss PAK-reicher Nahrung (gebratene und geräucherte Lebensmittel, gerösteter Kaffee, pflanzliche Öle, Schellfisch, Toastbrot, Kartoffelchips) auf die Hintergrundbelastung der Allgemeinbevölkerung. Buckley et al. (1992) schließen aus ihren Experimenten mit dem Verzehr von gebratener, fettricher Kost, dass die darin enthaltenen PAK sogar zu Belastungen führen können, wie sie bei beruflicher Exposition erreicht werden. In Studien von Kang et al. (1995a) mit 10 amerikanischen nicht-beruflich exponierten Nichtrauchern bzw. von Sithisarankul et al. (1997) (Italien, N=97) konnte ebenfalls ein deutlicher Anstieg des 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Urin innerhalb der ersten 24 Stunden nach Verzehr von gegrilltem und gebratenem Fleisch feststellt werden.

Entsprechende Variablen ließen sich im Umwelt-Survey aus den Fragen des Fragebogens des Gesundheits-Surveys bzw. der „Diet-History“, die mit gegrillten oder gebratenen Speisen, fettricher und tierischer Kost zusammenhängen, ableiten.

In einer österreichischen Studie (Schlemitz et al. 1996) wurden bei der Untersuchung von 19 verschiedenen Röstkaffeesorten und 2 Kaffeeauszügen PAK nachgewiesen, allerdings schwankten die PAK-Gesamt-Gehalte in den untersuchten Kaffeesorten wie auch das Phenanthren/Pyren-Verhältnis ganz erheblich. In den untersuchten wässrigen Auszügen wurde jedoch ein wesentlich höherer Phenanthrengehalt als Pyrengehalt festgestellt. Im Umwelt-Survey liegen auch Daten zum Kaffeekonsum vor, der daher ebenfalls als Prädiktor berücksichtigt werden kann.

Wichmann et al. (1995) kommen in ihrer Expositionsabschätzung für die Aufnahme von PAK über das Trinkwasser zu einer Abschätzung, dass unter der Annahme der Hintergrundbelastung des Trinkwassers von 3 ng Benz(a)pyren dieser Pfad nur 4 % der Aufnahmemenge der gesamten Nahrung ausmacht. Aus dem Fragebogen des Umwelt-Surveys wurden die Angaben zum täglichen Trinkwasservolumen aus Leitungen des Haushaltes bei Eigenwasserversorgung als Prädiktor verwendet.

In Einzelfällen kann auch die Verwendung von teerhaltigen Zusatzmitteln in Shampoos zu einer dermalen Exposition führen (Strickland et al. 1996, Viau et al. 1995a). Im Umwelt-Survey wurde allerdings nicht nach der Verwendung von Haarpflegemitteln gefragt und Daten zur Anwendung teerhaltiger Arzneimittel (Salben) standen nicht zur Verfügung.

#### 4.5 Wohnungsumfeld

In einer Untersuchung von Anwohnern eines Industriegebietes fanden Angerer et al. (1997c) neben dem signifikanten Einfluss des Rauchens und der beruflichen Exposition gegenüber PAK auch einen tendenziellen Einfluss durch industrielle Ballungsregionen. Dies wird durch Untersuchungen aus China (Zhao et al. 1995) (N=310) unterstützt, in denen bei Jungen aus verschiedenen Städten und Regionen (Belastungs- und Reinluftgebiete) positive Korrelationen zwischen der Benz(a)pyren-Konzentration in der Außenluft (auf einem allerdings insgesamt weit höheren Belastungsniveau als in Deutschland) und der 1-Hydroxypyren-Ausscheidung festgestellt wurden. In dieser Studie konnte in den Wintermonaten, bedingt durch die zum Heizen verwendete Kohle und die damit einhergehende erheblich höhere allgemeine Umweltbelastung, auch eine signifikante Erhöhung des 1-Hydroxypyrens im Urin festgestellt werden. Zudem wurde außerdem aufgrund der signifikant erhöhten Ausscheidungen dieses PAK-Metaboliten bei Verkehrspolizisten (N=31) im Vergleich zur Normalbevölkerung der Verkehr als erhebliche PAK-Quelle identifiziert. Auch Kanoh et al. (1993) fanden bei der Untersuchung von 139 Harnen japanischer Grundschulkinder erhöhte Werte für Kinder aus Regionen mit hohem Verkehrsaufkommen.

Diese Untersuchungen zeigen die Bedeutung des allgemeinen und relativ unspezifischen Prädiktors „Ballungsgebiet“, der im Umwelt-Survey durch Wohngebiet, Verkehrsdichte, betriebliche Emittenten in der Nähe und Heizungsart operationalisiert wurde.

In Untersuchungen über die PAK-Konzentration in der Außenluft in den verschiedenen Bundesländern wurden zwar nur wenige explizite Daten für Pyren und Phenanthren ausgewiesen, der Gesamtgehalt war in den neuen Bundesländern gegenüber den alten Bundesländern jedoch erhöht (Beck 1999). Daraus ließ sich wegen des generell höheren Hausbrandanteils in den neuen Bundesländern der Prädiktor Ost/West ableiten.

Weiterhin wurden Variable, die im Zusammenhang mit einem möglichen Schadstoffeintrag in den Wohnbereich (z.B. Eintrag von Schmutz in die Wohnung) und mit der Schmutzverwirbelung stehen (z.B. Anzahl Personen im Haushalt), geprüft.

Da in einigen wenigen Produktionsprozessen der Metall verarbeitenden Industrie (z.B. Gießereien) auch PAK in die Luft freigesetzt werden können, wurde auch die Angabe im Umwelt-Survey „Metall verarbeitender Betrieb in der Nähe der Wohnung“ als potenzieller Prädiktor geprüft.

#### **4.6 Häuslicher Bereich**

Nach einer Studie von Moriske et al. (1996) können in Innenräumen erhebliche Zunahmen der PAK-Belastungen während der Heizperioden ermittelt werden. Dies ist nicht nur auf die untersuchten Ofenheizungswohnungen beschränkt, sondern lässt sich, wenn auch nicht ganz so ausgeprägt, bei zentral beheizten Wohnungen feststellen. In einem der untersuchten Fälle konnten in einer zentral beheizten Wohnung durch den im Keller befindlichen defekten Heizkessel erhebliche Immissionen ermittelt werden, die zunächst als eine von außen eingetragene Innenraumluftbelastung mit PAK gewertet wurde.

Von Zhao et al. (1992) wurden signifikante Unterschiede zwischen Winter- und Sommerproben ermittelt, die ebenfalls auf die erhöhten Gehalte von PAK in der Außenluft in den Wintermonaten und dabei auf den vermehrten Hausbrand zurückgeführt wurden.

Als Prädiktoren wurden die im Umwelt-Survey enthaltenen Angaben zur Heizungsart sowie die Variable Heizperiode (ja/nein), die aus dem Datum der Probenahme gebildet wurde, verwendet.

Eine weitere Expositionsmöglichkeit ist die Verwendung von teerhaltigen Parkettklebern, die über den mit PAK kontaminierten Hausstaub zu nennenswerten Belastungen im häuslichen Bereich führen kann, wenngleich in der Untersuchung von 347 Kinder-Harnproben keine gegenüber Kontrollgruppen erhöhte Metaboliten-Ausscheidung nachgewiesen wurde (Angerer 1999, Heudorf

1999, Heudorf et al. 2000). Allerdings war das Problem der teerhaltigen Parkettkleber zum Zeitpunkt der Planung des Umwelt-Surveys und der Entwicklung des Fragebogens noch nicht bekannt. Daher waren im Fragebogen weder direkte Fragen zu diesem Komplex enthalten noch ließ sich aus den enthaltenen Fragen eine Surrogat-Variable ableiten.

Als PAK-haltiges Holzschutzmittel kann Carbofum, ein Gemisch aus Steinkohlenteerbestandteilen zur Anwendung kommen, das bei beruflicher Exposition zu erheblichen korporalen PAK-Belastungen führt (Elovaara et al. 1995, Jongeneelen et al. 1985). Die im Umwelt-Survey gestellten Fragen zur Holzschutzmittelnutzung in Wohnräumen werden daher als Prädiktoren berücksichtigt.

#### 4.7 Arbeitsplatz

Berufliche PAK-Expositionen sind für verschiedene Berufssparten bekannt und eingehend untersucht worden. Hierbei hat sich das Biomonitoring in den letzten 15 Jahren als eine geeignete und sehr empfindliche Methode zur Abschätzung der korporalen PAK-Belastung entwickelt.

Für einige Berufsgruppen liegen umfangreiche Untersuchungen über 1-Hydroxypyren als Marker für eine PAK-Exposition vor.

Adams et al. (1999) berichten über erhöhte Belastungen in der Feuerfestindustrie, bei der pechgebundene Konvertersteine hergestellt werden.

Angerer et al. (1997a) untersuchten in ihrer Studie zur beruflichen Exposition bei der Herstellung von Graphit-Elektroden die unterschiedlichen Teilprozesse und konnten teilweise erhebliche 1-Hydroxypyren-Belastungen im Urin der Arbeiter nachweisen. Außerdem wurden auch verschiedene Hydroxyphenanthrene bestimmt, die ebenfalls deutliche erhöhte Konzentrationen im Urin gegenüber Kontrollgruppen lieferten. Auch Dell'Omo et al. (1998) finden für diese Berufsgruppe deutliche Belastungen.

Elovaara et al. (1995) und Jongeneelen et al. (1985) kamen in ihrer Untersuchung über die Belastung von Arbeitern bei der Holz-Imprägnierung mit Carbofum zu dem Ergebnis, dass neben der inhalativen Aufnahme vor allem die dermale Aufnahme der PAK eine erhebliche Rolle spielen kann. Dies wiesen auch Van Rooij et al. (1993a) für Kokerei-Arbeiter nach.

Hansen et al. (1994, 1995) und Omland et al. (1994) wiesen deutlich erhöhte Werte bei Arbeitern in Eisengießereien nach. Omland et al. (1994) zeigten zudem in ihrer Untersuchung die deutliche Zunahme der PAK-Metaboliten im Verlauf der Arbeitswoche. Zu ähnlichen Ergebnissen kommen Heikkilä et al. (1995) und Jongeneelen (1992) in Studien über Arbeiter in der Teer verarbeitenden Industrie.

In einer Untersuchung über die Belastung von Schornsteinfegern durch PAK im Zusammenhang mit dem Einsatz der verschiedenen fossilen Brennstoffe wurde von Elliehausen et al. (1997) festgestellt, dass bei der Kaminreinigung von mit Steinkohle beheizten Öfen deutlich höhere Gehalte im Urin auftreten als bei solchen in denen Braunkohle oder gar Öl/Gas verwendet wird. In dieser Studie überwogen diese Effekte sogar die der Rauchgewohnheiten. Nach Letzel et al. (1992) können bei Untersuchungen von Schornsteinfegern jedoch keine signifikanten Erhöhungen gegenüber der beruflich nicht exponierten Normalbevölkerung festgestellt werden.

Weitere Expositionen sind aus der Aluminium-Industrie aus dem Elektrolyse-Bereich (Ny et al. 1993), von Straßenarbeitern (Boogard et al. 1995, Burgaz et al. 1992, Jongeneelen et al. 1988), aus der Petrochemie (Boogard et al. 1994, 1995) und von Lokomotiv-Mechanikern (Scheepers et al. 1995) bekannt. Zudem konnten nennenswerte PAK-Konzentrationen in der Luft an Arbeitsplätzen bei Bäckern und Köchen von Bratereien ermittelt werden (Mingzhen et al. 1995, Vainiotalo et al. 1993). Zhao et al. (1990) stellen in ihrer Untersuchung bei diesen Berufsgruppen eine deutliche Erhöhung der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Urin gegenüber der nicht exponierten Kontrollgruppe fest.

Im Umwelt-Survey wurde nicht explizit nach der Art der beruflichen Belastung gefragt, sondern es wurde nur der dreistellige Berufscode („Klassifizierung der Berufe, Ausgabe 1975“ des Statistischen Bundesamtes<sup>1</sup>) registriert. Da die oben genannten potenziell belasteten Berufsgruppen insgesamt nur eine äußerst geringe Zahl unter den Berufstätigen des Umwelt-Surveys bilden, wurden diese Berufszweige zu einem Prädiktor „Tätigkeitsgruppe gefährdete Berufe“ zusammengefaßt. Darüber hinaus konnte lediglich die dichotome Variable „Kraftfahrzeugführer“

---

<sup>1</sup> Die Klassifizierung ist unter folgender Internet-Adresse zu finden:  
[http://www.gesis.org/Dauerbeobachtung/Mikrodaten/daten/abteilungsdaten/mikrozensen/mz\\_1991/klDb75\\_91.htm](http://www.gesis.org/Dauerbeobachtung/Mikrodaten/daten/abteilungsdaten/mikrozensen/mz_1991/klDb75_91.htm)

separat geprüft werden. Zusätzlich wurde der Umfang der Berufstätigkeit und der Schmutzeintrag in die Wohnung bei der Modellbildung berücksichtigt.

## 5 Statistische Methoden

### 5.1 Überblick über die Vorgehensweise

Mit multivariaten Zusammenhangsanalysen sollen die wichtigsten PAK-Expositionsquellen und -bedingungen identifiziert, ihre Bedeutung und Stärke bestimmt und ihre Wirkung quantifiziert werden. Als Verfahren wurden multiple Regressionsanalysen eingesetzt, mit denen in Regressionsmodellen die Effekte von Einflussfaktoren (Prädiktoren) auf die 1-Hydroxypyren-, 1-Hydroxyphenanthren-, 2/9-Hydroxyphenanthren-, 3-Hydroxyphenanthren- und  $\Sigma(1-, 2/9-, 3-)$ -Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin geschätzt werden. Hinreichende Modellgüte vorausgesetzt, kann mit den Modellgleichungen vorhergesagt werden, welche Belastung für eine Person mit bekannten Expositionsbedingungen im Mittel zu erwarten ist.

Die Konzentrationen der gemessenen Metaboliten der PAK im Urin werden auch durch die Konzentration bzw. Verdünnung des Urins bestimmt. Um diesen Effekt unterschiedlicher Urinkonzentrationen zu eliminieren, sollen die Gehalte der Metaboliten der PAK am Creatiningehalt normiert werden, d.h. es wird der Gehalt an Metaboliten der PAK pro g Creatinin berechnet. Obwohl eine solche Normierung auch kritisch gesehen wird, so ist sie dennoch üblich und wird in zahlreichen Veröffentlichungen angewendet. Daher sollen im Bericht sowohl die volumenbezogenen als auch die creatininbezogenen Gehalte der PAK-Metaboliten analysiert werden. In den Modellen für die volumenbezogenen Gehalte wird dabei der Creatiningehalt im Urin als Confounder berücksichtigt.

Es ist zu beachten, dass die Regressionsmodelle nur für die 18- bis 69jährige Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland gelten, da die Stichprobe des Umwelt-Surveys nur diese Altersjahrgänge umfaßte.

### 5.2 Die Prädiktorvariablen

Als Prädiktoren oder Prädiktorvariablen werden in multivariaten Analysen die Einflussfaktoren bezeichnet, deren Effekt für eine bestimmte Zielgröße, hier die Gehalte der Metaboliten der PAK, mit dem Modell geschätzt wird. Alle potenziellen Prädiktoren sind im Anhang (Kap. 10.7) kurz beschrieben. Im Anhang (Kap. 10.1 bis 10.6) sind statistische Kennwerte angegeben, die die in den Modellen enthaltenen Prädiktoren näher charakterisieren.

Bei **kategorialen Prädiktoren** mit mehr als 2 Ausprägungen wurde eine Dummycodierung durchgeführt (z.B. Bortz 1993). Das heißt, dass eine Variable in mehrere zweistufige Variablen zerlegt wurde. Zum Beispiel wurden aus der Frage nach der Art des Wohngebietes mit den Ausprägungen ‘ländlich’, ‘vorstädtisch’ und ‘städtisch’ 2 Variablen: eine Variable mit den Ausprägungen ‘ländlich’ und ‘vorstädtisch/städtisch’ und eine weitere Variable mit den Ausprägungen ‘ländlich/vorstädtisch’ und ‘städtisch’.

**Ordinalen Prädiktoren** wurden - wenn möglich - metrisiert. So lauteten z.B. bei der Frage nach der Häufigkeit des Verzehrs von mit Holzkohle gegrillten Speisen die Antwortvorgaben ‘(fast) nie’, ‘einmal im Monat oder seltener’, ‘zwei- bis dreimal im Monat’, ‘etwa einmal in der Woche’, ‘mehrmais in der Woche’, ‘täglich bzw. fast täglich’ und ‘mehrmais täglich’. Diese wurden in geschätzte Häufigkeiten des Verzehrs von mit Holzkohle gegrillten Speisen pro Monat umgerechnet. Durch diese Transformation ist eine bessere quantitative Abschätzung der Exposition bei Verwendung einer einzigen Variablen zur Häufigkeit des Verzehrs von mit Holzkohle gegrillten Speisen möglich. Zusätzlich wurde untersucht, ob durch eine Dichotomisierung solcher Variablen, also z.B. ‘weniger als einmal pro Woche’ gegenüber ‘einmal pro Woche und häufiger’ eine vergleichbare Erklärung der Varianz des Kriteriums erzielbar ist.

Für **metrische Prädiktoren** wurde untersucht, ob durch logarithmische Variablentransformationen bessere Regressionsmodelle zu erreichen sind. Ein Grund für die gewählte Transformation ist darin zu sehen, dass bei einer logarithmierten Prädiktorvariablen die extrem hohen Werte, die oft wenig verlässlich sind, nicht so ins Gewicht fallen (z.B. hohe Anzahl gerauchter Zigaretten). Welche der Prädiktoren auch als logarithmierte Prädiktorvariablen in den Regressionsmodellen verwendet wurden ist im Anhang (Kap. 10.7) dokumentiert.

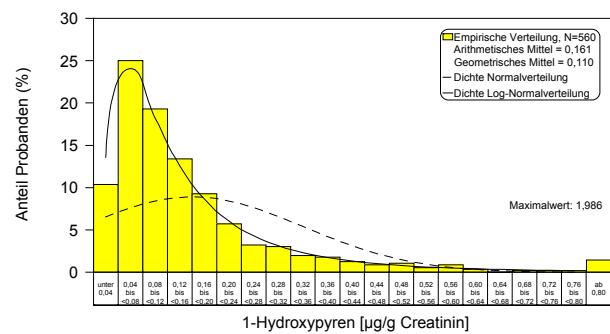
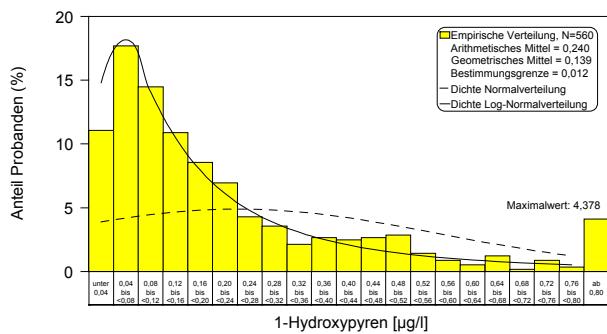
Wechselwirkungen zwischen mehreren Faktoren, die die Konzentrationen der Metaboliten der PAK im Urin bestimmen könnten, wurden nicht getestet, da sich für Interaktionen aus der Literaturrecherche keine Anhaltspunkte ergaben.

### 5.3 Die Kriteriumsvariablen

Als Kriterium, Kriteriumsvariable oder Zielvariable wird in den multivariaten Analysen die untersuchte Schadstoffbelastung bezeichnet, hier also die Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin.

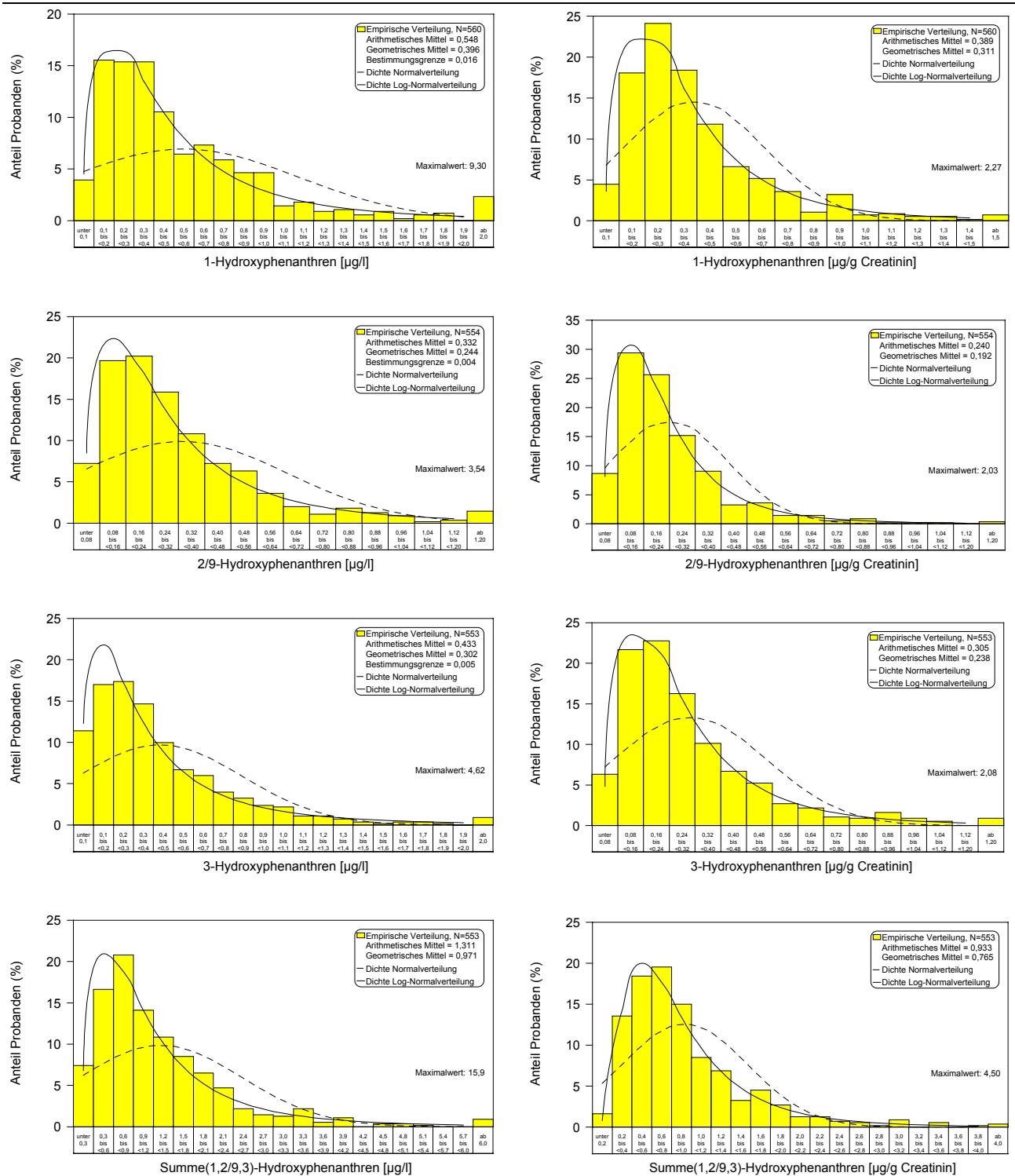
Messwerte unter der Bestimmungsgrenze wurden jeweils mit der halben Bestimmungsgrenze berücksichtigt.

Im Umwelt-Survey 1998 Band III Human-Biomonitoring (Becker et. al 2002) sind die statistischen Kennwerte der Kriteriumsvariablen tabelliert sowie die Messwerteverteilungen grafisch dargestellt. Die Form der Verteilungen ist stark linksschief. Aus theoretischer Sicht (Ott 1990) können für die Kriteriumsvariablen Lognormalverteilungen angenommen werden, d.h. durch Logarithmieren lassen sich die Verteilungen der Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin näherungsweise in eine Normalverteilung überführen (vgl. Abb. 5.1 und Abb. 5.2). Da die umfassende Anwendung der multiplen Regressionsanalysen eine normalverteilte Kriteriumsvariable voraussetzt, ist eine solche Transformation unumgänglich.



**Abb. 5.1 : Verteilung der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin für die den Regressionsmodellen zugrunde liegenden Stichproben**

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998



**Abb. 5.2 : Verteilungen der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin für die den Regressionsmodellen zugrunde liegenden Stichproben**

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

Die Auswertung erfolgte für alle untersuchten PAK-Metaboliten sowohl für die auf das Harnvolumen bezogenen Daten als auch für die auf die Creatininausscheidung bezogenen Daten. Der Bezug auf das Creatinin wird im biologischen Monitoring vielfach gewählt, um die Varianz der Analysewerte durch die unterschiedlichen Verdünnungen des Harns, bedingt durch unterschiedliche Flüssigkeitsaufnahme und –abfuhr, auszugleichen (Weihrauch et al. 1997). Hierbei wird davon ausgegangen, dass die Creatininausscheidung über den Tag hinweg konstant ist. Allerdings weisen Untersuchungen von Alessio et al. (1985) darauf hin, dass es erhebliche intra- und interindividuelle Schwankungen bei der Creatininausscheidung gibt. Sie ist zwar nahezu unbeeinflusst von der Diurese, der Creatiningehalt nimmt allerdings mit zunehmendem Alter im Urin ab. Auch scheiden Männer mehr Creatinin als Frauen aus.

Nach Untersuchungen anderer Autoren (Kang et al. 1995b, Levin et al. 1995, Sithisarankul et al. 1997, Siwinska et al. 1998) wird durch den Creatininbezug speziell für PAK-Metaboliten auch keine Verbesserung hinsichtlich der Zusammenhänge zwischen Exposition und Metaboliten-Ausscheidung erreicht. Insofern ist der Bezug auf Creatinin durchaus umstritten, wird aber im Rahmen dieser Studie zusätzlich gewählt, um auch hier Vergleiche mit den Literaturdaten zu ermöglichen.

An dieser Stelle ist darauf hinzuweisen, dass die volumen- und creatininbezogenen PAK-Gehalte im Morgenurin hoch korreliert sind. In der Gesamtstichprobe liegen die Korrelationen zwischen den volumen- und creatininbezogenen Gehalten zwischen  $r=0,72$  und  $r=0,85$ , in der Teilstichprobe der Nichtraucher liegen die Korrelationen zwischen  $r=0,70$  und  $r=0,83$ . Aufgrund dieser hohen Korrelationen ist zu erwarten, dass sich die volumen- und creatininbezogenen Regressionsmodelle nur wenig unterscheiden.

In den Regressionsanalysen für die creatininbezogenen Kriteriumswerte werden alle in Kapitel 4 aufgeführten potenziellen Einflussgrößen zugelassen – nur das Creatinin im Urin entfällt.

## 5.4 Das Regressionsmodell

Die hier verwendete multiple lineare Regressionsanalyse ist das gebräuchlichste Verfahren einer multivariaten Zusammenhangsanalyse für eine stetige Kriteriumsvariable.

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

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

$$\ln(y) = b_0 + b_1 \cdot x_1 + b_2 \cdot x_2 + \dots + b_m \cdot x_m \quad (1)$$

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

Da das Ziel der Analysen kein Modell für die logarithmierten, sondern die ursprünglichen Gehalte der Metaboliten der PAK im Urin ist, wird die Regressionsgleichung durch Exponentieren umgeformt:

$$y = \exp(b_0) \cdot \exp(b_1)^{x_1} \cdot \exp(b_2)^{x_2} \cdot \dots \cdot \exp(b_m)^{x_m} \quad (2)$$

Das additive Modell für die logarithmierten Gehalte im Urin wird dadurch zu einem multiplikativen Modell für die originalen Gehalte der Metaboliten der PAK im Urin.

In dieser multiplikativen Form ist das Regressionsmodell besonders für relative (prozentuale) Aussagen über die Wirkung einer Zu- oder Abnahme von Expositionen auf die Schadstoffbelastung geeignet. Der Regressionskoeffizient  $\exp(b_i)$  gibt an, mit welchem Faktor der Kriteriumswert zu multiplizieren ist, wenn sich Prädiktor  $x_i$  um eine Einheit erhöht, oder wie hier: um wieviel Prozent  $(100 * (\exp(b_i) - 1))$  sich die korporale oder häusliche PAK-Belastung erhöht, wenn die Expositionskomponente (Prädiktor  $x_i$ ) um eine Einheit zunimmt.

Ist der Prädiktor selbst eine transformierte Variable, also z.B.  $x_i = \ln(y_i)$ , so gilt die obige Aussage zwar für die Logarithmen von  $y_i$ , aber nicht mehr für die originale Variable  $y_i$ . Die prozentuale Zu- oder Abnahme der Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin je Änderung der originalen Variablen  $y_i$

ist nicht mehr konstant. Sie kann steigen oder sinken, in Abhängigkeit von Wertebereich und Form der zur Transformation benutzten Funktion.

Im speziellen Fall der logarithmischen Transformation ist  $\exp(b_i)^{x_i} = \exp(b_i)^{\ln(y_i)} = y_i^{b_i}$ .

Ist die logarithmisch transformierte Variable der Creatinineinhalt im Urin (z.B.  $x_1 = \ln(y_1)$ ), so erhält man aus Gleichung (2) nach Division durch  $y_1^{b_1}$ :

$$y / y_1^{b_1} = \exp(b_0) \cdot \exp(b_2)^{x_2} \cdot \dots \cdot \exp(b_m)^{x_m} \quad (3)$$

Aus dieser Gleichung ist zu erkennen, dass für die volumen- und creatininbezogenen Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin ähnliche Effekte geschätzt werden. Für  $b_1 \rightarrow 1$  werden identische Effekte geschätzt.

## 5.5 Die Modellbildung

Die Berechnungen wurden mit der Version 8.0 der Statistik-Software SPSS für Windows durchgeführt.

Da bei der Modellbildung aus z.T. inhaltlich recht ähnlichen Prädiktorvariablen eine Auswahl getroffen werden musste, wurden schrittweise Regressionen durchgeführt. Es wurden sukzessive die Variablen eliminiert, die keine Effekte auf das Zielkriterium erkennen ließen. Wegen der jetzt steigenden Zahl von vollständigen Datensätzen wurden erneut schrittweise Regressionen gerechnet und die Stabilität der gefundenen Modelle betrachtet. Weiterhin wurden unspezifische Prädiktoren wie z.B. „Wohnort in den alten oder neuen Bundesländern“ vorübergehend aus dem Modell entfernt, um solche Effekte möglicherweise durch inhaltlich besser begründbare Prädiktoren zu ersetzen.

Für in die Regressionsmodelle aufzunehmende Prädiktoren wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha < 0,05$  gefordert. Eine solche erscheint bei der gegebenen Stichprobengröße als angemessen, um einerseits Effekte zu erkennen und andererseits eine ausreichende Power zu erhalten.

Modelle wurden für die volumen- und creatininbezogenen Gehalte der PAK-Metaboliten in der Gesamtstichprobe und in der Teilstichprobe der Nichtraucher berechnet. Die für die Regressionsanalysen verwendeten Variablen sind im Anhang 10.7 aufgeführt. Im nächsten Schritt

wurden Modellmodifikationen zur Vereinheitlichung und besseren Interpretierbarkeit durchgeführt ohne größere Verluste (maximal 1 %) an Varianzaufklärung durch die Modelle.

Es wurde überprüft, ob die Modelle auch bei **Kreuzvalidierung** stabil bleiben. Dazu wurden zwei zufällige Teilstichproben gebildet und für diese Teilstichproben die Modelle mit den gleichen Prädiktoren berechnet (vgl. z.B. Bortz 1993). Anschließend wurden die Varianzaufklärungsraten des zur Teilstichprobe A (bzw. B) gehörenden Modells für die Daten der Teilstichprobe B (bzw. A) berechnet. Wegen der geringen Stichprobenumfänge in den Teilstichproben, insbesondere bei den Regressionsmodellen für die Nichtraucher, wurde dabei nicht ausschließlich auf die Signifikanz der Prädiktoren in den Teilstichproben geschaut, sondern vielmehr eine ähnliche Richtung und Stärke der Effekte in den Teilstichproben beurteilt.

In ein Regressionsmodell aufgenommen werden alle signifikanten Prädiktoren, die in wenigstens einem Modell (volumen- bzw. creatininbezogene Gehalte in Gesamtstichprobe und in Teilstichprobe der Nichtraucher) mindestens 1 % zur Aufklärung der Kriteriumsvarianz beitragen. Diese werden im folgenden als **Prädiktoren mit bedeutsamen Effekten** oder **bedeutsame Prädiktoren** bezeichnet.

Um Hinweise auf weitere mögliche Effekte zu finden, wurden auf der Basis des gefundenen Regressionsmodells alle nicht im Modell enthaltenen Variablen nochmals jeweils einzeln zusätzlich in das Modell aufgenommen und geprüft. Für die zusätzlichen Variablen wurde jeweils nur  $p < 0,1$  gefordert und Varianzaufklärungsraten unter 1 % zugelassen. Solche Variablen, die zwar Hinweise auf mögliche Zusammenhänge mit der Kriteriumsvariablen geben, aber dennoch als „unsicher“ gelten, werden im folgenden als **Prädiktoren mit schwachen Effekten** bezeichnet. Dazu zählen auch solche Variablen, die bezüglich des p-Wertes und der Varianzaufklärungsrate die Kriterien von bedeutsamen Prädiktoren erfüllen, sich jedoch bei Kreuzvalidierung als instabil herausstellten. Die schwachen Effekte werden ebenfalls im Ergebnisteil dargestellt und diskutiert.

## 5.6 Kennwerte für die Güte eines Regressionsmodells

Zur Bewertung der Güte eines Regressionsmodells werden hier folgende inhaltliche und praktische Gesichtspunkte beachtet: Das Modell soll sparsam, stabil und einfach zu handhaben sein und nur plausible, leicht interpretierbare Prädiktoren enthalten. Auch der Umweltmediziner sollte die

Prädiktoren möglichst in seiner Praxis erfassen und das Modell für potenziell PAK-belastete Patienten anwenden können.

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

- Die multiple Korrelation R: Das ist die Korrelation der auf der Grundlage des Regressionsmodells geschätzten Kriteriumswerte mit den tatsächlichen Kriteriumswerten.
- Das multiple Bestimmtheitsmaß  $R^2$ : Berechnet als Quadrat der multiplen Korrelation gibt das multiple Bestimmtheitsmaß an, welcher Anteil der Varianz der Kriteriumswerte durch die Prädiktoren erklärt wird.
- Das adjustierte oder korrigierte Bestimmtheitsmaß: Es korrigiert die unter bestimmten Bedingungen entstehenden überhöhten Varianzaufklärungsraten. Diese Korrektur wirkt um so stärker, je größer die Prädiktorenanzahl im Verhältnis zum Stichprobenumfang ist. Bei den für die Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin gefundenen Modellen wirkt sich diese Korrektur nicht nennenswert aus.
- Die Signifikanz der multiplen Korrelation kann - analog zur bivariaten Korrelation - getestet werden. Eine nicht signifikante multiple Korrelation muss als zufallsbedingt angesehen werden, ihre Parameter dürfen nicht interpretiert werden. Da alle hier berichteten multiplen Korrelationen auf dem 5 %-Niveau signifikant sind, wird darauf im folgenden nicht mehr eingegangen.

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

## 5.7 Kennwerte der Prädiktoren

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

- Signifikanz des Prädiktors: Ein Signifikanztest prüft, ob der Prädiktor in der Grundgesamtheit einen von Null abweichenden Regressionskoeffizienten hat, also statistisch bedeutsam ist. Alle Prädiktoren, über die im folgenden berichtet wird, sind - wenn nichts anderes angemerkt wird - auf dem 0,05 %-Niveau signifikant.
- Schätzung des Regressionskoeffizienten für das multiplikative Modell mit Konfidenzintervall: Der Schätzwert stellt eine Punktschätzung des Regressionskoeffizienten in der Grundgesamtheit dar und sollte zusammen mit seinem 95 %-Konfidenzintervall betrachtet werden, dem Bereich, in dem der Regressionskoeffizient mit 95 % Wahrscheinlichkeit liegt. Je breiter das Konfidenzintervall ist, desto ungenauer ist die Schätzung des Parameters.
- Der standardisierte Regressionsparameter  $\beta$  (genauer: der Standardpartialregressionskoeffizient für das lineare Modell mit logarithmierten Kriteriumswerten): Er kann zum Vergleich der Wirksamkeit verschiedener Prädiktoren verwendet werden. Er verändert sich bei Änderung der Maßeinheit des Prädiktors nicht. Außerdem wird er zur Berechnung des Varianzbeitrages des Prädiktors herangezogen.
- Die bivariate Korrelation  $r$  des Prädiktors mit dem Kriterium.
- Der Varianzanteil des Prädiktors, auch Varianzkomponente oder Varianzbeitrag des Prädiktors genannt: Er gibt an, welchen Anteil der Kriteriumsvarianz im Regressionsmodell durch den Prädiktor erklärt wird. Dieser wird rechnerisch als Produkt  $\beta \cdot r$  bestimmt und sollte in der Regel mindestens 0,01 bzw. 1 % betragen. Die Summe der Varianzkomponenten für alle Prädiktoren des Modells ergibt  $R^2$ , also den insgesamt durch das Modell aufgeklärten Anteil der Kriteriumsvarianz.
- Die Partialkorrelation des Prädiktors mit dem Kriterium: Sie gibt die Korrelation des Prädiktors mit dem Kriterium an, nachdem alle linearen Effekte der übrigen Prädiktoren aus diesem Prädiktor und dem Kriterium rechnerisch entfernt wurden.

- Die Korrelationen des Prädiktors mit den anderen Prädiktoren: Diese müssen betrachtet werden, um eine Verletzung der Verfahrensvoraussetzung geringer Multikollinearität zu erkennen.

Bei der Interpretation der Prädiktoren ist folgendes zu beachten: Auch wenn multivariate Zusammenhangsanalysen durchgeführt wurden und ein Regressionsmodell mit varianzstarken, stabilen und plausiblen Prädiktoren gefunden wird, können dieser Prädiktoren nicht als ursächlich für das Kriterium gesehen werden. Insbesondere gilt dies natürlich offensichtlich für den Creatiningehalt im Urin in den Modellen für die volumenbezogenen Gehalte der Metaboliten der PAK, der eher ein Maß der Konzentration des Urins darstellt und daher mit den Konzentrationen der PAK-Metaboliten im Urin assoziiert ist.

## 5.8 Stichprobe und Regressionsanalyse

Die Stichprobe der Probanden, für die die Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin gemessen wurden, ist eine zufällige Teilstichprobe des Umwelt-Surveys 1998. Sie deckt, wie auch der Umwelt-Survey, den Altersbereich der 18- bis 69jährigen ab.

Die statistische Modellbildung erfolgt mit ungewichteten Daten, da sonst Verzerrungen der Effekte des Modells auftreten können. Da erfahrungsgemäß Zusammenhangsstrukturen äußerst robust gegenüber Disproportionen in der Stichprobe im Vergleich zur Bevölkerung sind, haben die entwickelten Modelle für die Allgemeinbevölkerung Gültigkeit.

In die multiplen Regressionsanalysen werden nur Personen mit vollständigen Datensätzen einbezogen, also Personen, von denen jeder Prädiktor bekannt ist. Die Stichproben, die den Regressionsanalysen zugrunde liegen, weichen jedoch nur wenig (maximale Verringerung der Stichprobengröße um N=20) von den untersuchten Stichproben ab, so dass eine Verzerrung der Ergebnisse nicht zu befürchten ist.

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



## 6 Ergebnisse und Diskussion

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der multivariaten Zusammenhangsanalysen für die mono-hydroxylierten Metaboliten des Pyrens und des Phenanthrens im Urin behandelt. Die Auswertung erfolgte dabei sowohl für die Gesamtmenge der Daten als auch getrennt für die Gruppe der Nichtraucher, um mögliche Effekte, die durch das Rauchen überlagert werden, herausarbeiten zu können.

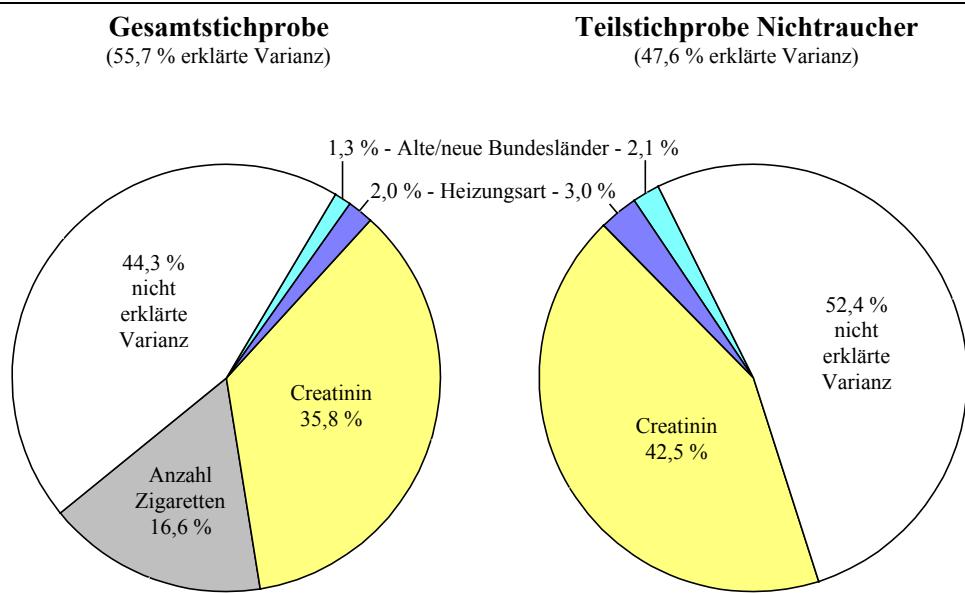
Zunächst erfolgt die Darstellung der Ergebnisse für das 1-Hydroxypyren. Im darauf folgenden Abschnitt werden die Ergebnisse der statistischen Auswertung für die Phenanthren-Metaboliten gemeinsam dargestellt und diskutiert, da die gemessenen Phenanthren-Metaboliten hoch korreliert ( $r$  zwischen 0,84 und 0,89) sind.

Die Festlegung der zu prüfenden Variablen erfolgte auf der Basis der vorliegenden Hypothesen (Kap. 4) und der verfügbaren Fragebogenitems unter dem Gesichtspunkt einer maximalen Varianzaufklärung der Regressionsmodelle. Alle geprüften Variablen sind im Anhang (Kap. 10.7) aufgeführt. Dabei lässt sich generell sagen, dass die dort aufgeführten „Diet History“-Variablen geprüft wurden, aber zu keinen signifikanten Ergebnissen in den Regressionsmodellen führten. Eine Ausnahme stellt die täglich aufgenommene Alkoholmenge dar. In allen Modellen, in denen die aus den Fragebogenangaben geschätzte tägliche Alkoholmenge ein signifikanter Prädiktor ist, ist es alternativ auch die aus der Diet History abgeschätzte täglich aufgenommene Alkoholmenge. Der Anteil der durch die tägliche Alkoholmenge (Diet History) erklärten Varianz des Kriteriums ist dabei gegenüber der aus den Fragebogenangaben geschätzten täglichen Alkoholmenge etwas geringer. Da sich außerdem der Stichprobenumfang um ca. 150 Personen verringert, besteht kein Anlass, diese Variable in das Regressionsmodell aufzunehmen.

Im Anhang Kapitel 10.1 sind Kennwerte der Prädiktor- und Kriteriumsvariablen der Regressionsmodelle und die Interkorrelationen der Prädiktoren für die Gesamtstichprobe und für die Teilstichprobe der Nichtraucher angegeben.

## 6.1 1-Hydroxypyren

Einen Überblick über die Prädiktoren der für die Gesamtstichprobe und für die Teilstichprobe der Nichtraucher separat berechneten volumenbezogenen Modelle mit ihren Varianzkomponenten sowie den insgesamt aufgeklärten Anteilen der Gesamtvarianz gibt die Abb. 6.1.



**Abb. 6.1 : Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin, Vergleich der Varianzkomponenten**

Anmerkung: Regressionsmodelle mit volumenbezogenen Gehalten

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

### 6.1.1 Regressionsmodelle der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin

Der Tab. 6.1 sind wichtige Kennwerte der Regressionsmodelle zu entnehmen. Mit 4 Prädiktoren lassen sich 55,7 % der Varianz der volumenbezogenen bzw. mit 3 Prädiktoren 30,8 % der Varianz der creatininbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin erklären.

Durch eine Kreuzvalidierung konnte gezeigt werden, dass die gefundenen Prädiktoren trotz der relativ geringen Stichprobenumfänge auch in zufälligen Teilstichproben signifikant sind (Tab. 10.6 im Anhang).

**Tab. 6.1 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin**

	Volumenbezogen				Creatininbezogen			
	N = 560				N = 560			
	Aufgeklärte Varianz: 55,7 % Adjustierte Varianz: 55,4 %				Aufgeklärte Varianz: 30,8 % Adjustierte Varianz: 30,4 %			
Prädiktor	β	P	r	β·r·100 %	β	p	r	β·r·100 %
Creatiningehalt im Urin	0,598	<0,001	0,599	35,8	-	-	-	-
Zigarettenzahl pro Tag	0,405	<0,001	0,410	16,6	0,505	<0,001	0,505	25,5
Dezentrale Heizung	0,130	<0,001	0,155	2,0	0,164	<0,001	0,184	3,0
Neue Bundesländer	0,125	<0,001	0,104	1,3	0,152	<0,001	0,153	2,3

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;  
 β: standard. Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);  
 p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese: β=0);  
 r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;  
 β·r·100 %: dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums  
 (Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Erläuterungen zu den Prädiktoren und angewandte Transformationen/Codierungen:

Creatiningehalt im Urin: Transformation:  $\ln(\text{Creatiningehalt (g/l)}) \rightarrow x_1$

Zigarettenzahl pro Tag: Transformation:  $\ln(1 + \text{Anzahl der pro Tag gerauchten Zigaretten}) \rightarrow x_2$

Dezentrale Heizung: Art der Heizung in der Wohnung des Probanden, Codierung: 1=dezentral, 0=zentral  $\rightarrow x_3$

Neue Bundesländer: Neue/alte Bundesländer, Codierung: 1=newe Bundesländer, 0=alte Bundesländer  $\rightarrow x_4$

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 6.2 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	3,065	206,5 (176,2 bis 240,1)	-	-
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	1,412	41,2 (34,7 bis 48,0)	1,413	41,3 (34,7 bis 48,1)
x <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,613	61,3 (31,5 bis 97,7)	1,619	61,9 (31,9 bis 98,6)
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,405	40,5 (20,7 bis 63,5)	1,396	39,6 (19,9 bis 62,5)
Konstante	0,072		0,074	

Anmerkungen: exp(b<sub>i</sub>): Parameter des multiplikativen Modells (b<sub>i</sub>: Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);

95 % CI: Relative Veränderung des volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalts im Morgenurin in % bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

Damit ergibt sich z.B. für den volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin die folgende multiplikative Modellgleichung (Kap. 5.4):

$$y = 0,072 \cdot 3,065^{x_1} \cdot 1,412^{x_2} \cdot 1,613^{x_3} \cdot 1,405^{x_4}$$

Die Berechnung eines mit dem Modell vorhergesagten volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehaltes sei an einem Beispiel demonstriert:

**Beispiel für einen auf der Grundlage des Modells geschätzten 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin von Erwachsenen:**

Person: hat einen gemessenen Creatinineinhalt im Morgenurin von 1 g/l ( $x_1 = \ln(1) = 0$ ), raucht durchschnittlich täglich 20 Zigaretten ( $x_2 = \ln(1+20) = 3,045$ ), hat eine Zentralheizung ( $x_3 = 0$ ), wohnte 1998 in den neuen Bundesländern ( $x_4 = 1$ ).

Geschätzter volumenbezogener 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin (y):

$$\begin{aligned} y &= 0,072 \cdot 3,065^0 \cdot 1,412^{3,045} \cdot 1,613^0 \cdot 1,405^1 \\ y &= 0,072 \cdot 1,000 \cdot 2,859 \cdot 1,000 \cdot 1,405 \\ y &= 0,289 \mu\text{g/l} \end{aligned}$$

Ein entsprechendes multiplikatives Modell und Beispiel ließe sich für den creatininbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin mit den Parametern aus Tab. 6.2 angeben.

Um Effekte, die evtl. durch das Rauchen überdeckt werden, zu erkennen, wurden separate Modelle für die Teilstichprobe der Nichtraucher gerechnet. Insbesondere wurden dabei Variablen zum früheren Rauchverhalten bei Exrauchern und Indikatoren für die Passivrauchbelastung geprüft. Die Analysen führten zu Modellen, die die gleichen Prädiktoren (ausgenommen die Zigarettenanzahl pro Tag) mit vergleichbaren Parameterschätzungen wie die oben angegebenen Regressionsmodelle enthielten. Die Ergebnisse werden daher hier nicht präsentiert und es wird auf den Anhang (Kap. 10.2, Tab. 10.7 bis Tab. 10.10) verwiesen.

Die Parameter der Regressionsgleichungen sind in der Tab. 6.2 angegeben. Sie unterscheiden sich für die volumen- bzw. creatininbezogenen Gehalte nur minimal. Daher sind im folgenden bei der Diskussion der Modelleffekte nur die volumenbezogenen Gehalte diskutiert. Insbesondere gelten die Grafiken für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin unabhängig vom Bezug.

### 6.1.2 Effekte der Prädiktoren der Regressionsmodelle der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin

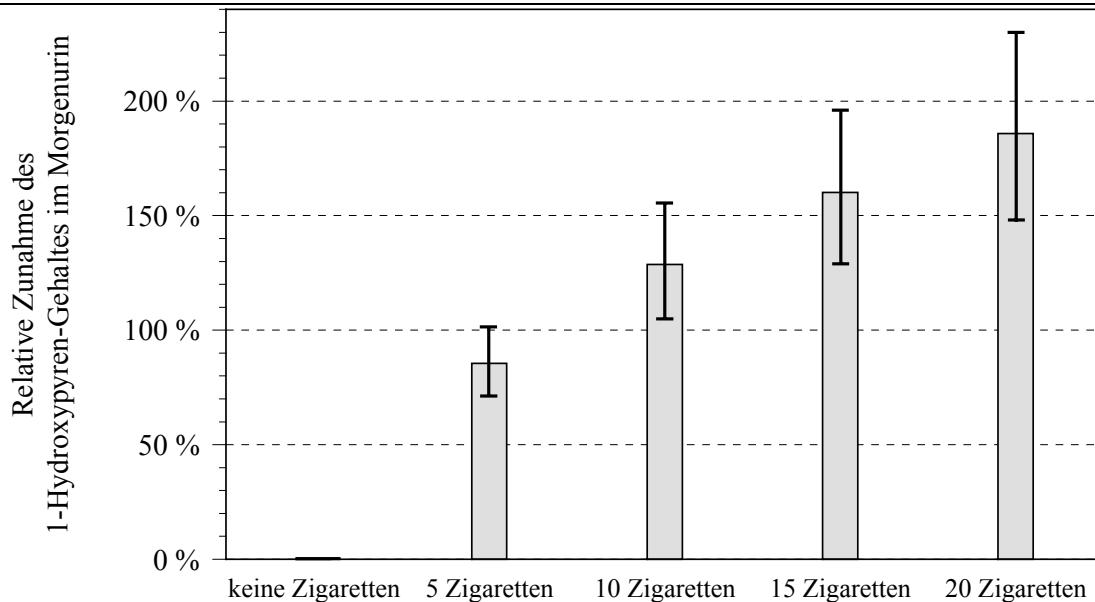
#### Creatinin im Urin

Der weitaus größte Teil der Varianz der volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin wird durch die logarithmierten **Creatiningehalte im Morgenurin** erklärt (35,8 %).

Wegen der logarithmischen Transformation der Creatiningehalte im Morgenurin ist die relative Veränderung der volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin je Einheit Creatiningehalt nicht konstant. Mit steigendem Creatiningehalt wird ein höherer prozentualer Anstieg des 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Morgenurin je Einheit Creatiningehalt geschätzt. Eine Erhöhung des Creatiningehalts im Morgenurin von 0,2 g/l auf 1 g/l ist mit einem um 506 % (95 %-Konfidenzintervall: 413 % bis 617 %) erhöhtem volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin assoziiert (Tab. 6.2). Wie erwartet, führt ein höherer Creatiningehalt wegen des höher konzentrierten Urins auch zu höheren 1-Hydroxypyren-Gehalten.

#### Rauchen - durchschnittliche Anzahl täglich gerauchter Zigaretten

Ein bedeutender Anteil der Varianz der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin kann durch das aktuelle Rauchverhalten erklärt werden. Unter den Variablen zum Rauchen ist der Logarithmus der **täglich gerauchten Zahl von Zigaretten** eindeutig derjenige Prädiktor, der mit 16,6 % im Modell für die volumenbezogenen bzw. 25,5 % im Modell für die creatininbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin den größten Anteil der Varianz der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin erklärt.



**Abb. 6.2 : Effekte der Anzahl täglich gerauchter Zigaretten auf den 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin (mittlere relative Zunahme des 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall)**

Anmerkung: In der Abbildung sind die relativen Veränderungen des volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Morgenurin dargestellt, nicht die absoluten 1-Hydroxypyren-Gehalte.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

Da die Anzahl täglich gerauchter Zigaretten als natürlicher Logarithmus in das Regressionsmodell eingeht, ist die relative Veränderung des volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Morgenurin je gerauchter Zigarette nicht konstant. Der prozentuale Anstieg nimmt in Abhängigkeit von der absoluten Höhe der täglichen gerauchten Zigaretten ab (Abb. 6.2). Das Rauchen von 5 Zigaretten ergibt gegenüber einem Nichtraucher einen um 85,5 % höheren 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin bei einem Konfidenzintervall von 70,5 % bis 101,9 %. Beim Rauchen von 20 gegenüber 15 Zigaretten am Tag erhöht sich der 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin dagegen nur noch um 16 %.

Damit bestätigt das vorliegende Ergebnis die Ergebnisse anderer Studien, in denen der Einfluss des Rauchens als eine Haupteinflussgröße für die Allgemeinbevölkerung beschrieben wird. Exemplarisch hierfür seien die Arbeiten von Angerer et al. (1997c), Göen et al. (1995), Granella et al. (1993), Hong et al. (1999), Jongeneelen et al. (1990), Levin et al. (1995), Roggi et al. (1997), Sherson et al. (1992) und van Rooij et al. (1994) genannt. Danach wird der Unterschied in der Belastung mit 1-Hydroxypyren im Harn zwischen Rauchern und Nichtrauchern im allgemeinen als

statistisch signifikant angesehen. Das Rauchen gilt als wesentlicher Expositionspfad für die korporale Belastung mit PAK. In bivariaten Auswertungen ergab sich im Umwelt-Survey (Becker et al. 2002) eine höhere 1-Hydroxypyren-Konzentration im Urin bei Rauchern im Vergleich zu Nichtrauchern. Das Ergebnis der Regressionsanalyse bestätigt dieses. Als Prädiktor aller geprüften Variablen zum Rauchverhalten mit dem größten Varianzaufklärungsbeitrag erwies sich die durchschnittliche Anzahl täglich gerauchter Zigaretten.

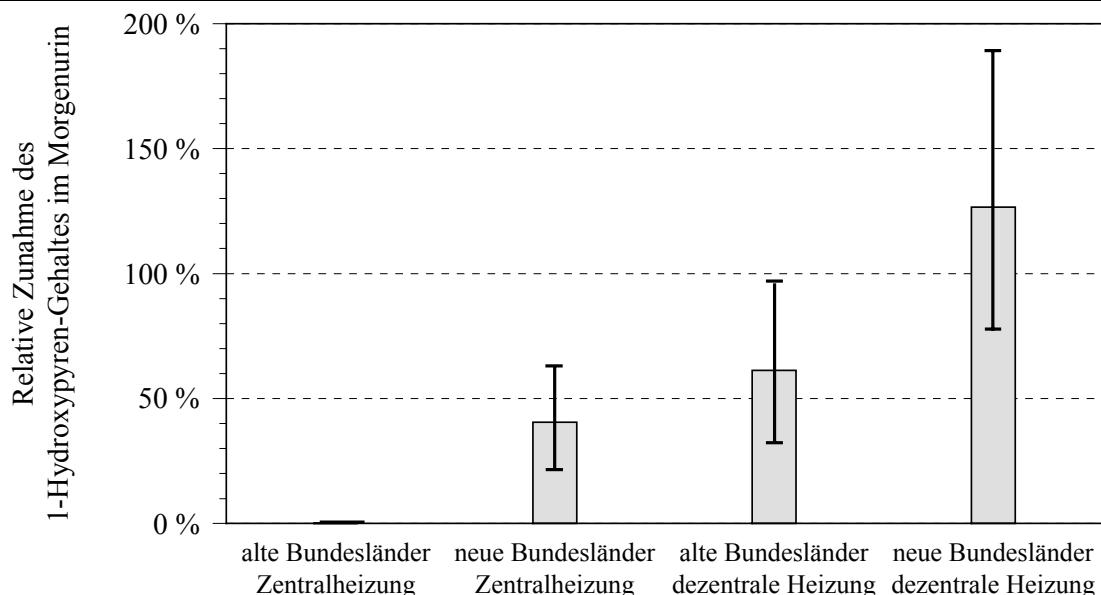
Die in wenigen Arbeiten nicht festgestellten Unterschiede der Metaboliten-Belastung des Harnes zwischen Rauchern und Nichtrauchern (Ferreira et al. 1994, Jongeneelen et al. 1986, Ny et al. 1993, Omland et al. 1994, Zhao et al. 1988, 1990) können möglicherweise auf länderspezifische Einflüsse wie Eßgewohnheiten sowie industrielle Umweltverschmutzung zurückzuführen sein, wie Levin (1995) in seiner Publikation über den Workshop „Hydroxypyrene as a Biomarker for PAH Exposure in Man 1993“, in dem sowohl über Hintergrundbelastungen der Allgemeinbevölkerung in verschiedenen Ländern als auch über berufliche Expositionen berichtet wurde, schlussfolgerte. Für die Bundesrepublik Deutschland wurde auch dort von einem signifikanten Unterschied zwischen Rauchern und Nichtrauchern berichtet (vgl. Kap. 4.2).

### **Heizungsart und Wohnort (alte/neue Bundesländer)**

Neben dem Rauchen tragen die **Heizungsart** mit 2,0 % (volumenbezogene Gehalte) bzw. 3,0 % (creatininbezogene Gehalte) und der **Wohnort (alte/neue Bundesländer)** mit 1,3 % (volumenbezogene Gehalte) bzw. 2,3 % (creatininbezogene Gehalte) zur Varianzaufklärung des Modells bei. Dabei kann mit den im Modell benutzten Variablen zur Heizungsart (zentral/dezentral) der höchste Anteil der Varianz der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin gegenüber anderen Codierungen (z.B. dezentrale Heizung mit Holz/Kohle gegenüber anderen Heizungsarten) erklärt werden. Eine statistische Begründung des Unterschieds im 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin zwischen Personen, die 1998 in den alten bzw. in den neuen Bundesländern wohnten, durch andere Prädiktoren konnte nicht gefunden werden.

Für Personen, die in dezentral beheizten Wohnungen leben, wird gegenüber Personen in zentral beheizten Wohnungen ein um 61,3 % höherer 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin geschätzt. Das 95 %-Konfidenzintervall beträgt 31,5 % bis 97,7 %. Für Personen, die 1998 in den neuen Bundesländern wohnten, wird gegenüber Personen, die zu diesem Zeitpunkt in den alten

Bundesländern wohnten, ein um 40,5 % höherer 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin mit dem Modell vorhergesagt. Das 95 %-Konfidenzintervall beträgt 20,7 % bis 63,5 %.



**Abb. 6.3 : Effekte von Wohnort und Heizungsart auf den 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin (mittlere relative Zunahme des 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall)**

Anmerkung: In der Abbildung sind die relativen Veränderungen des volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Morgenurin dargestellt, nicht die absoluten 1-Hydroxypyren-Gehalte.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

Der deutliche Anteil des Prädiktors „neue Bundesländer“ an der Varianzaufklärung lässt sich anhand der Literaturdaten nicht eindeutig erklären. Zwar gibt es aus den verschiedenen Bundesländern Ergebnisse über PAK-Untersuchungen in der Außenluft (Beck 1999), jedoch werden für Pyren nur vereinzelt Daten der neuen Bundesländer ausgewiesen, nicht jedoch für die alten Bundesländer. Allerdings kann aus den Angaben zu anderen PAK geschlossen werden, dass in den neuen Bundesländern insgesamt eine etwas höhere Luftbelastung mit diesen Schadstoffen vorliegt, was auf zusätzliche Expositionsquellen hindeutet, die dort ubiquitär wirksam oder zumindest viel weiter verbreitet sind als in den alten Bundesländern. Unter Berücksichtigung des mit Stand von 1992 erheblich höheren Anteils der Kohle zum Beheizen von Wohnungen in den neuen Bundesländern (Moriske 1998) und der daraus resultierenden höheren lokalen Luftbelastung mit PAK kann hier ein möglicher Erklärungsansatz für die in den Proben aus den neuen Bundesländern erhöhten PAK-Metaboliten-Gehalte gefunden werden. Denkbar ist auch ein

möglicher Einfluss der zum Zeitpunkt der Probenerhebung noch nicht vollständig erfolgten Nachrüstung der Industriebetriebe und Kraftwerke auf niedrigere Emissionsstandards. Auch die chinesischen Untersuchungen von Zhao et al. (1995) kommen zu einem vergleichbaren Ergebnis, dass in Wintermonaten, bedingt durch die zum Heizen verwendete Kohle und die damit einhergehende erheblich höhere allgemeine Umweltbelastung, eine signifikante Erhöhung des 1-Hydroxypyrens im Urin festzustellen ist (siehe Kap. 4.5).

Es ist daher die Vermutung berechtigt, dass die höheren 1-Hydroxypyren-Gehalte im Urin in der Bevölkerung der neuen Bundesländer auf die noch verbreitete Nutzung der Kohleheizung direkt und indirekt über die ubiquitäre Verteilung in der Luft zurückzuführen sind.

### 6.1.3 Prädiktoren mit schwache Effekten

Um Hinweise auf weitere mögliche Effekte zu finden, wurden die obigen Regressionsmodelle nochmals mit jeder einzelnen nicht im Modell enthaltenen Variablen unter schwächeren Kriterien überprüft (vgl. Kap. 5.5). Als solche Prädiktoren mit schwachen Effekten konnten nur Variablen zum Passivrauchen in den Modellen für die Teilstichprobe der Nichtraucher gefunden werden. Diese Prädiktoren erklären jedoch nur einen sehr geringen Anteil der Gesamtvarianz.

Bei dem Prädiktor **Rauchen im Haushalt** handelt es sich um die Frage nach dem Vorhandensein von Rauchern im Haushalt. Würde das **Rauchen im Haushalt des Probanden** als zusätzlicher Prädiktor in das Regressionsmodell für den 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin der Nichtraucher aufgenommen, so würde sich die Varianzaufklärungsrate des Modells um 0,6 % (volumenbezogene Gehalte) bzw. 0,8 % (creatininbezogene Gehalte) erhöhen. Wird im Haushalt der Probanden geraucht, so würden um über 20 % höhere 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin geschätzt.

Ein Index zur **starken Passivrauchbelastung** würde die Varianzaufklärung des Regressionsmodells um 0,4 % (volumenbezogene Gehalte) bzw. 0,7 % (creatininbezogene Gehalte) erhöhen. Dabei würden mit dem Modell bei starker Passivrauchbelastung ca. 30 % höhere 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin vorhergesagt.

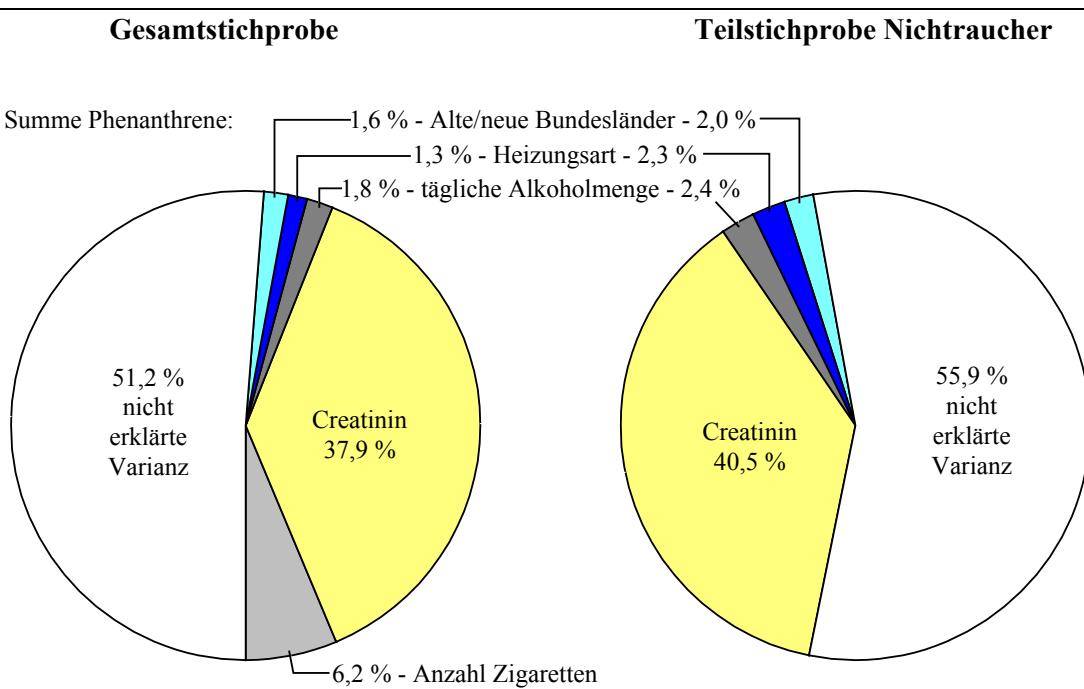
Im Rahmen des Umwelt-Surveys konnte das Passivrauchen sowohl in Form des Prädiktors „Rauchen im Haushalt“ als auch als „Index starkes Passivrauchen“ in beiden Bezugsmodellen für

Nichtraucher, allerdings nur für das 1-Hydroxypyren, zu einer geringfügig verbesserten Varianzaufklärung beitragen. Dies deckt sich im wesentlichen mit den in der Literatur veröffentlichten Untersuchungen, in denen allenfalls leichte, jedoch keine signifikanten Einflüsse des Passiv-Rauchens gegenüber nicht exponierten Nichtrauchern bei der Exkretion des 1-Hydroxypyrens (Scherer et al. 1999) festgestellt wurden (siehe Kap. 4.2).

## 6.2 Hydroxyphenanthrene

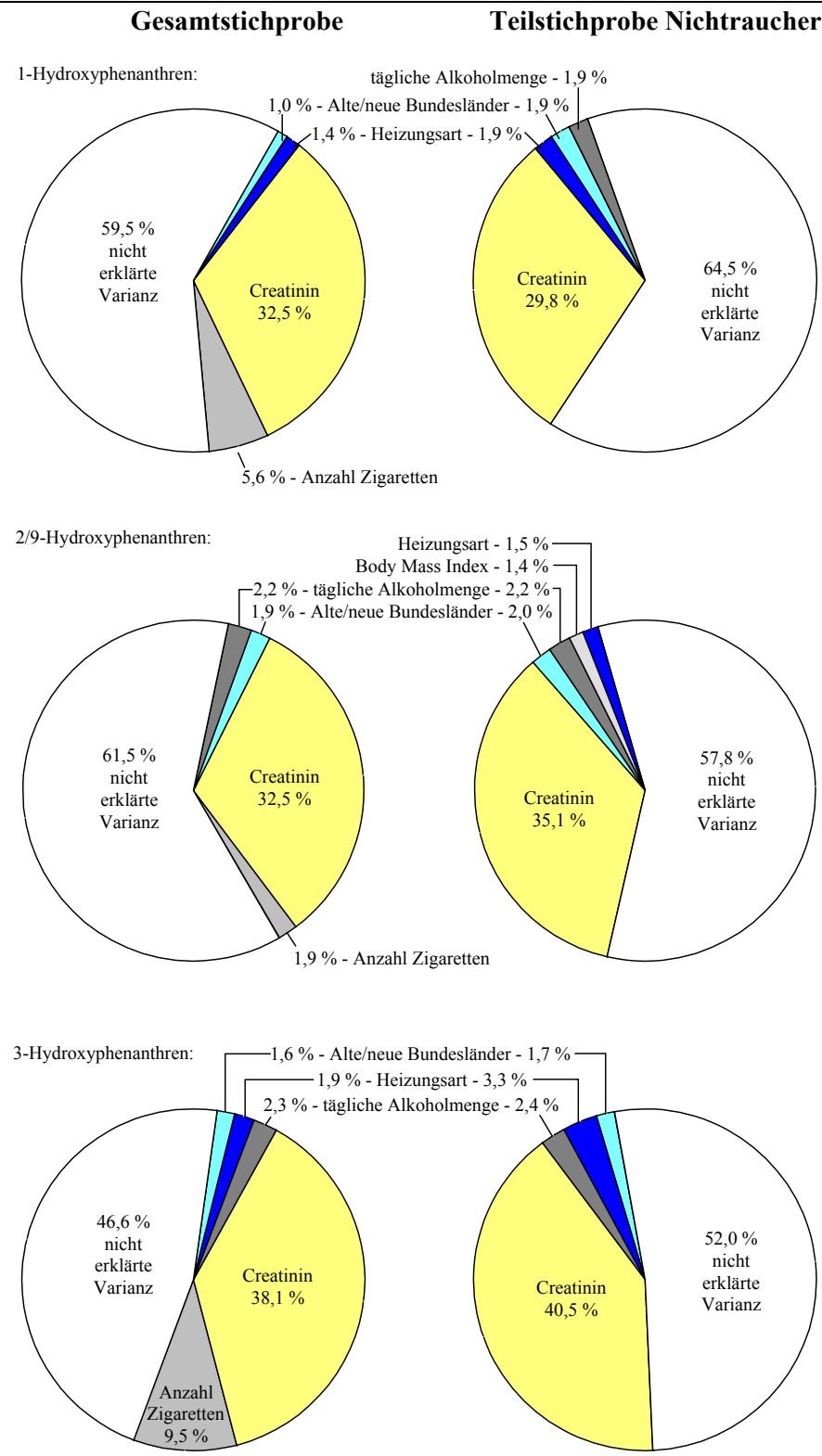
In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der multivariaten Zusammenhangsanalysen für die untersuchten Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin und ihre Summe behandelt. Es wurden Regressionsmodelle sowohl für die volumen- als auch für die creatininbezogenen Gehalte berechnet.

Einen Überblick über die Prädiktoren der verschiedenen volumenbezogenen Modelle und ihre Varianzkomponenten sowie die insgesamt aufgeklärten Anteile der Gesamtvarianz geben die Abb. 6.4 und Abb. 6.5.



**Abb. 6.4 : Regressionsmodell für den volumenbezogenen  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-$ -Gehalt im Morgenurin, Vergleich der Varianzkomponenten**

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998



**Abb. 6.5 : Regressionsmodelle für die volumenbezogenen Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin, Vergleich der Varianzkomponenten**

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

### 6.2.1 Regressionsmodelle der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin

Einen Überblick über die Ergebnisse der Analysen, die Varianzkomponenten der Modelle und die Modellparameter geben die Tab. 6.3 und Tab. 6.4.

**Tab. 6.3 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

	1-OH-Phenanthren	2/9-OH-Phenanthren	3-OH-Phenanthren	$\Sigma$ -OH-Phenanthren
Prädiktor	Volumen- creatinin- bezogen	volumen- Creatinin- bezogen	volumen- creatinin- bezogen	Volumen- creatinin- bezogen
Creatiningehalt im Urin	32,5 -	32,5 -	38,1 -	37,4 -
Zigarettenzahl pro Tag	5,6 7,9	1,9 2,8	9,5 15,4	6,2 9,9
Dezentrale Heizung	1,4 2,0	- -	1,9 3,0	1,3 1,9
Neue Bundesländer	1,0 1,8	1,9 3,4	1,6 3,0	1,6 3,1
Alkoholkonsum pro Tag	- -	2,2 2,1	2,3 2,9	1,8 2,0
Aufgeklärte Varianz	40,5 11,6	38,5 8,3	53,4 24,3	48,8 16,9
Adjustierte aufgekl. Varianz	40,1 11,2	38,1 7,8	53,0 23,7	48,3 16,3
Stichprobenumfang	560 560	554 554	553 553	553 553

Anmerkungen: Varianzkomponenten: dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums in %  
(Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Erläuterungen zu den Prädiktoren und angewandte Transformationen/Codierungen:

Creatiningehalt im Urin: Transformation:  $\ln(\text{Creatiningehalt (g/l)}) \rightarrow x_1$

Zigarettenzahl pro Tag: Transformation:  $\ln(1+\text{Anzahl der pro Tag gerauchten Zigaretten}) \rightarrow x_2$

Dezentrale Heizung: Art der Heizung in der Wohnung des Probanden, Codierung: 1=dezentral, 0=zentral  $\rightarrow x_3$

Neue Bundesländer: Neue/alte Bundesländer, Codierung: 1=newe Bundesländer, 0=alte Bundesländer  $\rightarrow x_4$

Alkoholkonsum pro Tag: Täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)  $\rightarrow x_5$

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

Da der Creatiningehalt im Urin mit einem Anteil zwischen 32 % und 38 % den größten Beitrag zur Erklärung der Gesamtvarianz der volumenbezogenen Hydroxyphenanthrene liefert, führen die Modelle für die creatininbezogenen Hydroxyphenanthrene zu deutlich geringeren Varianzaufklärungsraten.

Mit 5 Prädiktoren lassen sich 48,8 % der volumenbezogenen bzw. mit 4 Prädiktoren 16,9 % der Varianz der creatininbezogenen  $\Sigma(1-,2/9-,3-) \text{Hydroxyphenanthren-Gehalte im Urin}$  aller Probanden erklären.

Die jeweils geringsten Varianzaufklärungsraten ergeben sich für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte (38,5 % volumenbezogen bzw. 8,3 % creatininbezogen), die höchsten für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte (53,4 % volumenbezogen bzw. 24,3 % creatininbezogen).

**Tab. 6.4 : Die Parameter der Modellgleichungen für die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	1-OH-Phenanthren		2/9-OH-Phenanthren		3-OH-Phenanthren		$\Sigma$ -OH-Phenanthren	
	Volumen- bezug	Creatinin- bezug	Volumen- bezug	Creatinin- bezug	Volumen- bezug	Creatinin- bezug	Volumen- bezug	Creatinin- bezug
x <sub>1</sub> Logarithm. des Creatininegehalts im Urin (g/l)	2,285	-	2,234	-	2,621	-	2,354	-
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	1,167	1,166	1,090	1,090	1,241	1,241	1,168	1,168
x <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,357	1,350	-	-	1,470	1,470	1,320	1,318
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,263	1,275	1,357	1,371	1,350	1,352	1,314	1,323
x <sub>5</sub> tägl. aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)			1,007	1,006	1,007	1,007	1,005	1,005
Konstante	0,266	0,255	0,166	0,159	0,172	0,170	0,612	0,593

Anmerkungen: Es sind die Parameter  $\exp(b_i)$  der multiplikativen Modelle angegeben  
( $b_i$ : Regressionskoeffizient des i-ten Prädiktors)

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

Weitere Parameter der Regressionsmodelle, die detaillierten Ergebnisse für die einzelnen Hydroxyphenanthrene sowie die Ergebnisse der Kreuzvalidierungen sind den Tabellen in den Kapiteln 10.3 bis 10.6 im Anhang zu entnehmen. Mit Hilfe der Kreuzvalidierungen konnte gezeigt werden, dass die gefundenen Prädiktoren auch in Teilstichproben trotz der relativ geringen Stichprobenumfänge signifikant sind.

Beispielhaft lässt sich für den volumenbezogenen  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ -Gehalt im Morgenurin die folgende multiplikative Modellgleichung (Kap. 5.4) angeben:

$$y = 0,612 \cdot 2,354^{x_1} \cdot 1,168^{x_2} \cdot 1,320^{x_3} \cdot 1,314^{x_4} \cdot 1,005^{x_5}$$

Ein Beispiel für die Berechnung des volumenbezogenen  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ -Gehaltes im Morgenurin sei:

**Beispiel für einen auf der Grundlage des Modells geschätzten  
 $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ -Gehalt im Morgenurin von Erwachsenen:**

Person: hat einen gemessenen Creatiningehalt im Morgenurin von 1 g/l ( $x_1 = \ln(1) = 0$ ), raucht durchschnittlich täglich 20 Zigaretten ( $x_2 = \ln(1+20) = 3,045$ ), hat eine Zentralheizung ( $x_3 = 0$ ), wohnte 1998 in den neuen Bundesländern ( $x_4 = 1$ ), trinkt keinen Alkohol ( $x_5 = 0$ ).

Geschätzter volumenbezogener  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ -Gehalt im Morgenurin (y):

$$\begin{aligned} y &= 0,612 \cdot 2,354^0 \cdot 1,168^{3,045} \cdot 1,320^0 \cdot 1,314^1 \cdot 1,005^0 \\ y &= 0,612 \cdot 1,000 \cdot 1,605 \cdot 1,000 \cdot 1,314 \cdot 1,000 \\ y &= 1,291 \mu\text{g/l} \end{aligned}$$

Entsprechende multiplikative Modelle und Beispiele könnten mit den Parametern aus Tab. 6.4 für die dort enthaltenen einzelnen Hydroxyphenanthrene angegeben werden.

Um Effekte, die evtl. durch das Rauchen überdeckt werden, zu erkennen, wurden für die Hydroxyphenanthrene ebenfalls separate Modelle für die Teilstichprobe der Nichtraucher gerechnet (siehe Tabellen in den Kapiteln 10.3 bis 10.6 im Anhang). Alle Prädiktoren der Modelle für die Gesamtstichprobe sind auch in den Modellen für die Nichtraucher-Stichprobe enthalten, ihre Effektschätzungen unterscheiden sich nicht nennenswert. Darüber hinaus umfassen die Modelle in der Teilstichprobe der Nichtraucher für 1-Hydroxyphenanthren noch die täglich aufgenommene Alkoholmenge und für 2/9-Hydroxyphenanthren noch Heizungsart und Body Mass Index. Die drei letztgenannten Prädiktoren gehören zu den Prädiktoren mit schwachen Effekten (Kap. 5.5) in den Modellen für die Gesamtstichprobe.

Die Parameter der Regressionsgleichungen (Tab. 6.4) unterscheiden sich auch für die volumen- bzw. creatininbezogenen Hydroxyphenanthren-Gehalte nur minimal. Im folgenden werden daher nur die volumenbezogenen Hydroxyphenanthren-Gehalte diskutiert. Die Grafiken in diesem Kapitel gelten unabhängig vom Bezug.

## 6.2.2 Effekte der Prädiktoren der Regressionsmodelle der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin

### Creatinin im Urin

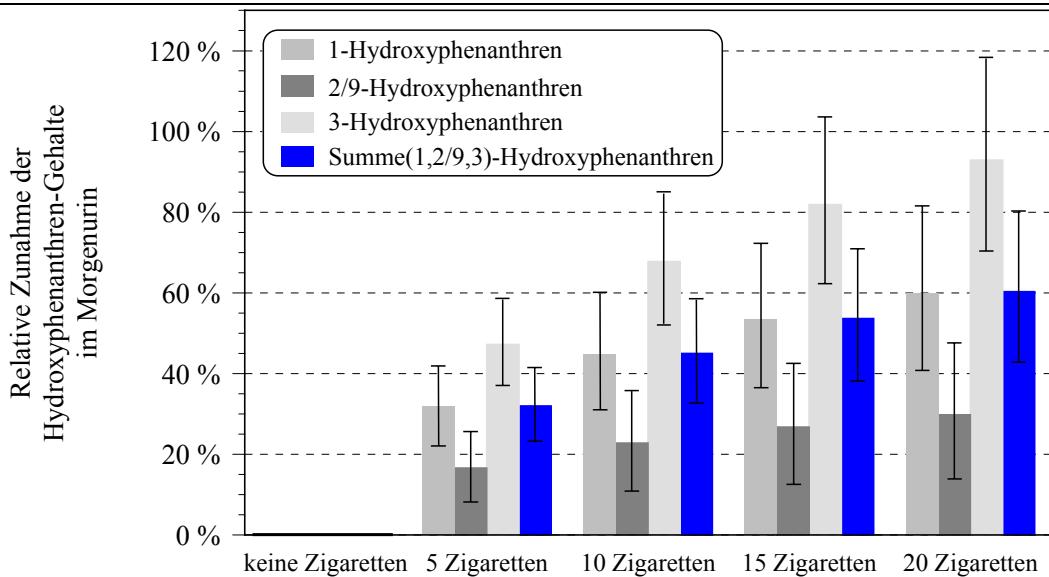
Durch die logarithmische Transformation der Creatiningehalte im Morgenurin ist die relative Veränderung der (volumenbezogenen)  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ -Gehalte im Morgenurin je Einheit Creatiningehalt nicht konstant. Mit steigendem Creatiningehalt wird ein niedrigerer

prozentualer Anstieg des  $\Sigma(1-,2/9-,3-)$ -Hydroxyphenanthren-Gehaltes im Morgenurin je Einheit Creatiningehalt geschätzt. Eine Erhöhung des Creatiningehalts im Morgenurin von 0,2 g/l auf 1 g/l ist mit einem um 296 % (95 %-Konfidenzintervall: 246 % bis 354 %) erhöhtem  $\Sigma(1-,2/9-,3-)$ -Hydroxyphenanthren-Gehalt im Morgenurin assoziiert. Ein höherer Creatiningehalt führt wegen des höher konzentrierten Urins zu höheren Hydroxyphenanthren-Gehalten.

### **Durchschnittliche Anzahl täglich gerauchter Zigaretten**

Herausragender Prädiktor ist das Rauchverhalten. Die Konzentration aller Metaboliten im Harn ist dabei abhängig von der Zahl der pro Tag gerauchten Zigaretten. Die Ausscheidung der Hydroxyphenanthrene nimmt mit der Zahl der täglich gerauchten Zigaretten zu. Da die Anzahl täglich gerauchter Zigaretten als logarithmisch transformierte Variable in das Regressionsmodell aufgenommen wird, ist die relative Veränderung des volumenbezogenen 1-Hydroxyphenanthren-Gehaltes im Morgenurin je gerauchte Zigarette nicht konstant. Die relative Wirkung nimmt in Abhängigkeit von der absoluten Höhe der täglichen gerauchten Zigaretten ab. Daher führt bei einem durchschnittlich geringen Zigarettenverbrauch pro Tag eine geringe Dosissteigerung bereits zu einem starken Anstieg der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Urin, bei ohnehin hohem Zigarettenkonsum bewirkt eine weitere Steigerung nur noch eine vergleichsweise geringe Zunahme der Metabolitkonzentration im Harn.

Z.B. ergibt das Rauchen von 5 Zigaretten pro Tag gegenüber einem Nichtraucher einen um 32 % höheren  $\Sigma(1-,2/9-,3-)$ -Hydroxyphenanthren-Gehalt im Morgenurin (Konfidenzintervall: 23,3 % bis 41,4 %). Beim Rauchen von 20 gegenüber 15 Zigaretten erhöht sich der  $\Sigma(1-,2/9-,3-)$ -Hydroxyphenanthren-Gehalt dagegen nur um 11,7 % (Tab. 6.4, Abb. 6.6).



**Abb. 6.6 : Effekte der Anzahl täglich gerauchter Zigaretten auf die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (mittlere relative Zunahme der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall)**

Anmerkung: In der Abbildung sind die relativen Veränderungen der volumenbezogenen Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin dargestellt, nicht die absoluten Hydroxyphenanthren-Gehalte.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

Die Abhängigkeit der Hydroxyphenanthren-Ausscheidung von der Zahl der täglich gerauchten Zigaretten ist jedoch bei den einzelnen Verbindungen unterschiedlich stark ausgeprägt. Am größten ist sie beim 3-Hydroxyphenanthren und am geringsten beim 2/9-Hydroxyphenanthren.

Bisher sind in der Literatur nur sehr wenige Untersuchungen über die Metaboliten-Belastung des Urins mit Hydroxyphenanthrenen publiziert worden, da diese erst in jüngster Zeit zur Bestimmung der Exposition mit PAK herangezogen werden. In den wenigen vorliegenden Untersuchungen wird generell auch ein Einfluß des Rauchens auf die Metaboliten-Exkretion festgestellt (Angerer et al. 1997c, Heudorf et al. 2001b), wenngleich im allgemeinen mit einer geringeren Signifikanz als für die 1-Hydroxypyren-Ausscheidung (siehe Kap. 4.2). Jacob et al. (1999) konnten bei einer allerdings geringen Fallzahl von 10 Rauchern und 9 Nichtrauchern sogar keinen signifikanten Einfluß für die Hydroxyphenanthren-Metaboliten feststellen.

Die Abhängigkeit der Metaboliten-Exkretion von der Höhe des Zigarettenkonsums wurde ebenso beschrieben. Heudorf et al. (2001b) fanden in ihrer Studie mit 288 Nichtrauchern und 100 Rauchern einen hoch signifikanten Einfluss des Rauchens und eine starke Abhängigkeit von der Zahl der

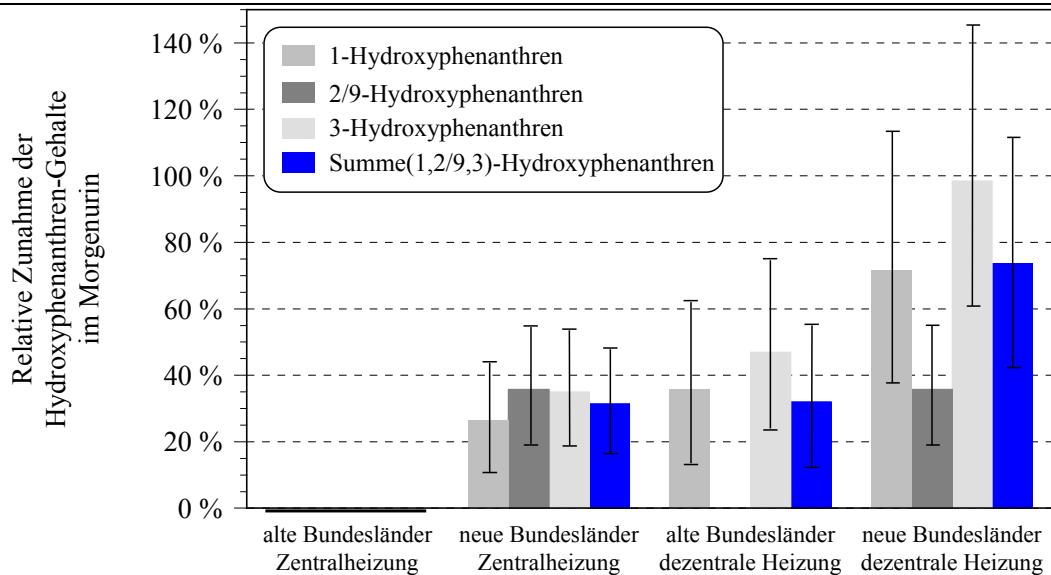
konsumierten Zigaretten auf die Ausscheidung der 2-, 3- und 4-Hydroxyphenanthrene, nicht jedoch für die Konzentration des 1-Hydroxyphenanthrens im Urin. Zu vergleichbaren Ergebnissen kommen auch Angerer et al. (1997c) in ihrer Untersuchung von 97 Nichtraucherinnen und 27 Raucherinnen aus dem Ruhrgebiet und schließen daraus, dass das 1-Hydroxyphenanthren möglicherweise als Parameter zur Unterscheidung der PAK-Belastung durch das Rauchen und durch andere (berufliche) Expositionen herangezogen werden könnte. Letztere Aussage kann durch Ergebnisse der vorgenommenen multivariaten Analyse jedoch nicht bestätigt werden. Hier zeigt zwar das 1-Hydroxyphenanthren wie auch das 3-Hydroxyphenanthren für den Zigarettenkonsum den jeweils höchsten Beitrag der Varianzaufklärung für die Gesamtstichprobe; für das 2/9-Hydroxyphenanthren dagegen wird durch das Rauchen keine höhere Varianzaufklärung erzielt als durch andere Prädiktoren.

### **Heizungsart und Wohnort (alte / neue Bundesländer)**

Der bedeutsame Ost-West-Effekt im Regressionsmodell zeigt an, dass bei der Bevölkerung der neuen Bundesländer die Ausscheidung an Hydroxyphenanthrenen im Urin höher ist als bei der Bevölkerung der alten Bundesländer.

Z.B. wird für Personen, die 1998 in den neuen Bundesländern wohnten, gegenüber Personen, die zu diesem Zeitpunkt in den alten Bundesländern wohnten, ein um 31,4 % höherer  $\Sigma(1-,2/9-,3-) \text{Hydroxyphenanthren-Gehalt}$  im Morgenurin vorhergesagt. Das 95 %-Konfidenzintervall beträgt 16,3 % bis 48,5 % (Tab. 6.4, Abb. 6.7).

Die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin liegen bei Personen in den neuen Bundesländern um ca. 27 % und die 2/9- bzw. 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte um ca. 36 % höher als in den alten Bundesländern.



**Abb. 6.7 : Effekte von Wohnort und Heizungsart auf die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (mittlere relative Zunahme der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall)**

Anmerkung: In der Abbildung sind die relativen Veränderungen der volumenbezogenen Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin dargestellt, nicht die absoluten Hydroxyphenanthren-Gehalte.

Die Heizungsart ist nicht in den Modellen für die 2/9- Hydroxyphenanthren-Gehalte enthalten.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

Auch für die Hydroxyphenanthrene lässt sich der deutliche Anteil des Prädiktors „neue Bundesländer“ an der Varianzaufklärung anhand der Literaturdaten nicht eindeutig erklären. Die für die verschiedenen Bundesländer veröffentlichten Ergebnisse über PAK-Untersuchungen in der Außenluft (Beck 1999), lassen nur für die PAK insgesamt, jedoch nicht für die nur vereinzelt ausgewiesenen Phenanthren-Resultate, den Schluß einer insgesamt erhöhte Belastung in den neuen Bundesländern zu. Wie schon beim Hydroxypyren erwähnt, ergibt sich aus der Bedeutung der Nutzung fossiler Energieträger der Hausbrand - speziell für die Brennstoffe Holz und Kohle - als wichtige Expositionsquelle für erhöhte PAK-Belastungen. Die vorliegenden Ergebnisse der Regressionsanalysen bestätigen dies. Die Regressionsmodelle zeigen auf, dass eine dezentrale Wohnraumheizung zu höheren Hydroxyphenanthren-Gehalten im Urin führt. So wird z.B. für Personen, die in dezentral beheizten Wohnungen leben gegenüber Personen in zentral beheizten Wohnungen ein um 32 % höherer  $\Sigma(1-,2/9,-3)$ -Hydroxyphenanthren-Gehalt im Morgenurin geschätzt. Das 95%-Konfidenzintervall beträgt 11,9 % bis 55,8 % (Tab. 6.4, Abb. 6.7). Für das 1-Hydroxyphenanthren beträgt die Erhöhung ca. 35 %, für das 3-Hydroxyphenanthren ca. 47 %

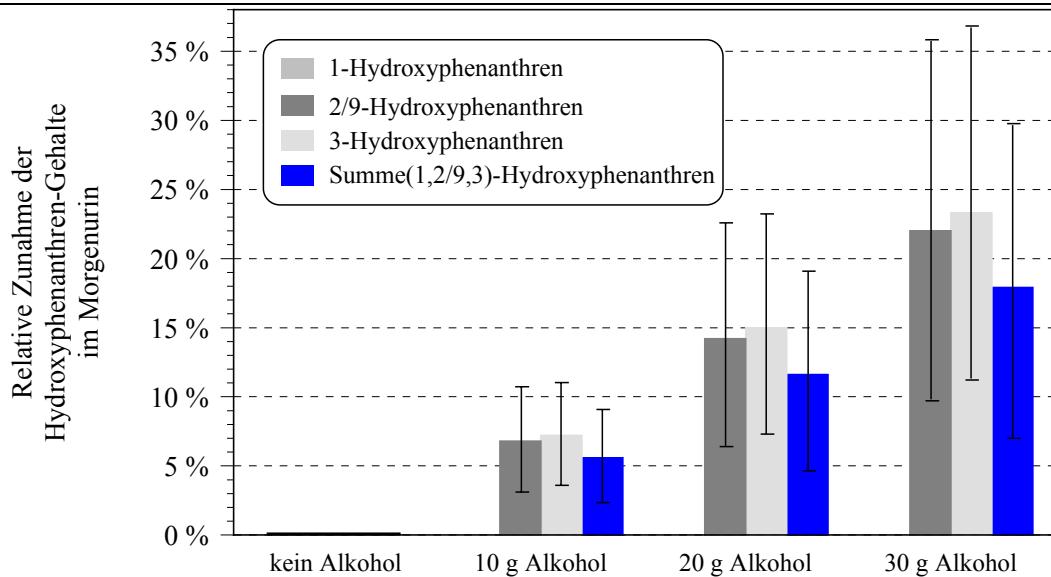
während der Effekt für das 2/9-Hydroxyphenanthren nur in der Teilstichprobe der Nichtraucher (Erhöhung ca. 31 %), nicht aber in der Gesamtstichprobe gesichert werden konnte (Kap. 6.2.1).

Diese Ergebnisse decken sich mit dem Tatbestand, dass eine Ofenheizung oder das Betreiben von Kaminen bekannte Innenraumquellen für PAK sind (Dubowsky et al. 1999, Moriske et al. 1996). So fanden Moriske et al. (1996) in ihren Untersuchungen bei ofenbeheizten Wohnungen tendenziell höhere PAK-Innenraumbelastungen als bei zentralbeheizten Wohnungen (siehe Kap. 4.6). Interessant ist in diesem Zusammenhang, dass weder das Merkmal "Kohleheizung" noch "Probenahme in der Heizperiode" im Rahmen der multivariaten Auswertung zu einem erhöhten Effekt führt.

### **Alkoholkonsum**

Der Alkoholkonsum führt zu signifikant erhöhten Phenanthren-Metabolitkonzentrationen im Urin. Nach dem Regressionsmodell wird je 10 g mehr täglich aufgenommener Alkoholmenge ein um 5,6 % höherer  $\Sigma(1-,2/9-,3-) \text{Hydroxyphenanthren-Gehalt}$  im Morgenurin geschätzt. Mit 95 %-iger Wahrscheinlichkeit liegt die Erhöhung des  $\Sigma(1-,2/9-,3-) \text{Hydroxyphenanthren-Gehaltes}$  im Morgenurin im Bereich von 2,3 % und 9,1 % (Tab. 6.4, Abb. 6.8). Für das 1-Hydroxyphenanthren stellt der Alkoholkonsum nur einen Prädiktor mit schwachem Effekt dar und wurde daher nicht in das Modell aufgenommen.

Schon bei der bivariaten Auswertung der Daten des Umwelt-Surveys hatte sich ein entsprechender Effekt gezeigt (Becker et al. 2002), der durch die hier vorliegenden Ergebnisse der multiplen Regressionsberechnungen bestätigt wird. Der Einfluss des Alkoholkonsums auf den PAK-Metaboliten-Gehalt wird nur vereinzelt in der Literatur beschrieben (siehe Kap. 4.3): Im Gegensatz zum Hydroxypyren wurden für die Phenanthren-Abbauprodukte in diesem Zusammenhang keinerlei Untersuchungsergebnisse publiziert.



**Abb. 6.8 : Effekte der täglich aufgenommenen Alkoholmenge auf die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (mittlere relative Zunahme der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall)**

Anmerkung: In der Abbildung sind die relativen Veränderungen der volumenbezogenen Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin dargestellt, nicht die absoluten Hydroxyphenanthren-Gehalte.

In den Modellen für die 1- Hydroxyphenanthren-Gehalte ist der Alkoholkonsum nicht enthalten.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

## Body Mass Index

Der Body Mass Index ist nur in den Regressionsmodellen für das 2/9-Hydroxyphenanthren in der Teilstichprobe der Nichtraucher signifikant mit einer Varianzaufklärungsrate von über 1 %. Je Erhöhung des Body Mass Index um 1 Einheit werden nach dem Regressionsmodell um 2,8 % höhere 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin von Nichtrauchern vorhergesagt. Das 95 %-Konfidenzintervall beträgt 1,4 % bis 4,3 % (Anhang Kap. 10.4, Tab. 10.20).

Aussagen über Korrelationen zwischen der PAK-Metaboliten-Exkretion und dem Body Mass Index lassen sich nur bei Roggi et al. (1997) finden, die innerhalb des Teilkollektivs der 94 Raucher ihrer Studie einen signifikanten Anstieg des 1-Hydroxypyrens in Abhängigkeit vom Body Mass Index ermittelten (siehe Kap. 4.1).

Für die Phenanthren-Metaboliten liegen im Zusammenhang mit dem Body Mass Index keinerlei Untersuchungsergebnisse vor.

### 6.2.3 Prädiktoren mit schwachen Effekten

Für die Hydroxyphenanthrene wurden ebenfalls die obigen Regressionsmodelle nochmals mit jeder einzelnen, nicht im Modell enthaltenen Variablen unter schwächeren Kriterien überprüft (vgl. Kap. 5.5), um Hinweise auf weitere mögliche Effekte zu finden. Die dabei gefundenen Prädiktoren mit schwachen Effekten sollen hier kurz genannt werden, weil sie in künftigen Studien weiter Beachtung finden sollten oder weil dazu publizierte Hypothesen oder Ergebnisse empirischer Studien existieren. Einen Überblick über diese schwachen Effekte und die Richtung ihrer Wirkung gibt Tab. 6.5.

**Tab. 6.5 : Schwache Effekte und ihre Wirkung auf die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

	Geschlecht (Frauen=1/ Männer=0)	Lebensalter	Body Mass Index	Wohngebiet (ländlich=1/ städtisch=0)	Verwendung Holzschutz- mittel	Entfernung Metall- verarbeitung v. Wohnung	Kraftfahrer	Kaffee
1-OH-Ph.	↑	↑	-	-	-	-	-	-
1-OH-Ph./Cr.	↑	↑	↑	↓	-	-	-	-
2/9-OH-Ph.	-	↑	↑	↓	↑	-	-	-
2/9-OH-Ph./Cr.	↑	↑	↑	↓	↑	-	-	-
3-OH-Ph.	-	↑	-	↓	-	↓	-	-
3-OH-Ph./Cr.	-	↑	-	↓	-	↓	-	-
Σ-OH-Ph.	-	↑	↑	↓	-	-	-	-
Σ-OH-Ph./Cr.	↑	↑	↑	↓	-	-	-	-
1-OH-Ph. NR	↑	-	↑	↓	-	-	-	-
1-OH-Ph./Cr. NR	↑	↑	↑	↓	-	-	-	-
2/9-OH-Ph. NR	-	↑	-	↓	-	↓	↑	-
2/9-OH-Ph./Cr. NR	-	↑	-	↓	-	↓	-	-
3-OH-Ph. NR	-	↑	-	↓	↑	↓	↑	↑
3-OH-Ph./Cr. NR	-	↑	-	↓	↑	↓	↑	↑
Σ-OH-Ph. NR	-	↑	-	↓	-	↓	↑	-
Σ-OH-Ph./Cr. NR	-	↑	↑	↓	-	↓	↑	-

Anmerkungen: Ph.: Phenanthren  
 Cr.: Creatinin  
 NR: Nichtraucher  
 -: kein Effekt  
 ↑: positiver Effekt  
 ↓: negativer Effekt

Erläuterungen zu den Prädiktoren: siehe Anhang Kap. 10.7

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

Die Indikatoren für die Passivrauchbelastung waren in den Modellen für die Hydroxyphenanthrene in der Teilstichprobe der Nichtraucher im Gegensatz zu den Modellen für das 1-Hydroxypyren nicht signifikant. Auch Martin et al. (1989) konnten keine meßbare Zunahme der Hydroxyphenanthren-Metaboliten-Gehalte durch das Passivrauchen feststellen.

## Geschlecht

Das **Geschlecht** würde die Varianzaufklärung der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte um 0,5 % (volumenbezogene Gehalte) bzw. 1,5 % (creatininbezogene Gehalte) sowie für die creatininbezogenen 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte um 0,5 % erhöhen. Dabei würden für Frauen im Vergleich zu Männern höhere Gehalte vorhergesagt. Bei den Regressionsmodellen für die creatininbezogenen Gehalte wurde der Creatiningehalt im Urin nicht als Prädiktor geprüft (vgl. Kap. 5). Gleichwohl ist in diesen Modellen ein nicht unerheblicher Effekt des Creatiningehalts im Urin zu beobachten. Da Geschlecht und Creatiningehalt im Urin korrelieren, ist der Geschlechtseffekt in den Modellen für die creatininbezogenen Hydroxyphenanthren-Gehalte zum Teil ein Effekt des Creatiningehalts. Dies wird auch dadurch deutlich, dass der Anteil des Geschlechts an der Varianzaufklärung des creatininbezogenen 1-Hydroxyphenanthren-Gehalts sich deutlich abschwächt (unter 1 %) bzw. nicht mehr signifikant ist (2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalt), wenn man den Creatiningehalt im Urin und das Geschlecht gleichzeitig zusätzlich in das Regressionsmodell aufnimmt.

Der im Rahmen des Surveys ermittelte schwache Prädiktor Geschlecht lässt sich nicht durch entsprechende Untersuchungen aus der Literatur belegen. Die vorliegenden Literaturdaten z.B. zu 1-Hydroxypyren (Zhao et al. 1992) zeigen, dass, wenn überhaupt Unterschiede bei den Geschlechtern ermittelt wurden, der Effekt nicht signifikant und meist nur schwach ausgeprägt ist. In jenen Fällen werden aber zumeist höhere Gehalte bei den Männern ermittelt (vgl. Kap. 4.1).

## Lebensalter

Für alle Phenanthren-Metaboliten lässt sich im Gegensatz zum 1-Hydroxypyren ein schwacher Effekt des **Lebensalters** ermitteln, unabhängig davon, ob der Harnvolumen- oder Creatininbezug gewählt wird. Ein höheres Lebensalter wäre dann mit höheren Hydroxyphenanthren-Gehalten im Morgenurin assoziiert.

Generell sind die durch das Lebensalter erzielbaren Erhöhungen der Varianzaufklärung bei den Modellen für die creatininbezogenen Hydroxyphenanthren-Gehalte höher als die für die volumenbezogenen Gehalte. Sie liegen zwischen 0,7 % (volumenbezogener 1-Hydroxyphenanthren-Gehalt) und 3,4 % (creatininbezogener 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalt). Für das Lebensalter sind die Aussagen, die bereits für das Geschlecht gemacht wurden ebenfalls zutreffend. Die Korrelation zwischen Lebensalter und Creatiningehalt im Urin ist sogar noch stärker als die zwischen Geschlecht und Creatiningehalt im Urin. Das Lebensalter wurde auch deshalb nicht als Prädiktor in einzelne Regressionsmodelle aufgenommen, da das Signifikanzniveau eines solchen Effektes in den zufälligen Teilstichproben bei der Kreuzvalidierung deutlich unterschiedlich war.

### **Body Mass Index**

Wie bereits im Kapitel 6.2.2 vorgestellt, konnte der **Body Mass Index** für das 2/9-Hydroxyphenanthren im Teilkollektiv der Nichtraucher als Prädiktor ermittelt werden. Schwache Effekte durch den Body Mass Index konnten für die 2/9-Hydroxyphenanthrene und das creatininbezogene 1-Hydroxyphenanthren beobachtet werden. Dabei sind höhere Hydroxyphenanthren-Gehalte mit einem höheren Body Mass Index assoziiert. Für das 3-Hydroxyphenanthren konnte dagegen kein Zusammenhang mit dem Body Mass Index gefunden werden.

### **Wohngebiet**

Durch eine Variable zum **Wohngebiet** könnten in den Regressionsmodellen zwischen 0,3 % und 0,9 % der Varianz der Hydroxyphenanthrene zusätzlich erklärt werden.

Für alle Phenanthren-Metaboliten konnte sowohl beim Harnvolumen- (außer 1-Hydroxyphenanthren) als auch beim Creatininbezug für den Prädiktor "Wohnort" ein niedrigerer Gehalt für das Wohnen in ländlichen Gegenden in Relation zur Angabe "städtisch/vorstädtisch" ermittelt werden. Dieses Ergebnis ist plausibel, wird doch in städtischen Bereichen durch die im allgemeinen höhere Verkehrsdichte, die dichtere Wohnbebauung und die höhere Anzahl potentieller Emissionsquellen eine erhöhte PAK-Belastung erwartet. Auch Pott et al. (1992) stellen dies in ihrer Untersuchung über Luftbelastungen fest. Angerer et al. (1997c) konnten in ihrer Untersuchung über

Anwohner eines Industriegebietes auch einen tendenziellen Einfluss durch die industriellen Ballungsregionen nachweisen (siehe Kap. 4.5).

### **Anwendung chemischer Holzschutzmittel**

Für das 2/9- und das 3-Hydroxyphenanthren (hier nur bei den Modellen in der Teilstichprobe der Nichtraucher) konnte bei der **Anwendung chemischer Holzschutzmittel** in der Wohnung ebenfalls ein schwacher Effekt herausgearbeitet werden. PAK werden als Holzschutzmittel in Gemischen wie Carbolineum (eingesetzt zum Imprägnieren von Holzzäunen) verwendet. Auch wenn die Variable "Anwendung chemischer Holzschutzmittel" relativ unspezifisch ist und eine große Anzahl von Produkten umfaßt, die nicht unbedingt PAK enthalten, könnte der schwache Effekt ein Indiz für die Verwendung derartige Gemische sein.

Die Holzschutzmittelanwendung würde zu höheren Schätzungen für die 2/9- bzw. 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin führen. Die Varianzaufklärung der Regressionsmodelle würde sich um maximal 0,7 % (creatininbezogener 3-Hydroxyphenanthren-Gehalt bei Nichtrauchern) erhöhen.

### **Entfernung zu Metall verarbeitenden Betrieben**

Ein schwacher Effekt auf die 2/9- (nur in der Teilstichprobe der Nichtraucher) bzw. 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin wurde bezüglich **der Entfernung der Wohnung zu Metall verarbeitenden Betrieben** gefunden. Befinden sich im Umkreis der Wohnung des Probanden solche Betriebe, so würden mit wachsender Entfernung dieser Betriebe geringere 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin vorhergesagt.

Im Rahmen von Untersuchungen zur beruflichen Exposition von Arbeitern in speziellen Betrieben der Metall verarbeitenden Industrie (Aluminiumindustrie, Elektrodenherstellung) konnten deutliche Belastungen der Arbeiter nachgewiesen werden (Angerer et al. 1997, Ny et al. 1993) (siehe Kap. 4.7). Jedoch ist der Anteil derartiger Betriebe an der Gesamtzahl von Betrieben der Metall verarbeitenden Industrie äußerst gering. Da im Umwelt-Survey die Zahl der Probanden dieses Unterkollektives, die in unmittelbarer Nähe von Metall verarbeitenden Betrieben wohnen, gering ist (10 Probanden in 50 m Entfernung, 5 Probanden in weniger als 50 m Entfernung), kann dieser Effekt möglicherweise auch andere Ursachen haben.

## Kraftfahrer

Für **Kraftfahrer** konnte gegenüber Probanden, die nicht als Kraftfahrer beschäftigt waren, ein schwacher Effekt auf die 2/9- (nur volumenbezogen) bzw. 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin in der Teilstichprobe der Nichtraucher erkannt werden. Dabei werden für Kraftfahrer höhere Hydroxyphenanthren-Gehalte geschätzt.

Als einzige Berufsgruppe im Rahmen des Umwelt-Surveys lieferten die Kraftfahrer einen schwachen Effekt für die Belastung mit 2/9- bzw. 3-Hydroxyphenanthren. In der Literatur sind zur Zeit keine Untersuchungen publiziert, die einen Zusammenhang mit der durch den Verkehr hervorgerufenen Phenanthrenbelastung beschreiben. Für die Belastung von Kraftfahrern mit PAK und deren Stoffwechselprodukten liegen ebenfalls keine Daten vor. Lediglich für das 1-Hydroxypyren wird von Zhao et al. (1995) über eine erhöhte Ausscheidung dieses Metaboliten bei Verkehrspolizisten berichtet (siehe Kap. 4.5). Insofern könnte die berufsbedingt häufige Exposition in Emittentennähe eine Erklärung für die festgestellte Zusatzbelastung sein. Allerdings muß dieser Effekt mit Vorsicht interpretiert werden, da sich nur 8 Kraftfahrer in dieser Teilstichprobe befinden.

## Kaffeekonsum

Der **Kaffeekonsum** ("einmal pro Woche oder häufiger" gegenüber seltenerem Konsum) zeigte ebenfalls nur in der Teilstichprobe der Nichtraucher einen schwachen Effekt und auch da nur für den Gehalt an 3-Hydroxyphenanthren im Urin. Häufigerer Kaffeekonsum ist dabei mit höheren 3-Hydroxyphenanthren-Gehalten im Urin assoziiert.

Die in der österreichischen Untersuchung von Schlemitz et al. (1996) (vgl. Kap. 4.4) festgestellten PAK-Gehalte in 19 Kaffeesorten und 2 Kaffeeauszügen sowie der höhere Phenanthrengehalt gegenüber dem Pyrengehalt in den Kaffeeauszügen könnten möglicherweise ein Indiz dafür sein, dass die inkorporale Belastung von 3-Hydroxyphenanthren, nicht jedoch von 1-Hydroxypyren durch den Prädiktor "Kaffeekonsum" erklärt wird. Unter der Voraussetzung eines regelmäßigen Kaffeekonsums unter den häufigen Kaffeetrinkern ist es auch erklärlich, dass trotz einer Halbwertszeit der PAK im Organismus von etwa einem Tag hier ein schwacher Effekt erkennbar wird.

### 6.3 Anmerkungen zu einigen nicht signifikanten Prädiktoren

Obwohl in weiten Teilen Deutschlands eine hohe Verkehrsdichte festgestellt werden kann, führt der Prädiktor Verkehr sowohl bezüglich der eingeschätzten Verkehrsdichte als auch bezüglich des vom Verkehr verursachten Lärms im Rahmen dieser Auswertung zu keinem signifikanten Beitrag an der PAK-Belastung der Allgemeinbevölkerung. Insofern kann auch dieses Ergebnis darauf zurückzuführen sein, dass die im begleitenden Fragebogen gestellten Fragen zum Verkehr nicht genügend präzisiert und unterteilt waren.

In einer Reihe von Publikationen wird der signifikante Einfluss von gegrillten Speisen auf die PAK-Belastung beschrieben (Buckley et al. 1992, 1995, Granella et al. 1993, Kang et al. 1995a, Sithisarankul et al. 1997) (siehe Kap. 4.4). Im Rahmen des Umwelt-Surveys konnte dagegen kein derartiger Zusammenhang ermittelt werden. Allerdings kann dies darauf zurückzuführen sein, dass nur 2 der befragten Personen, die zudem beide Raucher sind, angaben, mindestens einmal pro Tag mit Holzkohle gegrillte Speisen zu verzehren. Außerdem ist die Halbwertszeit der PAK im Organismus, die mit 3 bis 35 Stunden für das Pyren angegeben wird, im Vergleich zur Verzehrhäufigkeit gering. Nach Untersuchungen von Sithisarankul et al. (1997) sind Effekte in der Metaboliten-Exkretion, die auf die Einnahme von PAK-reicher Kost zurückzuführen sind, nur in den ersten 24 Stunden nachweisbar.

Von einigen beruflichen Expositionen mit PAK ist bekannt, dass sie zu ganz erheblichen korporalen Belastungen führen können (vg. Kap. 4.7). Allerdings ist die Zahl der potenziell Betroffenen insgesamt relativ gering, da dieses Problem auf wenige Produktions- und Berufssparten beschränkt ist. Insbesondere Arbeiter aus dem Bereich der Teer oder Teerprodukte verarbeitenden Industrie und einigen begrenzten Bereichen der Metall verarbeitenden Industrie (Elektrodenherstellung) und Schornsteinfeger zählen danach zu den potenziell exponierten Berufsgruppen (Angerer et al. 1997a, Dell’Omo et al. 1998, Elliehausen et al. 1997, Elovaara et al. 1995, Heikkilä et al. 1995, Jongeneelen 1992, Jongeneelen et al. 1985, Van Rooij et al. 1993a). Da diese potenziell belasteten Berufsgruppen insgesamt nur eine äußerst geringe Zahl unter den Berufstätigen bilden, ist bei der relativ geringen Zahl von Exponierten im Umwelt-Survey nicht zu erwarten, dass die berufliche Exposition wesentlich zur Varianzaufklärung beiträgt. Im anderen Falle wären auch möglicherweise nicht-beruflich bedingte Effekte durch die berufliche Exposition überdeckt worden.

## 7 Schlussbemerkungen

Mit dem Umwelt-Survey 1998 wurde erstmals die korporale Belastung mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in der deutschen Allgemeinbevölkerung auf repräsentativer Basis gemessen und in umfangreichen statistischen Analysen ausgewertet. Im Berichtsband III des Umwelt-Surveys 1998 ist die deskriptive Auswertung der PAK-Metabolitkonzentrationen im Urin dargestellt. Der vorliegende Bericht umfasst die Auswertung mit multivariaten statistischen Verfahren.

Vor der abschließenden Bewertung der Ergebnisse soll auf einige grundlegende Aspekte hingewiesen werden:

Bei den PAK handelt es sich um eine Schadstoffgruppe mit einer Vielzahl an Einzelkomponenten, von denen jeweils nur eine ausgewählte, eng begrenzte Anzahl als sogenannte "Leitsubstanzen" untersucht wird. Gemäß der Trinkwasserverordnung werden 5 Einzelkomponenten untersucht<sup>2</sup>, gemäß der Bodenschutzverordnung und im Zusammenhang mit luftgetragenen Emissionen werden zumeist 16 Komponenten erfaßt. Es bleibt dabei offen, ob diese Leitsubstanzen das Verhalten der übrigen PAK repräsentativ wiedergeben können. Die bekannten PAK-Quellen (jede Art von Verbrennungsprozessen, Anwendung von teerhaltigen Produkten) sind zumeist recht eingehend untersucht worden, dennoch sind Daten über die vorkommenden Belastungen vergleichsweise spärlich zu finden und stehen zudem oft im Zusammenhang mit Studien um „hot spots“.

Demzufolge finden sich publizierte Daten zur korporalen Belastung mit den Abbauprodukten der PAK im Urin zumeist nur im Zusammenhang mit beruflich bedingten Expositionen und dem Rauchen. Hier werden zudem überwiegend nur die Metabolitkonzentrationen des Pyrens, einer der PAH-Leitsubstanzen, und dann auch nur des mono-hydroxylierten Abbauproduktes, dargestellt. Die Beschränkung auf das 1-Hydroxypyren ist vor allem darauf zurückzuführen, dass erst in jüngster Zeit genügend empfindliche Analysenmethoden für andere PAK-Metaboliten wie z.B. die mono-hydroxylierten Phenanthrene bzw. mehrfach hydroxylierte Abbauprodukte im Urin entwickelt wurden. Dies trifft auch auf die Metaboliten des Benzo(a)pyren zu, das wegen seiner nachgewiesenen kanzerogenen und mutagenen Wirkung von besonderem hygienischen Interesse ist

---

<sup>2</sup> seit 1.1.2003. Zuvor war auch noch Fluoranthen in der Trinkwasserverordnung geregelt

und vielfach als Leitsubstanz für die PAK bestimmt wird. Untersuchungen zur korporalen Belastung durch das ubiquitäre Auftreten der PAK sind nahezu gar nicht veröffentlicht.

Im vorliegenden Umwelt-Survey 1998 für PAK, in dem sehr umfangreiche Daten zur korporalen Schadstoffbelastung und Schadstoffexposition im häuslichen Bereich erhoben wurden, ist zur Auswertung der Ergebnisse ein sowohl systematischer, als auch pragmatischer, multivariater, statistischer Ansatz gewählt worden. Ausgehend von der Auswertung bisheriger Literaturergebnisse und des Umweltfragebogens wurden Prädiktoren postuliert und ausgewählt, die dann zur Varianzaufklärung eingesetzt werden, und zwar: individuelle Faktoren, Verhaltensweisen, Wohnungsumfeld, häuslicher Bereich und Arbeitsplatz. Und da PAK immer als Gemisch auftreten, ist die vorliegende Studie – im Unterschied zu vielen anderen – nicht auf eine Einzelsubstanz, sondern auf insgesamt vier häufig auftretende mono-hydroxylierte Stoffwechselprodukte des Pyrens und Phenanthrens bezogen (1-Hydroxypyren sowie 1-Hydroxyphenanthren, 2/9-Hydroxyphenanthren, 3-Hydroxyphenanthren und deren Summe).

Als weiteres Charakteristikum der vorliegenden Studie ist anzuführen, dass die Auswertung sowohl für das gesamte Probanden-Kollektiv als auch separat für die Nichtraucher erfolgte, und die Analysenwerte auf das Harnvolumen und auf den Creatiningehalt bezogen worden sind.

Die vorliegenden Ergebnisse führen zwar zu keinen Erkenntnissen über völlig neue Expositionspfade von PAK für die Allgemeinbevölkerung, wohl aber werden bisher vermutete oder bekannte qualitative Zusammenhänge quantifiziert und statistisch abgesichert.

Nicht überraschend stellt der **Tabakkonsum** einen Hauptexpositionspfad für PAK dar, wobei hier in Übereinstimmung mit der Literatur die Konzentration der PAK-Metaboliten im Harn von Rauchern direkt mit der Anzahl der gerauchten Zigaretten korreliert. Das Rauchen wird als ein wesentlicher Expositionspfad angesehen, was durch die Ergebnisse der multivariaten Analysen nachdrücklich bestätigt wird.

Inwieweit das **Passivrauchen** zu höheren Gehalten der PAK-Metaboliten im Urin führt, wurde ebenfalls anhand des vorliegenden Datenmaterials des Umwelt-Survey 1998 geprüft. Die Ergebnisse der statistischen Auswertungen ergaben lediglich einen schwachen Effekt, der eine durch das Passivrauchen bedingte Erhöhung der 1-Hydroxypyren-Konzentration im Urin anzeigen. Es ist davon auszugehen, dass sich eine Verbesserung der Aufklärung der Zusammenhänge

zwischen der Ausscheidung der PAK-Metaboliten und der Passivrauchbelastung ergeben würde, wenn gezielt nach einer konkreten Aufenthaltszeit in durch Zigarettenrauch belasteten Räumen in den Tagen vor der Probenahme gefragt werden würde.

Aus gesundheitspolitischer Perspektive betrachtet wird der Befund, dass das Rauchen ein wesentlicher Expositionspfad für die korporale Belastung mit PAK ist, ergänzt durch das Ergebnis der Untersuchung, dass auch der **Alkoholkonsum** einen Einfluss auf die Gehalte der PAK-Metaboliten im Urin hat (höhere Gehalte bei höherem Alkoholkonsum).

Eine wirksame Reduzierung der PAK-Exposition muss sich konsequenterweise auch mit dieser Problematik beschäftigen, obwohl oder besser gerade weil bisherige Maßnahmen in der Praxis wenig erreicht haben.

Ein weiteres, hervorzuhebendes Ergebnis dieser Studie ist die statistisch abgesicherte Aussage, dass dezentrale Heizungen im Vergleich zu zentralen Heizungssystemen signifikant zur PAK-Exposition in der Allgemeinbevölkerung beitragen. Das Vorhandensein dezentraler Wohnraumheizungen führt zu höheren Gehalten der PAK-Metaboliten im Urin. Es ist unbestritten, dass zentrale Energieversorgungen - nicht nur in Bezug auf die hier untersuchten PAK – den dezentralen Heizungen aus Umweltschutzgründen vorzuziehen sind. Durch den Ersatz dezentraler Heizungssysteme durch zentrale Heizungssysteme dürfte – vor allem in den neuen Bundesländern – eine deutliche Reduzierung der korporalen Belastung mit PAK zu erreichen sein und sich der in der deskriptiven Auswertung deutlich erkennbare Trend der Abnahme der PAK-Gehalte im Urin der Nieraucher von 1990/92 bis 1998 fortsetzen.

Gezielte Maßnahmen zur Reduktion von PAK-Emissionen sind demnach verstärkt in den neuen Bundesländern umzusetzen, zeigen doch die Ergebnisse des Umwelt-Surveys 1998, dass bei dieser Bevölkerung im Vergleich zu jener in den alten Bundesländern die korporale Belastung mit PAK signifikant höher ist. Diese Unterschiede sind höchstwahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass in den neuen Bundesländern der Faktor Luftverunreinigung als zusätzliche Expositionsquelle in Erscheinung tritt, wobei Emissionen dort flächendeckend wirksam sind oder zumindest viel weiter verbreitet sind als in den alten Bundesländern. Neben industriellen Emissionen sind hier vor allem Emissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe zu berücksichtigen.

Gründe für den beträchtlichen Anteil der nicht aufgeklärten Varianz (44,3 – 64,5 %) dürften einerseits in der kurzen biologischen Halbwertszeit der PAK, andererseits in der Bedeutung akuter Expositionen liegen. Bezuglich der letzteren Begründung ist der Forschungsbedarf offensichtlich. Durch geeignete Frageformulierungen sollten die akuten Expositionen zum Erhebungszeitpunkt besser erfasst werden. Der mangelnden Präzision bei der Erhebung (Zeit zwischen Exposition und Probenahme bzw. der kurze Ausscheidungszeitraum der untersuchten PAK-Metaboliten) ist es vermutlich auch zuzuschreiben, dass die vorliegende Studie wesentliche Expositionspfade für die korporale Belastung mit PAK nicht bestätigen konnte. Dies betrifft vor allem Angaben zur Ernährung und zum Wohngebiet.

Die Emissionsquelle **Verkehr** leistet unbestritten einen weiteren Hauptbeitrag zur PAK-Freisetzung in die Umwelt. Der Straßenverkehr gilt sogar als die hauptsächliche Quelle für die Konzentration von PAK in Innenräumen von Nichtraucherhaushalten außerhalb der Heizperiode. Dennoch konnte diese Expositionsquelle für die korporale Belastung mit PAK in der vorliegenden Studie statistisch nicht bestätigt werden. Alle erhobenen Informationen zum Themenkomplex Verkehr (Gemeindegröße, Wohngebiet, Bebauungsart, Art der Wohnstraße, Pkw-Dichte, etc.), die sich aus den Fragebogendaten des Umwelt-Surveys generieren ließen und als Prädiktoren bei den Berechnungen der Regressionsmodelle geprüft wurden, stellten keine signifikanten Einflussgrößen für die Ausscheidung von PAK-Metaboliten dar. Hier könnten ergänzende Studien, die gezielter auf die speziellen Fragestellungen der PAK-Belastung zugeschnitten sind und beispielsweise Analysen des Hausstaubes sowie detailliertere Angaben zum Wohnumfeld (Abstand der Wohnung von der Straße, Höhe der Wohnung über der Straße etc.) beinhalten, weitere Aufschlüsse liefern. Auch aus dem Kinder-Umwelt-Survey 2003-06, bei dem ebenfalls PAK-Metaboliten im Morgenurin bestimmt werden, können weitere Erkenntnisse gerade zu diesem Thema erwartet werden.

Nicht überraschend ist das Ergebnis, dass bei Probanden mit Wohnsitz in ländlichen Gebieten im Vergleich zu Probanden in städtischen bzw. vorstädtischen Regionen niedrigere Phenanthren-Metabolitenkonzentrationen festzustellen sind. Dieser Zusammenhang ist zwar – so zeigen die regressionsstatistischen Berechnungen – nur schwach ausgeprägt, dennoch ist dieses Ergebnis erkennbar. In städtischen Bereichen wird durch die im allgemeinen höhere Verkehrsdichte, die dichtere Wohnbebauung und die höhere Anzahl potentieller Emissionsquellen auch eine erhöhte PAK-Belastung erwartet.

Ebenso wie in anderen größeren Studien ist es auch in der vorliegenden Studie nicht gelungen, einen deutlichen Einfluss der **Ernährung** nachzuweisen, obwohl die Nahrung, neben dem Rauchen, als eine wesentliche Quelle für PAK gilt. In der vorliegenden Studie wurde gezielt überprüft, inwieweit die Einnahme PAK-reicher Kost den PAK-Metaboliten-Gehalt im Urin beeinflusst. Es wurden dabei vor allem die Lebensmittel überprüft, die potenziell reich an PAK sein können. Hierbei handelt es sich z.B. um gegrillte und geräucherte Lebensmittel, gerösteten Kaffee sowie Öle und Fette. Die Informationen zur Nahrungsaufnahme oben genannter Lebensmittel, die in den Berechnungen der Regressionsmodelle geprüft wurden, waren Häufigkeitsabfragen über den Verzehr der jeweiligen Lebensmittel. Um die Frage nach dem Einfluß der Ernährung besser klären zu können, wären Untersuchungen über die tatsächliche PAK-Belastung der Speisen und deren Zubereitungen sowie den zeitlichen Zusammenhang der PAK-Metabolitausscheidung hilfreich (Duplikat-Studien).

Inwieweit es in der Praxis möglich sein wird, durch eine Minderung des Tabakkonsums – ein durch diese Studie bestätigter Hauptexpositionspfad der PAK-Belastung – eine deutliche Verringerung der PAK-Belastung der Bevölkerung herbeizuführen, ist schwer vorherzusagen. In gleicher Weise schwer abzuschätzen sind Veränderungen der PAK-Belastungen in der Bevölkerung der Bundesrepublik Deutschland, die auf einer Veränderung der PAK-Gehalte in Lebensmitteln beruhen. In den vergangenen Jahren ist die Bevölkerung verstärkt über die Gefahren der Bildung krebserregender Stoffe beim (privaten) Grillen oder beim Konsum stark angebrannter bzw. gerösteter Lebensmittel informiert worden. Die Aufklärungsbemühungen im Sinne des vorbeugenden Gesundheitsschutzes sollten fortgesetzt werden.

Zusammenfassend lässt sich feststellen:

Der besondere Wert und Beitrag dieser bevölkerungsrepräsentativen Studie liegt vor allem darin, dass hier mehr als nur eine PAK-Leitsubstanz und zudem ein breites Spektrum möglicher Prädiktoren in einem relativ großen Probandenkollektiv mit modernen statistischen Methoden untersucht wurde, wodurch der Aussagekraft der Ergebnisse ein besonderes Gewicht zukommt. Hot-Spot-Untersuchungen und auch arbeitsmedizinische Untersuchungen, die in der Literatur am häufigsten angeführt werden, können immer nur Detailbilder für ein relativ kleines (beruflich) exponiertes Kollektiv liefern, deren Ergebnisse für die Gesamtbevölkerung nicht repräsentativ und meist auch nicht relevant sind. Bemerkenswert in diesem Zusammenhang ist, dass für die untersuchten Expositionspfade einige aus der Literatur bekannte Zusammenhänge für 1-

Hydroxypyren im vorliegenden Bericht zum Umwelt-Survey 1998 erstmals auch für die untersuchten Metaboliten des Phenanthrens festgestellt werden konnten.

## 8 Literatur

- Adams, A., Gündel, J., Strunk, P., Angerer, J.: Zur Effektivität primärpräventiver Maßnahmen bei beruflicher PAH-Exposition. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 34, 3 (1999) 97-100.
- Alessio, L., Berlin, A., Dell'Orto, A., Toffoletto, F., Ghezzi, I.: Reliability of urinary creatinine as a parameter used to adjust values of urinary biological indicators. *Int. Arch Occup. Environ Health* 55 (1985) 99-106.
- Angerer, J., Mannschreck, C., Gündel, J.: Occupational exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in a graphite-electrode producing plant: biological monitoring of 1-Hydroxypyrene and monohydroxylated metabolites of phenanthrene. *Int. Arch Occup. Environ Health* 69 (1997a) 323-331.
- Angerer, J., Mannschreck, C., Gündel, J.: Biological monitoring and biochemical effect monitoring of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Int. Arch Occup. Environ Health* 70 (1997b) 365-377.
- Angerer, J., Gündel, J., Mannschreck, C., Ewers, U., Büttner, K.: Beurteilung der PAH-Belastung der Anwohner eines Industriegebietes in der Bundesrepublik Deutschland. *Umweltmed Forsch Prax* 2, 1 (1997c) 17-22.
- Angerer, J.: Das Biological Monitoring bei der Beurteilung der Belastung/Beanspruchung durch PAH-Aufnahme in Wohnungen mit teerhaltigem Parkettkleber. *Umweltmed. Forsch. Prax.* 4, 2 (1999) 65-72.
- Baron, J., Szustakowski, M.: Korrelation zwischen PAH, Teergehalt und Asche im Zigarettenrauch. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 57, 6, (1997) 463-465.
- Baumbach, G., Pfeiffer, F., Struschka, M.: Neue Emissionsfaktoren für Kleinverbrennungsanlagen der Haushalte und Kleinverbraucher. *Schornsteinfegerhandwerk* 12 (2000) 16-21.
- Becht, M., Strähuber, R.: Untersuchungen zu Seitenstreifen-Altlasten an Beispielen aus dem Stadtgebiet München. *Wasser & Boden*, 50, 11 (1998) 9-23.
- Beck, E.-M.: Ambient air concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons in Germany. *Fresenius Envir. Bull.* 8 (1999) 602-608.
- Becker, K., Kaus, S., Krause, C., Lepom, P., Schulz, C., Seiwert, M., Seifert, B.: Umwelt-Survey 1998, Band III: Human-Biomonitoring: Stoffgehalte in Blut und Urin der Bevölkerung in Deutschland, WaBoLu-Heft 1, 2002.
- Bellach, B., Kopf, H., Thefeld, W.: Der Bundes-Gesundheitssurvey 1997/98. *Gesundheitswesen* 60, Sonderheft 2 (1998) 59-68.
- Blumer, M., Youngblood, W.: PAHs in solid and recent sediments. *Science* 188 (1975) 3-55.
- Boogard, P.J., van Sittert, N.J.: Exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in petrochemical industries by measurement of urinary 1-hydroxypyrene. *Occupational and Environmental Medicine* 51 (1994) 250-258.
- Boogard, P.J., van Sittert, N.J.: Urinary 1-hydroxypyrene as biomarker of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in workers in petrochemical industries: baseline values and dermal uptake. *The Science of the Total Environment* 163 (1995) 203-209.

- Bortz, J.: Statistik für Sozialwissenschaftler, 4. Aufl., Springer Verlag, Berlin, 1993.
- Bosset, O., Bütkofer, U., Sieber, R., Dafflon, O., Koch, H., Scheurer, L.: Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe in Käse: Agrarforschung 4, 10 (1997) 411-414.
- Buchet, J.P., Gennart, J.P., Mercado-Calderon, F., Delavignette, J.P., Cupers, L., Lauwerys, R.: Evaluation of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in a coke production and a graphite electrode manufacturing plant: assessment of urinary excretion of 1-hydroxypyrene as a biological indicator of exposure. British Journal of Industrial Medicine 49 (1992) 761-768.
- Buckley, T., Lioy, P.: An examination of the time course from human dietary exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons to urinary elimination of 1-hydroxypyrene. British Journal of Industrial Medicine 49 (1992) 113-124.
- Buckley, T., Waldman, J., Dhara, R., Greenberg, A., Ouyang, Z., Lioy, P.: An assessment of urinary biomarker for total human environmental exposure to benzo[a]pyrene. Int. Arch. Occup Environ Health 67 (1995) 257-266.
- Burgaz, S., Borm, P., Jongeneelen, F.: Evaluation of urinary excretion of 1-hydroxypyrene and thioethers in workers exposed to bitumen fumes. Int. Arch. Occup Environ Health 63 (1992) 397-401.
- Dell'Omo, M., Muzi, G., Marchionna, G., Latini, L., Carrieri, P., Paolemil, P., Abbritti, G.: Preventive measures reduce exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons at a graphite electrode plant. Occupational and Environmental Medicine 55 (1998) 401-406.
- Dieckow, P., Ullrich, D., Seifert, B.: Vorkommen von polzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) in Wohnungen mit Parkettfußböden. Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Umweltbundesamtes, WaBoLu-Hefte 2, 1999.
- Dubowsky, S.D., Wallace, L.A., Buckley, T.J.: The contribution of traffic to indoor concentrations of polycyclic aromatic hydrocarbons. JEAE 9 (1999) 312-321.
- Elliehausen, H.-J., Konerding, J., Lehmann, H.: Belastung von Schornsteinfegern durch polycyclische Kohlenwasserstoffe. Schornsteinfegerhandwerk 12 (1997) 19-22.
- Elovaara, E., Heikkilä, P., Pyy, L., Mutanen, P., Riihimäki, V.: Significance of dermal and respiratory uptake in creosote workers: exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons and urinary excretion of 1-hydroxypyrene. Occupational and Environmental Medicine 52 (1995) 196-203.
- Engewald, W., Knobloch, T., Efer, J.: Flüchtige Verbindungen in Emissionen aus dem Hausbrand von Braunkohle. UWSF-Z. Umweltchem. Ökotox. 5, 6 (1993) 303-308.
- Ferreira, M., Buchet, J., Burrión, J., Moro, J., Cupers, L., Delavignette, J., Jacques, J., Lauwerys R.. Determinants of urinary thioethers, D-glucaric acid and mutagenicity after exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons assessed by air monitoring and measurement of 1-hydroxypyrene in urine: a cross-sectional study in workers of coke and graphite-electrode-producing plants. Int. Arch. Occup Environ Health 65 (1994) 329-338.
- Fiedler, H., Mertens, C., Morgenstern, M., Scheidt, M., Hutzinger, O.: Stoffbericht Polzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK). Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle, LFU Baden-Württemberg, Karlsruhe, 1997.

- Fischer, E., Henze, G., Platt, K.L.: Sensitive and selective determination of metabolically formed trans-dihydrodiols and phenols of benzo(a)pyrene in water and urine samples by HPLC with amperometric detection. *Fresenius J. Anal. Chem.* 360 (1998) 95-99.
- Fromme, H., Oddoy, A., Lahrz, T., Piloty, M., Gruhlke, U.: Exposition der Bevölkerung gegenüber flüchtigen Luftschadstoffen im Autoinnenraum und in der U-Bahn. *Zent.bl. Umweltmed.* 200 (1997/98) 505-520.
- Gertz, C., Kogelheide, H.: Untersuchungen und Beurteilung von PAK in Speisefetten und -ölen. *Fat. Sci. Technol.* 96, 5 (1994) 175-180.
- Glatt, H. R.: Phenolic benzo(a)pyrene metabolites are mutagens. *Mutation Research Bd.* 36 (1976) 379-384.
- Göen, T., Gündel, J., Schaller, K.-H., Angerer, J.: The elimination of 1-hydroxypyrene in the urine of the general population and workers with different occupational exposures to PAH. *The Science of the Total Environment* 163 (1995) 195-201.
- Granella, M., Clonfero, E.: Urinary excretion of 1-pyrenol in automotive repair workers. *Int. Arch. Occup Environ Health* 65 (1993) 241-245.
- Gräf, W., Diehl, H.: Über den naturbedingten Pegel kanzerogener polzyklischer Aromaten und seine Ursache. *Arch. Hyg.* 150 (1966) 59-69.
- Grimmer, G., Dettbarn, G., Naujack, K.-W., Jacob, J.: Excretion of hydroxy derivatives of polycyclic aromatic hydrocarbons of the masses 178, 202, 228 and 252 in the urine of coke and road workers. *Intern. J. Environ. Anal. Chem.*, Vol. 43 (1991) 177-186.
- Grimmer, G.: Umwelttoxikologische Bewertung von PAK in Böden. *Altlastenspektrum 2/93* (1993) 85-92.
- Grimmer, G., Dettbarn, G., Jacob, J.: Biomonitoring of polycyclic hydrocarbons in highly exposed coke plant workers by measurement of urinary phenanthrene and pyrene metabolites (phenols and dihydrodiols). *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 65 (1993) 189-199.
- Hanke, C., Scheidt, R., Otto, J.: Gehäuftes Auftreten von Krebserkrankungen der Atemwege nach Teerexposition – eine retrospektive Betrachtung. *Zbl. Arbeitsmed.* 45 (1995) 274-278.
- Hansen, Å., Omland, Ø., Poulsen, O., Sherson, D., Sigsgaard, T., Christensen, J., Overgaard, E.: Correlation between work process-related exposure workers to polycyclic aromatic hydrocarbons and urinary levels of  $\alpha$ -naphthol,  $\beta$ -naphthylamine and 1-hydroxypyrene in iron foundry workers. *Int. Arch. Occup Environ Health* 65 (1994) 385-394.
- Hansen, A. M., Molin Christensen, J., Sherson, D.: Estimation of reference values for urinary 1-hydroxypyrene and  $\alpha$ -naphthol in Danish workers. *The Science of the Total Environment* 163 (1995) 211-219.
- Haritopoulou, T.: Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe und Schwermetalle in urbanen Entwässerungssystemen- Aufkommen, Transport und Verbleib. Institut f. Siedlungswasserwirtschaft UNI Karlsruhe (TH) Dissertation, 1996.
- Hase, A., Hites, R. A.: On the origin of PAHs in recent sediments: biosynthesis by anaerobic bacteria. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 40 (1976) 1141-1143.
- Heikkilä, P., Luotamo, M., Pyy, L., Riihimäki, V.: Urinary 1-naphthol and 1-pyrenol as indicators of exposure to coal tar products. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 67 (1995) 211-217.

- Heudorf, U.: Innenraumbelastung mit polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen durch PAK-haltige Parkettkleber. Sachstandsbericht zur Bewertung und zum Umgang mit dieser "neuen Altlast" im Innenraum. Gesundheitswesen 61 (1999) 567-572.
- Heudorf, U., Angerer, J.: Humanbiomonitoring auf PAK-Metaboliten im Urin von Kindern aus Wohnungen mit PAK-haltigen Parkettklebern. Umweltmed. Forsch. Prax. 5(4) (2000) 218-226.
- Heudorf, U., Angerer, J.: Internal exposure to PAHs of children and adults living in homes with parquet flooring containing high levels of PAHs in the parquet glue. Int. Arch. Occup. Environ. Health 74 (2001a) 91-101.
- Heudorf, U., Angerer, J.: Urinary monohydroxylated phenanthrenes and hydroxypyrene – the effects of smoking habits and changes induced by smoking on monooxygenase-mediated metabolism. Int. Arch. Occup. Environ. Health 74 (2001b) 177-183.
- Hirner, A., Müller, B., Bimmermann, A., Feldmann, J.: Chemische Charakterisierung von Dieselrußteilchen. Immissionsschutz 3 (1996) 88-96.
- Hong, Y.C., Leem, J.H., Park, H.S., Lee, K.H., Lee, S.J., Lee, C.-K., Kang, D.: Variations in urinary 1-hydroxypyrene glucuronide in relation to smoking and the modification effects of GSTM1 and GSTT1. Toxicology Letters 108 (1999) 217-223.
- Ihme, W., Wichmann, H.-E.: Expositionsabschätzung mittels Modellrechnungen/Orale Belastungen des Menschen durch PAK über Trinkwasser und andere Quellen. Z. Umweltchem. Ökotox. 8, 6 (1996) 343-345.
- Ilnitzki, A.: In: Wie ist das Vorkommen von Benzo-a-pyren in der Umwelt zu bewerten?. Z. ges. Hyg. 29 (1983) 508-509.
- Jacob, J., Grimmer, G.: Metabolism and excretion of polycyclic aromatic hydrocarbons in rat and in human. Centr. Eur. J. Publ. Hlth. 4 (1996) 33-39.
- Jacob, J., Grimmer, G., Dettbarn, G.: Profile of urinary phenanthrene metabolites in smokers and non-smokers. Biomarkers 4, 5 (1999) 319-327
- Jansen, E.H.J.M., Schenk, E., Laan, C.A., de Fluiter, P., den Engelsman, G., van de Werken, G. : Hydroxynaphthalenes as biomarkers of effect for inhalatory exposure of polycyclic aromatic hydrocarbons. In: Annual Scientific Report '95. Rijksinstitut voor Volksgezondheid en Milieu (Hrsg), 1995.
- Joneck, M., Prinz, R.: Organische und anorganische Schadstoffe in straßennahen Böden unterschiedlich stark befahrener Verkehrswege in Bayern. Wasser & Boden 48, 9 (1996) 49-54.
- Jongeneelen, F., Anzion, R.B.M., Leijdekkers, Ch.-M., Bos, R., Henderson, P.: 1-hydroxypyrene in human urine after exposure to coal tar and a coal tar derived product. Int. Arch. Occup. Environ. Health 57 (1985) 47-55.
- Jongeneelen, F. S., Bos, R.P., Anzion, R.B.M., Theuws, J.L.G., Henderson, P.T.: Biological monitoring of polycyclic aromatic hydrocarbons metabolites in urine. Scand. J. Work Environ. Health 12 (1986) 137-143.

- Jongeneelen, F., Scheepers, P., Groenendijk, A., van Aerts, L., Anzion, R.B.M., Bos, R., Veenstra, S.: Airborne concentrations, skin contamination, and urinary metabolite excretion of polycyclic aromatic hydrocarbons among paving workers exposed to coal tar derived road tars. *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.* 49, 12 (1988) 600-607.
- Jongeneelen, F., van Leeuwen, F., Oosterink, S., Anzion, R.B.M., van der Loop, F., Bos, R., van Veen, H.G.: Ambient and biological monitoring of cokeoven workers: determinants of the internal dose of polycyclic aromatic hydrocarbons. *British Journal of Industrial Medicine* 47 (1990) 454-461.
- Jongeneelen, F.: Biological exposure limit for occupational exposure to coal tar pitch volatiles at cokeovens. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 63 (1992) 511-516.
- Kang, D.H., Rothman, N., Poirier, M.C., Greenberg, A., Hsu, C.H., Schwartz, B.S., Baser, M.E., Groopman, J.D., Weston, A., Strickland, P.T.: Interindividual differences in the concentration of 1-hydroxypyrene-glucuronide in urine and polycyclic aromatic hydrocarbon-DNA adducts in peripheral white blood cells after charbroiled beef consumption. *Carcinogenesis Vol.* 16, 5 (1995a) 1079-1085.
- Kang, D.H., Rothman, N., Cho, S.-H., Lim, H.S., Kwon, H.J., Kim, S.-M., Schwartz, B.S., Strickland, P.T.: Association of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons (estimated from job category) with concentration of 1-hydroxypyrene glucuronide in urine from workers at a steel plant. *Occupational and Environmental Medicine* 52 (1995b) 593-599.
- Kanoh, T., Fukuda, M., Onozuka, H., Kinouchi, T., Ohniski, Y.: Urinary 1-hydroxypyrene as a marker of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in environment. *Environmental Research* 62 (1993) 230-241.
- Kawamura, K., Suzuki, I., Fujii, Y., Watanabe, O.: Ice core record of polycyclic aromatic hydrocarbons over the past 400 years. *Naturwissenschaften* 81 (1994) 502-505.
- Knecht, U., Woitowitz, H.-J.: Krebsgefährdung bei Verwendung von Pechbitumen im Straßenbau (PT-AT). *Forschungsberichte FB 612, Schriftenreihe der Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin*, 1990.
- Knecht, U., Stahl, S., Woitowitz, H.-J.: Handelsübliche Bitumensorten: PAH-Massegehalte und temperaturabhängiges Emissionsverhalten unter standardisierten Bedingungen. *Gefahrstoffe-Reinhaltung der Luft* 59, 11/12 (1999) 429-434.
- Krause, C., Seifert, B., Schulz, C.: Umwelt-Survey 1997/98. *Gesundheitswesen* 60, Sonderheft 2 (1998) 77-82.
- Lach, G., Steffen, D.: Sedimentbelastung niedersächsischer Fließgewässer mit PAK. *Wasser & Boden* 59, 12 (1997), 22-26.
- Lederer, P., Angerer, J.: Untersuchungen der PAK-Belastung von Kindern in Wohnungen mit steinkohlenteerhaltigem Kleber in Parkettböden. *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 33, 10 (1998) 452-455.
- Letzel, S., Weber, A., Schaller, K.-H., Angerer, J., Iro, H., Waitz, G., Knorr-Held, F., Weltle, D., Lehnert, G.: Investigations on health hazards of chimney sweeps in Germany. Results of a follow-up study. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 64 (1992) 43-48.
- Levin, J.O.: First international workshop on hydroxypyrene as a biomarker for PAH exposure in man – summary and conclusions. *The Science of the Total Environment* 163 (1995) 165-168.

- Levin, J.O., Rhen, M., Sikström, E.: Occupational PAH exposure: 1-hydroxypyrene levels of coke oven workers, aluminum smelter pot-room workers, road pavers, and occupationally non-exposed persons in Sweden. *The Science of the Total Environment* 163 (1995) 169-177.
- Lintelmann, J., Angerer, J.: PAH-metabolites in urine. In: Angerer, J., Schaller, K.H. (eds): *Analyses of hazardous substances in biological materials*, Vol. 6. Deutsche Forschungsgemeinschaft, VCH-Verlag, Weinheim, 1999, 163-187.
- Luther, M., Moriske, H.-J., Rüden, H.: Raumluftbelastung mit polzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAH) bei der Verwendung von Asphalt-Fußbodenplatten. *Forum Städte-Hygiene* 41 (1990) 95-103.
- Martin, F., Hoepfner, I., Scherer, G., Adlkofer, F., Dettbarn, G., Grimmer, G.: Urinary excretion of hydroxy-phenanthrenes after intake of polycyclic aromatic hydrocarbons. *Environment International* 15 (1989) 41-47.
- Mensink, G.B.M., Hermann-Kunz, E., Thamm, M.: Der Ernährungssurvey. *Gesundheitswesen* 60, Sonderheft 2 (1998) 83-86.
- Mingzhen Cui, Zhenyang Chen, Zhenhua Zhao: Benzo(a)pyrene in kitchen air and urinary 1-hydroxypyrene. *Indoor Environ* 4 (1995) 306-310.
- Moriske, H.-J., Scheller, C., Drews, M.: Untersuchungen zur Innenraumluftbelastung durch verschiedene Heizsysteme. 3. Mitteilung: Konzentrationen von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen und Metallen. *Gesundheits – Ingenieur – Haustechnik – Bauphysik – Umwelttechnik* 117, 2 (1996) 76-80.
- Moriske, H.-J.: Chemische Luftverunreinigungen. In: Moriske, H.J., Turowski, E. (Hrsg.): *Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. Mensch – Wetter – Klima – Innenraum- und Aussenlufthygiene. Grundlagen – Forschungsergebnisse – Trends* (Loseblattsammlung) Kap. III-3.1. Ecomed-Verlagsgesellschaft, Landsberg, 1998.
- Münkner, W., Meyer, C.: Der Einsatz von Flüssigrauch: eine neue Technologie, Teil 2: Untersuchungen zur Herstellung geräucherter Fischerzeugnisse mit Flüssigrauch. *Informationen f. die Fischwirtschaft* 40, 4 (1993) 169-180.
- Nielsen, T., Jorgensen, J., Larsen, J.C., Poulsen, M.: City air pollution of polycyclic hydrocarbons and other mutagens, occurrence, sources and health effects. *The Science of the Total Environment* 189/190 (1996) 41-49.
- Nielsen, T., Feilberg, A., Binderup, M.-L.: The variation of street air levels of pah and other mutagenic pac in relation to regulations of traffic emissions and the impact of atmospheric processes. *ESPR -Environ. Sc.& Pollut. Res.* 6, 3 (1999) 133-137.
- Notar, M., Leskovsek, H.: PAHs in mussels from the northern Adriatic sea. *Fresenius Envir. Bull* 9 (2000) 427-434.
- Ny, E. T., Heederik, D., Kromhaut, H., Jongeneelen, F.: The relationship between polycyclic aromatic hydrocarbons in air and in urine of workers in a Söderberg potroom. *American Industrial Hygiene Association J.* 54, 6 (1993) 277-284.
- Omland, Ø., Sherson, D., Hansen, Å., Sigsgaard, T., Autrup, H., Overgaard, E.: Exposure of iron foundry workers to polycyclic aromatic hydrocarbons: benzo(a)pyrene-albumin adducts and 1-hydroxypyrene as biomarkers for exposure. *Occupational and Environmental Medicine* 51 (1994) 513-518.

- Ott, W.R.: A physical explanation of the lognormality of pollutant concentrations. *J. Air Waste Management Assoc.* 40 (1990) 1378-1383.
- Øvebro, S., Haugen, A., Farmer, P., Anderson, D.: Evaluation of biomarkers in plasma, blood, and urine samples from coke oven workers: significance of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Occupational and Environmental Medicine* 52 (1995) 750-756.
- Pott, F., Heinrich, U.: Staub und Staubinhaltsstoffe/Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH). In: Wichmann, H.-E., Schlipkötter, H.-W., Fülgraff, G.: *Handbuch der Umweltmedizin*, Ecomed Verlag, Landsberg, 1992.
- Roggi, C., Minoia, C., Sciarra, G.F., Apostoli, P., Macarini, L., Magnaghi, S., Cenni, A., Nidasio, G.F., Micoli, G.: Urinary 1-hydroxypyrene as a marker of exposure to pyrene: an epidemiological survey on a general population group. *The Science of the Total Environment* 199 (1997) 247-254.
- Rose, E., Martens, D., Lintelmann, J., Kicinski, H. G., Günther, W. J., Kettrup, A.: Behaviour of PAH and triazine herbicides in water and aquifer material of drinking water recharge plant. IV. PAHs in the solid phase. *Fresenius J. Anal. Chem.* 347 (1993a) 44-51.
- Rose, E., Lintelmann, J., Günther, W. J., Kettrup, A.: Behaviour of PAHs and triazine herbicides in water and aquifer material of a drinking water recharge plant. *Fresenius J. Anal. Chem.* 346 (1993b) 995-999.
- Scheepers, P.T.J., Fijneman, P.H.S., Beenakkers, M.F.M., de Lepper, A.J.G.M., Thuis, H.J.T.M., Stevens, D., Van Rooij, J.G.M., Noordhoek, J., Bos, R.P.: Immunochemical detection of metabolites of parent and nitro polycyclic aromatic hydrocarbons in urine samples from persons occupationally exposed to diesel exhaust. *Fresenius J. Anal. Chem.* 351 (1995) 600-669.
- Scherer, G., Adlkofer, F.: Tabakrauch in der Raumluft – Erfassung der Schadstoffbelastung durch Passivrauchen zur Bewertung des gesundheitlichen Risikos. *Gefahrstoffe- Reinhaltung der Luft* 59, 11/12 (1999) 435-443.
- Schlemitz, S., Pfannhauser, W.: Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAKs) und deren Nitro-Derivate (Nitro-PAKs) in ausgewählten Lebensmitteln. *Forschungsberichte 1/98* des Bundeskanzleramtes Sektion VI der Republik Österreich. Bundesministerium für Gesundheit und Konsumentenschutz ZI. 353.064/1 – III/9/96, 1996.
- Sherson, D., Sigsgaard, T., Overgaard, E., Loft, S., Poulsen, H.E., Jongeneelen, F.J.: Interaction of smoking, uptake of polycyclic hydrocarbons and cytochrome P4501A2 activity among foundry workers. *British Journal of Industrial Medicine* 49 (1992) 197-202.
- Schulz, C., Seiwert, M., Becker, K., Heidrich, F., Schlüter, C., Seifert, B.: Umwelt-Survey 1998. Band I: Studienbeschreibung. Umweltbundesamt, WaBoLu-Heft 2003, in Bearbeitung.
- Sithisarankul, P., Vineis, P., Kand, D., Rothman, N., Caporaso, N., Strickland, P.: Association of 1-hydroxypyrene-glucuronide in human urine with cigarette smoking and broiled or roasted meat consumption. *Biomarkers* 2 (1997) 217-221.
- Siwinska, E., Mielzynska, D., Smolik, E., Bubak, A., Kwapulinski, J.: Evaluation of intra- and interindividual variation of urinary 1-hydroxypyrene, a biomarker of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *The Science of the Total Environment* 217 (1998) 175-183.

- Strickland, P., Kang, D., Sithisarankul, P.: Polycyclic aromatic hydrocarbons metabolites in urine as biomarkers of exposure and effect. *Environ. Health Perspect.* 104, Supplement 5 (1996) 927-932.
- Thierfelder, W., Seher, C., Thefeld, W.: Der Bundes-Gesundheitssurvey 1997/98 – Untersuchungsteil. *Gesundheitswesen* 60, Sonderheft 2 (1998) 69-76.
- Vainiotalo, S., Matveinen, K.: Cooking fumes as a hygienic problem in the food and catering industries. *American Industrial Hygiene Association J.* 54, 7 (1993) 376-382.
- Van Rooij, J., Bodelier-Bade, M., Jongeneelen, F.: Estimation of individual dermal and respiratory uptake of polycyclic aromatic hydrocarbons in 12 coke oven workers. *British Journal of Industrial Medicine* 50 (1993a) 623-632.
- Van Rooij, J., De Roos, J., Bodelier-Bade, M., Jongeneelen, F.: Absorption of polycyclic aromatic hydrocarbons through human skin: differences between anatomical sites and individuals. *Journal of Toxicology and Environmental Health*, 38 (1993b) 355-368.
- Van Rooij, J.G.M., Veeger, M.M.S., Bodelier-Bade, M.M., Scheepers, P.T.J., Jongeneelen, F.J.: Smoking and dietary intake of polycyclic aromatic hydrocarbons as sources of interindividual variability in the baseline excretion of 1-hydroxypyrene in urine. *Int. Arch. Occup. Environ. Health* 66 (1994) 55-65.
- Viau, C., Vyskocil, A.: Patterns of 1-hydroxypyrene excretion in volunteers exposed to pyrene by the dermal route. *The Science of the Total Environment* 163 (1995a) 187-190.
- Viau, C., Carrier, G., Vyskocil, A., Dodd, C.: Urinary excretion kinetics of 1-hydroxypyrene in volunteers exposed to pyrene by the oral and dermal route. *The Science of the Total Environment* 163 (1995b) 179-186.
- Viau, C., Vyskocil, A., Martel, L.: Background urinary 1-hydroxypyrene levels in non-occupationally exposed individuals in the Province of Québec, Canada, and comparison with its excretion in workers exposed to PAH mixtures. *The Science of the Total Environment* 163 (1995c) 191-194.
- Weihrauch, M., Schulze, B., Schaller, K.-H., Lehnert, G.: Biologische Arbeitsstoff-Toleranzwerte (Biomonitoring). *Arbeitsmed. Sozialmed. Umweltmed.* 32, 9 (1997) 351-355.
- Wichmann, H.E., Ihme, W.: Expositionsabschätzung für die Aufnahme polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) über das Trinkwasser. *Forum Städte-Hygiene* 46 (1995) 265-268.
- Zhao, Z.-H., Quan, W., Tian, D.: Urinary 1-hydroxypyrene level as an indicator of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *Acta Sci Circumstantiae* 4 (1988) 46-53.
- Zhao, Z.-H., Quan, W., Tian, D.: Urinary 1-hydroxypyrene level as an indicator of human exposure to ambient polycyclic aromatic hydrocarbons in a coal-burning environment. *The Science of the Total Environment* 92 (1990) 145-154.
- Zhao, Z.-H., Quan, W., Tian, D.: Experiments on the effects of several factors on the 1-hydroxypyrene level in human urine as an indicator of exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons. *The Science of the Total Environment* 113 (1992) 197-207.
- Zhao, Z.-H., Quan, W., Tian, D.: Urinary 1-hydroxypyrene level as a biomarker: human exposure to ambient polycyclic aromatic hydrocarbons in China. *Ambio* 24, 4 (1995) 226-230.

## 9 Verzeichnisse

### 9.1 Verzeichnis der Abkürzungen und Symbole

Abb	Abbildung
AM	arithmetisches Mittelwert
b	Regressionskoeffizient für Rohdaten
$\beta$	Standardpartialregressionskoeffizient
BMI	Body Mass Index
GM	geometrisches Mittel
KI	Konfidenzintervall
ln	natürlicher Logarithmus
Max	Maximum
Min	Minimum
N	Stichprobenumfang
n.s.	nicht signifikant
OH-Phenanthren	Hydroxyphenanthren
OH-Pyren	Hydroxypyren
Ost	neue Bundesländer
p	Irrtumswahrscheinlichkeit
P	Perzentil
PAK	polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PK	Semipartialkorrelation
PartK	Partialkorrelation
r	bivariate Korrelation
R	multiple Korrelation
RKI	Robert-Koch-Institut
SE	Standardfehler
Tab	Tabelle
UBA	Umweltbundesamt
vgl.	vergleiche
WaBoLu	Institut für Wasser-, Boden und Lufthygiene
West	alte Bundesländer
x	Prädiktor
y	Kriterium

## 9.2 Tabellenverzeichnis

Tab. 2.1 :	Interne Qualitätskontrolle 1998-2000 – PAK-Metaboliten im Urin .....	14
Tab. 2.2 :	Externe Qualitätskontrolle 1999-2000 – PAK-Metaboliten im Urin, Ergebnisse des 23., 25. und 26. Ringversuchs .....	14
Tab. 6.1 :	Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin .....	45
Tab. 6.2 :	Die Parameter der Modellgleichungen für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin .....	45
Tab. 6.3 :	Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	54
Tab. 6.4 :	Die Parameter der Modellgleichungen für die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	55
Tab. 6.5 :	Schwache Effekte und ihre Wirkung auf die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	63
Tab. 10.1 :	Kennwerte der Variablen der Regressionsmodelle für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin .....	89
Tab. 10.2 :	Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin .....	90
Tab. 10.3 :	Kennwerte der Variablen der Regressionsmodelle für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin (Nichtraucher) .....	90
Tab. 10.4 :	Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin (Nichtraucher) .....	91
Tab. 10.5 :	Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin .....	92
Tab. 10.6 :	Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin .....	92
Tab. 10.7 :	Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 386) .....	93
Tab. 10.8 :	Die Parameter der Modellgleichungen für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	93
Tab. 10.9 :	Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	94
Tab. 10.10 :	Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	94
Tab. 10.11 :	Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (N=560) .....	95
Tab. 10.12 :	Die Parameter der Modellgleichungen für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	95
Tab. 10.13 :	Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (N = 560) .....	96
Tab. 10.14 :	Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	96

Tab. 10.15 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 382).....	97
Tab. 10.16 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	97
Tab. 10.17 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher).....	98
Tab. 10.18 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	98
Tab. 10.19 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (N = 554) .....	99
Tab. 10.20 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	99
Tab. 10.21 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin.....	100
Tab. 10.22 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	100
Tab. 10.23 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 382).....	101
Tab. 10.24 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	101
Tab. 10.25 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	102
Tab. 10.26 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 382).....	102
Tab. 10.27 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	103
Tab. 10.28 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	103
Tab. 10.29 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	104
Tab. 10.30 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin .....	104
Tab. 10.31 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 382).....	105
Tab. 10.32 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	105
Tab. 10.33 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher).....	106
Tab. 10.34 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	106
Tab. 10.35 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die $\Sigma(1-,2/9-,3-) \text{Hydroxyphenanthren-Gehalte}$ im Morgenurin (N = 553).....	107

Tab. 10.36 : Die Parameter der Modellgleichungen für die $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-$ -Gehalte im Morgenurin.....	107
Tab. 10.37 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-$ -Gehalte im Morgenurin.....	108
Tab. 10.38 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-$ -Gehalte im Morgenurin.....	108
Tab. 10.39 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-$ -Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N=382) .....	109
Tab. 10.40 : Die Parameter der Modellgleichungen für die $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-$ -Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	109
Tab. 10.41 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-$ -Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	110
Tab. 10.42 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-$ -Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher) .....	110

**9.3 Abbildungsverzeichnis**

Abb. 3.1 :	Strukturformel von Phenanthren und Pyren.....	15
Abb. 3.2 :	Strukturformel des 1-Hydroxypyrens .....	19
Abb. 3.3 :	Mechanismus der Metabolisierung am Beispiel des Phenanthrens (Jacob et al. 1996) .....	20
Abb. 5.1 :	Verteilung der 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin für die den Regressionsmodellen zugrunde liegenden Stichproben.....	33
Abb. 5.2 :	Verteilungen der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin für die den Regressionsmodellen zugrunde liegenden Stichproben.....	34
Abb. 6.1 :	Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin, Vergleich der Varianzkomponenten .....	44
Abb. 6.2 :	Effekte der Anzahl täglich gerauchter Zigaretten auf den 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin (mittlere relative Zunahme des 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall) .....	48
Abb. 6.3 :	Effekte von Wohnort und Heizungsart auf den 1-Hydroxypyren-Gehalt im Morgenurin (mittlere relative Zunahme des 1-Hydroxypyren-Gehaltes im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall) .....	50
Abb. 6.4 :	Regressionsmodell für den volumenbezogenen $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-$ -Gehalt im Morgenurin, Vergleich der Varianzkomponenten.....	52
Abb. 6.5 :	Regressionsmodelle für die volumenbezogenen Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin, Vergleich der Varianzkomponenten .....	53
Abb. 6.6 :	Effekte der Anzahl täglich gerauchter Zigaretten auf die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (mittlere relative Zunahme der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall) .....	58
Abb. 6.7 :	Effekte von Wohnort und Heizungsart auf die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (mittlere relative Zunahme der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall) .....	60
Abb. 6.8 :	Effekte der täglich aufgenommenen Alkoholmenge auf die Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (mittlere relative Zunahme der Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin mit 95 %-Konfidenzintervall).....	62



## 10 Anhang

### 10.1 Zusätzliche statistische Kennwerte für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin

**Tab. 10.1 : Kennwerte der Variablen der Regressionsmodelle für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin**

	N	Min	10.P.	Median	90.P.	Max.	AM	s
1-Hydroxypyren im Morgenurin *	560	< 0,012	0,04	0,15	0,51	4,38	0,24	0,32
1-Hydroxypyren im Morgenurin / Creatinin *	560	0,01	0,04	0,11	0,34	1,99	0,16	0,18
1-Hydroxyphenanthren im Morgenurin *	560	< 0,016	0,15	0,40	1,02	9,30	0,55	0,58
1-Hydroxyphenanthren im Morgenurin / Creatinin *	560	0,01	0,13	0,31	0,74	2,27	0,39	0,28
2/9-Hydroxyphenanthren im Morgenurin *	554	< 0,004	0,09	0,25	0,63	3,54	0,33	0,32
2/9-Hydroxyphenanthren im Morgenurin / Creatinin *	554	0,005	0,08	0,20	0,44	2,03	0,24	0,18
3-Hydroxyphenanthren im Morgenurin *	553	< 0,005	0,09	0,32	0,89	4,62	0,43	0,41
3-Hydroxyphenanthren im Morgenurin / Creatinin *	553	0,01	0,10	0,24	0,58	2,08	0,30	0,24
$\Sigma(1-2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ im Morgenurin *	553	0,01	0,35	0,99	2,44	15,89	1,31	1,22
$\Sigma(1-2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ im Morgenurin / Creatinin *	553	0,03	0,35	0,77	1,76	4,50	0,93	0,64
Creatiningehalt im Morgenurin **	560	0,20	0,57	1,37	2,49	4,38	1,48	0,77
Anzahl Zigaretten pro Tag ***	560	0	0	0	20	50	4,9	9,4
Heizungsart	560							
zentral	506							
dezentral	54							
Wohnort alte oder neue Bundesländer	560							
alte Bundesländer	450							
neue Bundesländer	110							
Täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	554	0	0	3,7	26,7	100	9,7	15,2

Anmerkungen: \* Die Regressionsanalysen wurden mit logarithmierten Gehalten im Morgenurin ( $\mu\text{g/l}$  bzw.  $\mu\text{g/g}$ ) durchgeführt;

\*\* Die Regressionsanalysen wurden mit logarithmierten Gehalten im Morgenurin ( $\text{g/l}$ ) durchgeführt;

\*\*\* Die Regressionsanalysen wurden mit „Logarithmus( $1+\text{Zigarettenzahl pro Tag}$ )“ durchgeführt;

Messwerte unter der Bestimmungsgrenze wurden mit der jeweiligen halben Bestimmungsgrenze berücksichtigt;

N: Stichprobenumfang;

10.P., 90.P: Perzentile;

AM: Arithmetisches Mittel;

s: Standardabweichung.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.2 : Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin**

Prädiktor *	y <sub>1</sub>	y <sub>1c</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>2c</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>3c</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>4c</sub>	y <sub>5</sub>	y <sub>5c</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>
Creatinin im Urin	0,60		0,57		0,57		0,62		0,62					
Zigarettenzahl	0,41	0,50	0,24	0,28	0,15	0,17	0,32	0,40	0,26	0,32	0,01			
Heizungsart	0,16	0,18	0,13	0,14	0,10	0,11	0,16	0,19	0,13	0,16	0,01	0,02		
Alte/neue Länder	0,10	0,15	0,09	0,14	0,13	0,18	0,11	0,17	0,11	0,18	-0,04	-0,02	0,07	
Alkoholmenge	0,06	0,02	0,14	0,12	0,18	0,15	0,20	0,20	0,18	0,16	0,07	0,10	0,07	0,01

Anmerkungen: y<sub>1</sub>: ln(1-Hydroxypyren); y<sub>1c</sub>: ln(1-Hydroxypyren/Creatinin);  
y<sub>2</sub>: ln(1-Hydroxyphenanthren); y<sub>2c</sub>: ln(1-Hydroxyphenanthren/Creatinin);  
y<sub>3</sub>: ln(2/9-Hydroxyphenanthren); y<sub>3c</sub>: ln(2/9-Hydroxyphenanthren/Creatinin);  
y<sub>4</sub>: ln(3-Hydroxyphenanthren); y<sub>4c</sub>: ln(3-Hydroxyphenanthren/Creatinin);  
y<sub>5</sub>: ln( $\Sigma$ (1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren); y<sub>5c</sub>: ln( $\Sigma$ (1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren/Creatinin);  
x<sub>1</sub>: ln(Creatinin im Urin); x<sub>2</sub>: ln(1+Zigarettenzahl); x<sub>3</sub>: dezentrale/zentrale Heizung; x<sub>4</sub>: Alte/neue Länder;

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.3 : Kennwerte der Variablen der Regressionsmodelle für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin (Nichtraucher)**

	N	Min	10.P.	Median	90.P.	Max.	AM	s
1-Hydroxypyren im Morgenurin *	386	< 0,012	0,03	0,10	0,38	1,68	0,17	0,19
1-Hydroxypyren im Morgenurin / Creatinin *	386	0,01	0,03	0,09	0,20	0,90	0,11	0,11
1-Hydroxyphenanthren im Morgenurin *	382	< 0,016	0,13	0,34	0,95	9,30	0,49	0,60
1-Hydroxyphenanthren im Morgenurin / Creatinin *	382	0,01	0,12	0,28	0,65	2,27	0,35	0,28
2/9-Hydroxyphenanthren im Morgenurin *	382	< 0,004	0,08	0,23	0,58	3,54	0,31	0,34
2/9-Hydroxyphenanthren im Morgenurin / Creatinin *	382	0,005	0,08	0,18	0,42	2,03	0,23	0,18
3-Hydroxyphenanthren im Morgenurin *	382	< 0,005	0,08	0,27	0,74	4,62	0,36	0,39
3-Hydroxyphenanthren im Morgenurin / Creatinin *	382	0,01	0,09	0,19	0,52	2,08	0,25	0,21
$\Sigma$ (1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren im Morgenurin *	382	0,01	0,30	0,85	2,23	15,89	1,17	1,24
$\Sigma$ (1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren im Morgenurin/ Creatinin *	382	0,03	0,32	0,67	1,63	4,50	0,83	0,62
Creatiningehalt im Morgenurin **	386	0,20	0,57	1,36	2,38	4,38	1,44	0,75
Heizungsart	386							
zentral		349						
dezentral		37						
Wohnort alte oder neue Bundesländer	386							
alte Bundesländer		311						
neue Bundesländer		75						
Täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	382	0	0	3,4	25,7	100	8,8	14,4
Body Mass Index (kg/m <sup>2</sup> )	382	18,6	21,5	26,2	32,3	51,2	26,8	4,8

Anmerkungen: \* Die Regressionsanalysen wurden mit logarithmierten Gehalten im Morgenurin ( $\mu\text{g/l}$  bzw.  $\mu\text{g/g}$ ) durchgeführt;

\*\* Die Regressionsanalysen wurden mit logarithmierten Gehalten im Morgenurin ( $\text{g/l}$ ) durchgeführt;

\*\*\* Die Regressionsanalysen wurden mit „Logarithmus(1+Zigarettenzahl pro Tag)“ durchgeführt;

Messwerte unter der Bestimmungsgrenze wurden mit der jeweiligen halben Bestimmungsgrenze berücksichtigt;

N: Stichprobenumfang;

10.P., 90.P.: Perzentile;

AM: Arithmetisches Mittel;

s: Standardabweichung.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.4 : Interkorrelationsmatrix der Variablen der Regressionsmodelle für die gemessenen Metaboliten der PAK im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor *	y <sub>1</sub>	y <sub>1c</sub>	y <sub>2</sub>	y <sub>2c</sub>	y <sub>3</sub>	y <sub>3c</sub>	y <sub>4</sub>	y <sub>4c</sub>	y <sub>5</sub>	y <sub>5c</sub>	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	x <sub>3</sub>	x <sub>4</sub>
Creatinin im Urin	0,65		0,55		0,54		0,64		0,62					
Heizungsart	0,18	0,23	0,16	0,17	0,14	0,15	0,20	0,25	0,17	0,20	0,02			
Alte/neue Länder	0,14	0,21	0,13	0,18	0,13	0,19	0,12	0,19	0,13	0,20	-0,04	0,06		
Alkoholmenge	0,02	-0,03	0,16	0,13	0,19	0,16	0,19	0,18	0,18	0,16	0,08	0,11	-0,08	
Body Mass Index	-0,04	0,05	0,01	0,12	0,09	0,22	-0,03	0,08	0,02	0,15	-0,14	-0,04	0,01	0,14

Anmerkungen: y<sub>1</sub>: ln(1-Hydroxypyren); y<sub>1c</sub>: ln(1-Hydroxypyren/Creatinin);  
y<sub>2</sub>: ln(1-Hydroxyphenanthren); y<sub>2c</sub>: ln(1-Hydroxyphenanthren/Creatinin);  
y<sub>3</sub>: ln(2/9-Hydroxyphenanthren); y<sub>3c</sub>: ln(2/9-Hydroxyphenanthren/Creatinin);  
y<sub>4</sub>: ln(3-Hydroxyphenanthren); y<sub>4c</sub>: ln(3-Hydroxyphenanthren/Creatinin);  
y<sub>5</sub>: ln( $\Sigma$ (1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren); y<sub>5c</sub>: ln( $\Sigma$ (1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren/Creatinin);  
x<sub>1</sub>: ln(Creatinin im Urin); x<sub>2</sub>: ln(1+Zigarettenzahl); x<sub>3</sub>: dezentrale/zentrale Heizung; x<sub>4</sub>: Alte/neue Länder;

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

## 10.2 Regressionsanalysen für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin – zusätzliche statistische Kennwerte

**Tab. 10.5 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	1,120	0,053	1,016; 1,224	0,597	0,668
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,345	0,024	0,298; 0,392	0,405	0,520
x <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,478	0,104	0,274; 0,682	0,130	0,192
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,340	0,077	0,188; 0,491	0,124	0,184
Konstante	-2,629	0,042	-2,712; -2,546		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,345	0,024	0,298; 0,393	0,504	0,518
x <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,482	0,104	0,277; 0,686	0,163	0,192
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,333	0,077	0,181; 0,485	0,152	0,180
Konstante	-2,600	0,040	-2,679; -2,521		

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

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.6 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 280)	Teilstichprobe B (N = 280)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 54,9 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 56,6 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 54,3 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 56,2 \%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatinin-bezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 32,0 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 29,6 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 31,9 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 29,4 \%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.7 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 386)**

Prädiktor	Volumenbezogen				Creatininbezogen			
	Aufgeklärte Varianz: 47,6 %				Aufgeklärte Varianz: 9,0 %			
	Adjustierte Varianz: 47,2 %				Adjustierte Varianz: 8,8 %			
Prädiktor	β	p	r	β·r·100 %	β	p	r	β·r·100 %
Creatininegehalt im Urin	0,654	<0,001	0,650	0,425	-	-	-	-
Dezentrale Heizung	0,162	<0,001	0,184	0,030	0,214	<0,001	0,227	0,049
Neue Bundesländer	0,156	<0,001	0,136	0,021	0,198	<0,001	0,211	0,042

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;  
 β: standard. Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);  
 p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese: β=0);  
 r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;  
 β·r·100 %: dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums  
 (Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Erläuterungen zu den Prädiktoren und angewandte Transformationen/Codierungen:

Creatininegehalt im Urin: Transformation:  $\ln(\text{Creatininegehalt (g/l)}) \rightarrow x_1$

Dezentrale Heizung: Art der Heizung in der Wohnung des Probanden, Codierung: 1=dezentral, 0=zentral  $\rightarrow x_2$

Neue Bundesländer: Neue/alte Bundesländer, Codierung: 1=newe Bundesländer, 0=alte Bundesländer  $\rightarrow x_3$

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.8 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	3,190	219,0 (180,3 – 263,1)	-	-
x <sub>2</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,747	74,7 (35,9 – 124,7)	1,759	75,9 (36,3 – 126,6)
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,491	49,1 (23,6 – 79,8)	1,475	47,5 (22,2 – 78,0)
Konstante	0,071		0,073	

Anmerkungen: exp(b<sub>i</sub>): Parameter des multiplikativen Modells (b<sub>i</sub>: Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);  
 95 % CI: Relative Veränderung des volumenbezogenen 1-Hydroxypyren-Gehalts im Morgenurin in %  
 bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.9 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
$x_1$ Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	1,160	0,066	1,031; 1,289	0,653	0,670
$x_2$ Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,558	0,128	0,307; 0,810	0,162	0,218
$x_3$ Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,399	0,095	0,212; 0,587	0,155	0,210
Konstante	-2,650	0,046	-2,741; -2,560		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
$x_2$ Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,565	0,129	0,312; 0,818	0,214	0,219
$x_3$ Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,388	0,096	0,200; 0,577	0,198	0,203
Konstante	-2,613	0,044	-2,699; -2,527		

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

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.10 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxypyren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 193)	Teilstichprobe B (N = 193)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 43,0 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 52,7 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 43,0 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 52,7 \%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatininbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 7,1 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 11,4 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 7,1 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 11,4 \%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

### 10.3 Regressionsanalysen für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin – zusätzliche statistische Kennwerte

**Tab. 10.11 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (N=560)**

	Volumenbezogen			Creatininbezogen		
	Aufgeklärte Varianz: 40,5 %	Adjustierte Varianz: 40,1 %		Aufgeklärte Varianz: 11,6 %	Adjustierte Varianz: 11,2 %	
Prädiktor	$\beta$	r	$\beta \cdot r \cdot 100\%$	$\beta$	r	$\beta \cdot r \cdot 100\%$
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	0,571	0,570	32,5	-	-	-
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,243	0,239	5,6	0,280	0,280	7,9
x <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,108	0,128	1,4	0,139	0,142	2,0
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,111	0,093	1,0	0,128	0,142	1,8

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;

$\beta$ : standard. Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);

p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese:  $\beta=0$ );

r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;

$\beta \cdot r \cdot 100\%$ : dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums

(Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Erläuterungen zu den Prädiktoren und angewandte Transformationen/Codierungen:

Creatiningehalt im Urin: Transformation:  $\ln(\text{Creatiningehalt (g/l)}) \rightarrow x_1$

Zigarettenzahl pro Tag: Transformation:  $\ln(1+\text{Anzahl der pro Tag gerauchten Zigaretten}) \rightarrow x_2$

Dezentrale Heizung: Art der Heizung in der Wohnung des Probanden, Codierung: 1=dezentral, 0=zentral  $\rightarrow x_3$

Neue Bundesländer: Neue/alte Bundesländer, Codierung: 1=newe Bundesländer, 0=alte Bundesländer  $\rightarrow x_4$

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.12 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	2,285	128,5 (108,2 – 150,8)	-	-
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	1,167	16,7 (11,8 – 21,7)	1,166	16,6 (11,7 – 21,7)
x <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,357	35,7 (13,1 – 63,0)	1,350	35,0 (12,2 – 62,4)
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,263	26,3 (10,3 – 44,7)	1,275	27,5 (11,2 – 46,3)
Konstante	0,266		0,255	

Anmerkungen: exp(b<sub>i</sub>): Parameter des multiplikativen Modells ( $b_i$ : Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);

95 % CI: Relative Veränderung des volumenbezogenen 1-Hydroxyphenanthren-Gehalts im Morgenurin in % bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.13 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (N = 560)**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	0,826	0,047	0,733; 0,920	0,570	0,594
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,154	0,022	0,112; 0,196	0,234	0,290
x <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,306	0,093	0,123; 0,488	0,108	0,138
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,234	0,069	0,098; 0,370	0,111	0,142
Konstante	-1,324	0,038	-1,399; -1,250		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,153	0,022	0,111; 0,196	0,280	0,286
x <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,300	0,094	0,115; 0,485	0,127	0,134
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,243	0,070	0,106; 0,380	0,139	0,146
Konstante	-1,367	0,036	-1,438; -1,295		

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

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.14 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 280)	Teilstichprobe B (N = 280)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 42,4 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 39,2 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 42,4 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 39,2 \%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatininbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 14,1 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 9,7 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 13,9 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 9,5 \%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.15 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 382)**

Prädiktor	Volumenbezogen				Creatininbezogen			
	Aufgeklärte Varianz: 35,5 %				Aufgeklärte Varianz: 7,3 %			
	Adjustierte Varianz: 34,8 %				Adjustierte Varianz: 6,6 %			
Prädiktor	β	p	r	β·r·100 %	β	p	r	β·r·100 %
Creatininegehalt im Urin	0,543	<0,001	0,548	29,8	-	-	-	-
Dezentrale Heizung	0,122	0,004	0,155	1,9	0,142	0,005	0,168	2,4
Neue Bundesländer	0,151	<0,001	0,127	1,9	0,184	<0,001	0,183	3,4
Tägliche Alkoholmenge	0,116	0,006	0,163	1,9	0,124	0,014	0,126	1,6

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;  
 β: standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);  
 p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese: β=0);  
 r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;  
 β·r·100 %: dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums  
 (Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.16 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	2,211	121,1 (96,2 – 149,2)	-	-
x <sub>2</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,411	41,1 (11,9 – 78,0)	1,405	40,5 (11,0 – 77,7)
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,375	37,5 (15,6 – 63,4)	1,390	39,0 (16,6 – 65,6)
x <sub>4</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	1,007	0,7 (0,2 – 1,2)	1,006	0,6 (0,1 – 1,1)
Konstante	0,248		0,238	

Anmerkungen: exp(b<sub>i</sub>): Parameter des multiplikativen Modells (b<sub>i</sub>: Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);  
 95 % CI: Relative Veränderung des volumenbezogenen 1-Hydroxyphenanthren-Gehalts im Morgenurin in % bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.17 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	0,794	0,061	0,674; 0,913	0,541	0,558
x <sub>2</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,345	0,118	0,113; 0,577	0,115	0,141
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,318	0,088	0,145; 0,491	0,121	0,149
x <sub>4</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,007	0,002	0,002; 0,012	0,150	0,183
Konstante	-1,393	0,047	-1,485; -1,301		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
x <sub>2</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,340	0,120	0,105; 0,575	0,141	0,145
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,329	0,089	0,154; 0,504	0,183	0,186
x <sub>4</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,006	0,002	0,001; 0,011	0,123	0,126
Konstante	-1,435	0,046	-1,525; -1,345		

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

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.18 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 1-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 191)	Teilstichprobe B (N = 191)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p = 0,07$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 31,8 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 41,9 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 31,6 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 41,7 \%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatininbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p = 0,10$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 6,8 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p = 0,08$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 8,8 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 6,7 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 8,7 \%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

## 10.4 Regressionsanalysen für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin – zusätzliche statistische Kennwerte

**Tab. 10.19 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (N = 554)**

Prädiktor	Volumenbezogen				Creatininbezogen			
	Aufgeklärte Varianz: 38,5 %				Aufgeklärte Varianz: 8,3 %			
	Adjustierte Varianz: 38,1 %				Adjustierte Varianz: 7,8 %			
Prädiktor	β	p	r	β·r·100 %	β	p	r	β·r·100 %
Creatiningehalt im Urin	0,569	<0,001	0,572	32,5	-	-	-	-
Zigarettenzahl pro Tag	0,133	<0,001	0,143	1,9	0,161	<0,001	0,172	2,8
Neue Bundesländer	0,149	<0,001	0,128	1,9	0,185	<0,001	0,184	3,4
Tägliche Alkoholmenge	0,123	<0,001	0,178	2,2	0,136	0,001	0,154	2,1

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;

β: standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);

p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese: β=0);

r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;

β·r·100 %: dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums

(Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.20 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	2,234	123,4 (103,5 – 145,2)	-	-
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	1,090	9,0 (4,4 – 13,7)	1,090	9,0 (4,4 – 13,8)
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,357	35,7 (18,6 – 55,2)	1,371	37,1 (19,6 – 57,1)
x <sub>4</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	1,007	0,7 (0,3 – 1,0)	1,006	0,6 (0,2 – 1,0)
Konstante	0,166		0,159	

Anmerkungen: exp(b<sub>i</sub>): Parameter des multiplikativen Modells (b<sub>i</sub>: Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);

95 % CI: Relative Veränderung des volumenbezogenen 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalts im Morgenurin in % bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.21 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	0,804	0,047	0,711; 0,897	0,567	0,586
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,086	0,022	0,043; 0,128	0,133	0,167
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,305	0,069	0,170; 0,440	0,149	0,187
x <sub>4</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,007	0,002	0,003; 0,010	0,122	0,154
Konstante	-1,795	0,040	-1,873; -1,717		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,086	0,022	0,043; 0,130	0,160	0,165
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,315	0,070	0,179; 0,452	0,185	0,190
x <sub>4</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,006	0,006	0,002; 0,010	0,135	0,140
Konstante	-1,839	0,039	-1,915; -1,762		

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

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.22 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 277)	Teilstichprobe B (N = 277)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 45,2 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 30,8 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 44,3 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 30,1 \%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatininbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 10,4 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 6,5 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 9,5 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 6,0 \%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.23 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 382)**

Prädiktor	Volumenbezogen				Creatininbezogen			
	Aufgeklärte Varianz: 42,2 %				Aufgeklärte Varianz: 12,6 %			
	Adjustierte Varianz: 41,5 %				Adjustierte Varianz: 11,6 %			
Prädiktor	β	p	r	β·r·100 %	β	p	r	β·r·100 %
Creatiningehalt im Urin	0,601	<0,001	0,584	35,1	-	-	-	-
Tägliche Alkoholmenge	0,116	0,004	0,189	2,2	0,134	0,007	0,163	2,2
Neue Bundesländer	0,155	<0,001	0,130	2,0	0,193	<0,001	0,193	3,7
Dezentrale Heizung	0,109	0,007	0,137	1,5	0,133	0,007	0,152	2,0
Body Mass Index	0,159	<0,001	0,089	1,4	0,208	<0,001	0,223	4,6

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;

β: standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);

p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese: β=0);

r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;

β·r·100 %: dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums

(Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.24 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	2,441	144,1 (117,3 – 174,2)	-	-
x <sub>2</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	1,007	0,7 (0,2 – 1,2)	1,006	0,6 (0,2 – 1,1)
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,395	39,5 (18,1 – 64,8)	1,402	40,2 (18,6 – 65,7)
x <sub>4</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,365	36,5 (9,2 – 70,7)	1,364	36,4 (9,0 – 70,7)
x <sub>5</sub> Body Mass Index (kg/m <sup>2</sup> )	1,028	2,8 (1,4 – 4,3)	1,030	3,0 (1,6 – 4,5)
Konstante	0,075		0,069	

Anmerkungen: exp(b<sub>i</sub>): Parameter des multiplikativen Modells (b<sub>i</sub>: Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);

95 % CI: Relative Veränderung des creatininbezogenen 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalts im Morgenurin in % bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.25 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	0,892	0,059	0,776; 1,009	0,592	0,614
x <sub>2</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,007	0,002	0,002; 0,012	0,113	0,148
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,333	0,085	0,166; 0,499	0,154	0,199
x <sub>4</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,311	0,114	0,088; 0,535	0,107	0,140
x <sub>5</sub> Body Mass Index (kg/m <sup>2</sup> )	0,028	0,007	0,014; 0,042	0,155	0,200
Konstante	-2,595	0,193	-2,974; -2,215		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
x <sub>2</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,006	0,002	0,002; 0,011	0,131	0,139
x <sub>3</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,338	0,085	0,171; 0,505	0,192	0,201
x <sub>4</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,311	0,114	0,086; 0,535	0,131	0,139
x <sub>5</sub> Body Mass Index (kg/m <sup>2</sup> )	0,030	0,007	0,016; 0,044	0,206	0,215
Konstante	-2,667	0,189	-3,040; -2,295		

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

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.26 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 2/9-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 382)**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 191)	Teilstichprobe B (N = 191)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Body Mass Index ( $p < 0,05$ )  <u>Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A:</u> $R^2 \cdot 100 \% = 35,8 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p = 0,06$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Body Mass Index ( $p < 0,05$ )  <u>Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B:</u> $R^2 \cdot 100 \% = 51,0 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 35,2 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 50,1 \%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatininbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p = 0,06$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p = 0,06$ ) - Body Mass Index ( $p = 0,05$ )  <u>Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A:</u> $R^2 \cdot 100 \% = 11,7 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p = 0,06$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Body Mass Index ( $p < 0,05$ )  <u>Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B:</u> $R^2 \cdot 100 \% = 13,9 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 11,1 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 13,1 \%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

## 10.5 Regressionsanalysen für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin – zusätzliche statistische Kennwerte

**Tab. 10.27 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	Volumenbezogen				Creatininbezogen			
	Aufgeklärte Varianz: 53,4 %				Aufgeklärte Varianz: 24,3 %			
	Adjustierte Varianz: 53,0 %				Adjustierte Varianz: 23,7 %			
Prädiktor	β	p	r	β·r·100 %	β	p	r	β·r·100 %
Creatininegehalt im Urin	0,615	<0,001	0,620	38,1	-	-	-	-
Zigarettenzahl pro Tag	0,303	<0,001	0,314	9,5	0,386	<0,001	0,399	15,4
Tägliche Alkoholmenge	0,117	<0,001	0,200	2,3	0,147	<0,001	0,199	2,9
Dezentrale Heizung	0,125	<0,001	0,152	1,9	0,160	<0,001	0,187	3,0
Neue Bundesländer	0,132	<0,001	0,118	1,6	0,169	<0,001	0,176	3,0

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;  
 β: standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);  
 p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese:  $\beta=0$ );  
 r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;  
 β·r·100 %: dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums  
 (Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.28 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	2,621	162,1 (139,5 – 186,9)	-	-
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	1,241	24,1 (19,1 – 29,3)	1,241	24,1 (19,1 – 29,3)
x <sub>3</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	1,007	0,7 (0,4 – 1,0)	1,007	0,7 (0,3 – 1,0)
x <sub>4</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,470	47,0 (23,1 – 75,5)	1,470	47,0 (23,1 – 75,5)
x <sub>5</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,350	35,0 (18,4 – 53,9)	1,352	35,2 (18,7 – 54,1)
Konstante	0,172		0,170	

Anmerkungen: exp(b<sub>i</sub>): Parameter des multiplikativen Modells (b<sub>i</sub>: Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);  
 95 % CI: Relative Veränderung des volumenbezogenen 3-Hydroxyphenanthren-Gehalts im Morgenurin in % bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.29 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
X <sub>1</sub> Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	0,964	0,046	0,874; 1,054	0,613	0,668
X <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,216	0,021	0,175; 0,257	0,301	0,404
X <sub>3</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,007	0,002	0,004; 0,010	0,116	0,167
X <sub>4</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,385	0,090	0,208; 0,563	0,125	0,180
X <sub>5</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,300	0,067	0,169; 0,431	0,131	0,189
Konstante	-1,763	0,039	-1,839; -1,686		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
X <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,216	0,021	0,175; 0,257	0,384	0,404
X <sub>3</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,007	0,002	0,003; 0,010	0,146	0,165
X <sub>4</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,385	0,090	0,208; 0,562	0,159	0,179
X <sub>5</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,302	0,067	0,171; 0,433	0,168	0,190
Konstante	-1,771	0,038	-1,845; -1,697		

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

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.30 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 277)	Teilstichprobe B (N = 276)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p = 0,07$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 59,5 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 48,2 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 58,2 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 47,1 \%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatininbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p = 0,07$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 25,9 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 23,5 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 24,9 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 22,5 \%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.31 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N = 382)**

	Volumenbezogen				Creatininbezogen			
	Aufgeklärte Varianz: 48,0 %				Aufgeklärte Varianz: 11,8 %			
	Adjustierte Varianz: 47,4 %				Adjustierte Varianz: 11,1 %			
Prädiktor	β	p	r	β·r·100 %	β	p	r	β·r·100 %
Creatininegehalt im Urin	0,633	<0,001	0,640	40,5	-	-	-	-
Dezentrale Heizung	0,165	<0,001	0,201	3,3	0,215	<0,001	0,246	5,3
Tägliche Alkoholmenge	0,128	0,001	0,188	2,4	0,166	0,001	0,177	2,9
Neue Bundesländer	0,145	<0,001	0,119	1,7	0,188	<0,001	0,189	3,6

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;  
 β: standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);  
 p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese: β=0);  
 r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;  
 β·r·100 %: dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums  
 (Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.32 : Die Parameter der Modellgleichungen für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI	exp(b <sub>i</sub> )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	2,729	172,9 (142,9 – 206,6)	-	-
x <sub>2</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,660	66,0 (32,4 – 108,1)	1,660	66,0 (32,5 – 108,1)
x <sub>3</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	1,008	0,8 (0,3 – 1,3)	1,008	0,8 (0,3 – 1,3)
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,394	39,4 (17,8 – 65,0)	1,394	39,4 (17,8 – 64,9)
Konstante	0,166		0,166	

Anmerkungen: exp(b<sub>i</sub>): Parameter des multiplikativen Modells (b<sub>i</sub>: Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);  
 95 % CI: Relative Veränderung des creatininbezogenen 3-Hydroxyphenanthren-Gehalts im Morgenurin in % bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.33 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenumurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	1,004	0,059	0,888; 1,120	0,630	0,658
x <sub>2</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,507	0,115	0,281; 0,733	0,164	0,222
x <sub>3</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,008	0,002	0,003; 0,013	0,126	0,172
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,332	0,086	0,164; 0,501	0,144	0,196
Konstante	-1,799	0,046	-1,889; -1,709		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
x <sub>2</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,507	0,115	0,281; 0,733	0,213	0,222
x <sub>3</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,008	0,002	0,003; 0,013	0,165	0,173
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,332	0,086	0,164; 0,500	0,187	0,196
Konstante	-1,798	0,044	-1,884; -1,711		

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

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.34 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die 3-Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenumurin (Nichtraucher)**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 191)	Teilstichprobe B (N = 191)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 43,2 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 54,6 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 43,0 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 54,4 \%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatininbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 11,8 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 12,7 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 11,6 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 12,5 \%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

## 10.6 Regressionsanalysen für die $\Sigma(1\text{-},2\text{/}9\text{-},3\text{-})\text{Hydroxyphenanthren}\text{-Gehalte im Morgenurin}$ – zusätzliche statistische Kennwerte

**Tab. 10.35 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die  $\Sigma(1\text{-},2\text{/}9\text{-},3\text{-})\text{Hydroxyphenanthren}\text{-Gehalte im Morgenurin (N = 553)}$**

Prädiktor	Volumenbezogen				Creatininbezogen			
	Aufgeklärte Varianz: 48,8 %				Aufgeklärte Varianz: 16,9 %			
	Adjustierte Varianz: 48,3 %				Adjustierte Varianz: 16,3 %			
Prädiktor	$\beta$	p	r	$\beta \cdot r \cdot 100$ %	$\beta$	p	r	$\beta \cdot r \cdot 100$ %
Creatiningehalt im Urin	0,613	<0,001	0,617	37,9	-	-	-	-
Zigarettenzahl pro Tag	0,244	<0,001	0,254	6,2	0,309	<0,001	0,319	9,9
Tägliche Alkoholmenge	0,103	0,001	0,179	1,8	0,121	0,002	0,163	2,0
Neue Bundesländer	0,135	<0,001	0,120	1,6	0,174	<0,001	0,180	3,1
Dezentrale Heizung	0,126	0,001	0,126	1,3	0,127	0,001	0,152	1,9

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;  
 $\beta$ : standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);  
p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese:  $\beta=0$ );  
r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;  
 $\beta \cdot r \cdot 100$  %: dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums  
(Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.36 : Die Parameter der Modellgleichungen für die  $\Sigma(1\text{-},2\text{/}9\text{-},3\text{-})\text{Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin}$**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp( $b_i$ )	95 % CI	exp( $b_i$ )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	2,354	135,4 (116,4 – 156,0)	-	-
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	1,168	16,8 (12,4 – 21,3)	1,168	16,8 (12,4 – 21,4)
x <sub>3</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	1,005	0,5 (0,2 – 0,9)	1,005	0,5 (0,2 – 0,8)
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,314	31,4 (16,3 – 48,5)	1,323	32,3 (17,0 – 49,7)
x <sub>5</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,320	32,0 (11,9 – 55,8)	1,318	31,8 (11,5 – 55,8)
Konstante	0,612		0,593	

Anmerkungen: exp( $b_i$ ): Parameter des multiplikativen Modells ( $b_i$ : Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);  
95 % CI: Relative Veränderung des volumenbez.  $\Sigma(1\text{-},2\text{/}9\text{-},3\text{-})\text{Hydroxyphenanthren}\text{-Gehaltes im Morgenurin in } \%$   
bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.37 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die  
Σ(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	0,856	0,043	0,772; 0,940	0,611	0,650
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,155	0,020	0,117; 0,193	0,243	0,322
x <sub>3</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,005	0,002	0,002; 0,009	0,102	0,141
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,273	0,062	0,151; 0,396	0,134	0,185
x <sub>5</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,278	0,084	0,112; 0,443	0,101	0,140
Konstante	-0,490	0,036	-0,562; -0,419		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
x <sub>2</sub> Logarithmus (1 + Zigarettenzahl pro Tag)	0,155	0,020	0,117; 0,194	0,307	0,319
x <sub>3</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,005	0,002	0,002; 0,008	0,120	0,130
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,280	0,063	0,157; 0,403	0,174	0,187
x <sub>5</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,276	0,085	0,109; 0,443	0,127	0,138
Konstante	-0,522	0,036	-0,592; -0,452		

Anmerkungen: B: Regressionsparameter für die Regressionsfunktion;

SE(B): Standardfehler des Regressionsparameters B;

KI(B): 95%-Konfidenzintervall des Regressionsparameters B;

PK: Semipartialkorrelationskoeffizient (Korrelation des Kriteriums mit dem Prädiktor, der bezüglich aller übrigen Prädiktoren residualisiert wurde);

PartK: Partialkorrelation (Korrelation von Prädiktor und Kriterium, wenn alle linearen Effekte der übrigen Prädiktoren sowohl aus diesem Prädiktor als auch aus dem Kriterium rechnerisch entfernt wurden).

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.38 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die  
Σ(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 277)	Teilstichprobe B (N = 276)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100\% = 45,7\%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatininegehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100\% = 52,0\%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100\% = 44,2\%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100\% = 50,8\%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatininbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p = 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100\% = 20,8\%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithmus (1+Zigarettenzahl pro Tag) ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100\% = 13,6\%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100\% = 19,6\%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100\% = 12,8\%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.39 : Varianzkomponenten der Regressionsmodelle für die  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ -Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher, N=382)**

	Volumenbezogen					Creatininbezogen			
	Aufgeklärte Varianz: 44,1 %				Aufgeklärte Varianz: 9,7 %				
	Adjustierte Varianz: 43,6 %				Adjustierte Varianz: 9,0 %				
Prädiktor	$\beta$	p	r	$\beta \cdot r \cdot 100\%$	$\beta$	p	r	$\beta \cdot r \cdot 100\%$	
Creatininegehalt im Urin	0,609	<0,001	0,616	37,5	-	-	-	-	
Dezentrale Heizung	0,129	0,001	0,183	2,4	0,154	0,001	0,158	2,4	
Tägliche Alkoholmenge	0,134	0,001	0,170	2,3	0,168	0,002	0,198	3,3	
Neue Bundesländer	0,155	<0,001	0,128	2,0	0,200	<0,001	0,198	4,0	

Anmerkungen: N: Stichprobenumfang;  
 $\beta$ : standardisierter Regressionskoeffizient (Maß für die Wirkung des Prädiktors im Modell);  
p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art (Nullhypothese:  $\beta=0$ );  
r: Pearson'scher Korrelationskoeffizient zwischen Prädiktor und Kriterium;  
 $\beta \cdot r \cdot 100\%$ : dem Prädiktor zuzuordnender Anteil der Varianz des Kriteriums  
(Summe über alle Prädiktoren ergibt die durch das Modell erklärte Varianz)

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.40 : Die Parameter der Modellgleichungen für die  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ -Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	Volumenbezogen		Creatininbezogen	
	exp( $b_i$ )	95 % CI	exp( $b_i$ )	95 % CI
x <sub>1</sub> Logarithmus des Creatininegehalts im Urin (g/l)	2,392	139,2 (114,6 – 166,7)	-	-
x <sub>2</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	1,007	0,7 (0,3 - 1,2)	1,007	0,7 (0,3 – 1,1)
x <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	1,448	44,8 (17,2 – 78,9)	1,444	44,4 (16,7 – 78,6)
x <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	1,378	37,8 (17,7 – 61,4)	1,388	38,8 (18,4 – 62,6)
Konstante	0,591		0,576	

Anmerkungen: exp( $b_i$ ): Parameter des multiplikativen Modells ( $b_i$ : Regressionskoeffizient des Prädiktors x<sub>i</sub>);  
95 % CI: Relative Veränderung des volumenbez.  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$ -Gehaltes im Morgenurin in % bei Zunahme des Prädiktors um eine Einheit mit 95 %-Konfidenzintervall

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.41 : Zusätzliche Kennwerte der Regressionsmodelle für die  $\Sigma(1,-,2/9,-,3)$ -Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Prädiktor	B	SE (B)	KI(B)	PK	PartK
<b>Volumenbezogenes Modell:</b>					
X <sub>1</sub> Logarithmus des Creatiningehalts im Urin (g/l)	0,872	0,055	0,776; 1,009	0,607	0,630
X <sub>2</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,007	0,002	0,002; 0,012	0,128	0,168
X <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,370	0,107	0,088; 0,535	0,133	0,175
X <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,321	0,080	0,166; 0,499	0,154	0,202
Konstante	-0,526	0,043	-0,610; -0,442		
<b>Creatininbezogenes Modell:</b>					
X <sub>2</sub> täglich aufgenommene Alkoholmenge (g/Tag)	0,007	0,002	0,003; 0,011	0,153	0,159
X <sub>3</sub> Heizungsart (0 = zentral, 1 = dezentral)	0,367	0,108	0,155; 0,580	0,166	0,172
X <sub>4</sub> Alte/neue Bundesländer (0 = alte, 1 = neue)	0,328	0,081	0,169; 0,486	0,199	0,205
Konstante	-0,552	0,042	-0,634; -0,470		

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

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998

**Tab. 10.42 : Kreuzvalidierung der Regressionsmodelle für die  $\Sigma(1,-,2/9,-,3)$ -Hydroxyphenanthren-Gehalte im Morgenurin (Nichtraucher)**

Zufällig gebildete Teilstichproben:	Teilstichprobe A (N = 191)	Teilstichprobe B (N = 191)
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des volumenbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 39,4 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - Logarithm. des Creatiningehalts im Urin ( $p < 0,05$ ) - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 51,3 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 39,2 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 51,1 \%$
<b>Regressionsmodelle für die Teilstichproben des creatininbezogenen Modells</b>	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell A:</u> - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 9,2 \%$	<u>Prädiktoren von Regressionsmodell B:</u> - täglich aufgenommene Alkoholmenge ( $p < 0,05$ ) - Heizungsart ( $p < 0,05$ ) - Alte/neue Bundesländer ( $p < 0,05$ )  Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 11,3 \%$
<b>Kreuzvalidierung</b>	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell B: $R^2 \cdot 100 \% = 9,1 \%$	Aufgeklärte Varianz durch Regressionsmodell A: $R^2 \cdot 100 \% = 11,2 \%$

Anmerkungen: p: beobachtete Wahrscheinlichkeit für einen Fehler 1. Art.

Quelle: UBA, Umwelt-Survey 1998, Bundesrepublik Deutschland

## 10.7 Erläuterungen zu den in den Regressionsanalysen benutzten Variablen

### Individuelle Faktoren

**1) Geschlecht:**

Ausprägungen: 0: "männlich",  
1: "weiblich"

**2-4) Lebensalter:**

Ausprägungen: metrisch [Jahre]  
Transformationen: logarithmisch bzw. quadratisch

**5) Body Mass Index:**

Ausprägungen: metrisch [ $\text{kg}/\text{m}^2$ ]  
im Modell für: 2/9-Hydroxyphenanthren (Teilstichprobe Nichtraucher)

### Urinparameter

**6-7) Creatiningehalt:**

Creatiningehalt im Morgenurin

Bemerkung: Prüfung nur in den Modellen für die volumenbezogenen PAK-Metaboliten-Gehalte  
Ausprägungen: metrisch [g/l]  
Transformationen: logarithmisch  
im Modell für: 1-Hydroxypyren, 1-Hydroxyphenanthren, 2/9-Hydroxyphenanthren,  
3-Hydroxyphenanthren,  $\Sigma(1-, 2/9-, 3)$ -Hydroxyphenanthren  
(jeweils nur volumenbezogene Gehalte, Gesamtstichprobe und Teilstichprobe Nichtraucher)

**8-9) Urinmenge:**

Ausprägungen: metrisch [g]  
Transformationen: logarithmisch

**10-11) Retentionszeit:**

Sammelzeit des Morgenurins

Bemerkung: Prüfung nur in den Modellen für die volumenbezogenen PAK-Metaboliten-Gehalte  
Ausprägungen: metrisch [h]  
Transformationen: logarithmisch

**12) Vollständigkeit Morgenurin:**

Vollständigkeit des Morgenurins

Ausprägungen: 0: "unvollständig",  
1: "vollständig"

**13) Zeit Morgenurin:**

Tageszeit der Morgenurinprobe

Ausprägungen: metrisch [Sekunden seit Mitternacht]

**14) Jahreszeit Morgenurin:**

Jahreszeit der Morgenurinprobe

- Ausprägungen:    0: "Mai bis September",  
                           1: "Oktober bis April"

**Rauchverhalten****15) Rauchstatus:**

Proband ist Nichtraucher oder Raucher

- Ausprägungen:    0: "Nichtraucher",  
                           1: "Raucher"

Bemerkung:       Prüfung nur in den Modellen für die volumenbezogenen PAK-Metaboliten-Gehalte

**16-17) Anzahl Zigaretten:**

Anzahl täglich gerauchter Zigaretten

Bemerkung:       Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Gesamtstichprobe

Ausprägungen:      metrisch

Transformationen: logarithmisch

im Modell für:      1-Hydroxypyren, 1-Hydroxyphenanthren, 2/9-Hydroxyphenanthren,  
                               3-Hydroxyphenanthren,  $\Sigma(1-,2/9-,3-)Hydroxyphenanthren$  (Gesamtstichprobe)

**18-19) Anzahl gerauchte Einheiten:**

Anzahl täglich gerauchter Zigaretten, Zigarren, Pfeifen

Bemerkung:       Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Gesamtstichprobe

Ausprägungen:      metrisch

Transformationen: logarithmisch

**20-21) Rauchdauer Raucher:**

Rauchdauer bei Rauchern

Bemerkung:       Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Gesamtstichprobe

Ausprägungen:      metrisch [Jahre] (bei Nichtrauchern = 0)

Transformationen: logarithmisch

**22-23) Anzahl Zigaretten Exraucher:**

Anzahl täglich gerauchter Zigaretten in der Vergangenheit

Bemerkung:       Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Teilstichprobe der Nichtraucher

Ausprägungen:      metrisch

Transformationen: logarithmisch

**24-25) Dauer Nichtrauchen Exraucher:**

Dauer des Nichtmehrrauchens bei Exrauchern

Bemerkung: Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Teilstichprobe der Nichtraucher

Ausprägungen: metrisch [Jahre] (bei Nierauchern = 0)

Transformationen: logarithmisch

**Passivrauchen****26) zusätzliche Raucher im Haushalt:**

Raucher im Haushalt außer Proband

Bemerkung: Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Gesamtstichprobe

Ausprägungen: 0: "keine",  
1: "mindestens ein weiterer Raucher im Haushalt"

**27) Anzahl Raucher im Haushalt:**

Anzahl der Raucher im Haushalt

Bemerkung: Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Teilstichprobe der Nichtraucher

Ausprägungen: metrisch

**28) Raucherhaushalt:**

Vorhandensein von Rauchern im Haushalt

Bemerkung: Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Teilstichprobe der Nichtraucher

Ausprägungen: 0: "nein",  
1: "mindestens ein Raucher im Haushalt"

**29) Rauchen zu Hause:**

Häufiger Aufenthalt zu Hause in Räumen, in denen geraucht wird.

Bemerkung: Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Teilstichprobe der Nichtraucher

Ausprägungen: 0: "nein",  
1: "ja"

**30) Rauchen am Arbeitsplatz:**

Häufiger Aufenthalt bei der Arbeit in Räumen, in denen geraucht wird.

Bemerkung: Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Teilstichprobe der Nichtraucher

Ausprägungen: 0: "nein",  
1: "ja"

**31) Rauchen an anderen Orten:**

Häufiger Aufenthalt an anderen Orten in Räumen, in denen geraucht wird.

Bemerkung: Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Teilstichprobe der Nichtraucher

Ausprägungen: 0: "nein",  
1: "ja"

**32-33) Index Passivrauchbelastung:**

Bemerkung: Bildung des Index Passivrauchbelastung aus den Variablen 19), 20) und 21):

keine: wenn alle 3 Variablen = 0,

geringe bis mäßige: wenn mindestens 1, aber nicht alle 3 Variablen = 1

starke: wenn alle 3 Variablen = 1.

Prüfung nur in den Modellen für die PAK-Metaboliten-Gehalte der Teilstichprobe der Nichtraucher

Codierte Variable: 0: "keine",  
1: "geringe bis mäßige",  
2: "starke"

Codierte Variable: 0: "keine oder geringe bis mäßige ",  
1: "starke"

**Ernährung**
**34-35) Täglich aufgenommene Alkoholmenge:**

mittlere pro Tag konsumierte Alkoholmenge

Ausprägungen: metrisch [g]

Transformationen: logarithmisch

im Modell für: 1-Hydroxyphenanthren (Teilstichprobe Nichtraucher),  
2/9-Hydroxyphenanthren, 3-Hydroxyphenanthren,  
 $\Sigma(1,-2/9,-3)$ -Hydroxyphenanthren (Gesamtstichprobe und Teilstichprobe  
Nichtraucher)

**36) Täglich aufgenommene Alkoholmenge (Diet History):**

Bemerkung: Variable aus der "Diet History" werden nicht als Prädiktoren in das Modell aufgenommen, da von über 160 Probanden keine "Diet History" vorlag. Die Variablen werden aber anhand der Regressionsmodelle geprüft.

Ausprägungen: metrisch [g]

**37) Fisch bis 48 Stunden vor Probenahme:**

Verzehr von Fisch bis 48 Stunden vor Probenahme (Urin)

Ausprägungen: 0: "nein",  
1: "ja"

**38) Süßwasserfisch bis 48 Stunden vor Probenahme:**

Verzehr von Süßwasserfisch bis 48 Stunden vor Probenahme (Urin)

Ausprägungen: 0: "nein",  
1: "ja"

**39) Salzwasserfisch bis 48 Stunden vor Probenahme:**

Verzehr von Salzwasserfisch bis 48 Stunden vor Probenahme (Urin)

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“

**40) Sonstiger Fisch bis 48 Stunden vor Probenahme:**

Verzehr von sonstigem Fisch bis 48 Stunden vor Probenahme (Urin)

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“

**41) Krustentiere bis 48 Stunden vor Probenahme:**

Verzehr von Krustentieren bis 48 Stunden vor Probenahme (Urin)

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“

**42-44) Häufigkeit des Verzehrs von gegrillten Speisen:**

Ausprägungen: metrisch [Häufigkeit pro Monat]

Transformationen: logarithmisch

Codierte Variable: 0: „weniger als einmal pro Woche“,  
1: „einmal pro Woche und häufiger“

**45-48) Häufigkeit des Verzehrs von geräucherten Speisen:**

Ausprägungen: metrisch [Häufigkeit pro Monat]

Transformationen: logarithmisch

Codierte Variable: 0: „seltener als einmal pro Woche“,  
1: „einmal pro Woche oder häufiger“

Codierte Variable: 0: „einmal pro Woche oder seltener“,  
1: „mehrmals pro Woche oder häufiger“

**49-51) Häufigkeit des Verzehrs von Fisch:**

Ausprägungen: metrisch [Häufigkeit pro Monat]

Transformationen: logarithmisch

Codierte Variable: 0: „weniger als einmal pro Woche“,  
1: „einmal pro Woche und häufiger“

**52-54) Häufigkeit des Verzehrs von Fleisch/Geflügel:**

Ausprägungen: metrisch [Häufigkeit pro Monat]

Transformationen: logarithmisch

Codierte Variable: 0: „weniger als einmal pro Woche“,  
1: „einmal pro Woche und häufiger“

**55-57) Häufigkeit des Verzehrs von Wurst/Schinken:**

Ausprägungen: metrisch [Häufigkeit pro Monat]

Transformationen: logarithmisch

Codierte Variable: 0: „weniger als einmal pro Woche“,  
1: „einmal pro Woche und häufiger“

**58-60) Häufigkeit des Verzehrs von gebratenen/frittierten Kartoffeln:**Ausprägungen: metrisch [Häufigkeit pro Monat]Transformationen: logarithmischCodierte Variable: 0: „weniger als einmal pro Woche“,  
1: „einmal pro Woche und häufiger“**61-63) Häufigkeit des Verzehrs von Bratwurst/Pizza:**Ausprägungen: metrisch [Häufigkeit pro Monat]Transformationen: logarithmischCodierte Variable: 0: „weniger als einmal pro Woche“,  
1: „einmal pro Woche und häufiger“**64-66) Häufigkeit des Verzehrs von Kaffee mit Koffein:**Ausprägungen: metrisch [Häufigkeit pro Monat]Transformationen: logarithmischCodierte Variable: 0: „weniger als einmal pro Woche“,  
1: „einmal pro Woche und häufiger“**67) Häufiger Konsum fettarmer Produkte:**Bemerkung: Werden fettreduzierte Wurst/Wurstwaren, fettarmer Quark/Joghurt, Käse sowie fettarme Milch im Mittel höchstens manchmal gegessen, so wird die entsprechende Variable mit 0 codiert, anderenfalls mit 1.Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“**68-69) Täglich aufgenommene Fettmenge (Diet History):**Bemerkung: Variable aus der „Diet History“ werden nicht als Prädiktoren in das Modell aufgenommen, da von über 150 Probanden keine „Diet History“ vorlag. Die Variablen werden aber anhand der Regressionsmodelle geprüft.Ausprägungen: metrisch [g]Transformationen: logarithmisch**70-71) Trinkwasservolumen aus Leitungen des Haushalts bei Eigenwasserversorgung:**Ausprägungen: metrisch [ml/Tag] (bei Wasserwerksversorgung = 0)Transformationen: logarithmisch**72-73) Leitungswasservolumen für Kaffee/Tee bei Eigenwasserversorgung:**Ausprägungen: metrisch [ml/Tag] (bei Wasserwerksversorgung = 0)Transformationen: logarithmisch**Wohnungsumfeld****74) Kinder unter 6 Jahren im Haushalt:**

Kinder unter 6 Jahren leben im Haushalt des Probanden

Ausprägungen: 0: „nein“,  
1: „ja“

**75) Anzahl Kinder bis 12 Jahre im Haushalt:**

Anzahl der im Haushalt des Probanden lebenden Kinder bis 12 Jahre

- Ausprägungen: 0: "keine",  
1: "1 Kind",  
2: "2 oder mehr Kinder"

**76) Anzahl Kinder bis 14 Jahre im Haushalt:**

Anzahl der im Haushalt des Probanden lebenden Kinder bis 14 Jahre

- Ausprägungen: 0: "keine",  
1: "1 Kind",  
2: "2 oder mehr Kinder"

**77) Anzahl Personen im Haushalt:**

Anzahl Personen im Haushalt des Probanden

- Ausprägungen: metrisch

**78-79) Eintrag von Schmutz in die Wohnung:**

Hereinbringen von Schmutz in die Wohnung durch den Probanden an dessen Kleidung

- Codierte Variable: 0: "nie",  
1: "öfter"

- Codierte Variable: 0: „nie, selten, gelegentlich“,  
1: „oft, fast immer“

**80) Ausziehen der Schuhe beim Betreten der Wohnung:**

Proband zieht Schuhe beim Betreten der Wohnung aus

- Ausprägungen: 0: "ja",  
1: "nein"

**81) Ausziehen der Schuhe beim Betreten der Wohnung durch Gäste:**

Gäste ziehen Schuhe beim Betreten der Wohnung des Probanden aus

- Ausprägungen: 0: "ja",  
1: "nein"

**82) Straßenverkehr in Wohnungsnähe:**

Straßenverkehr einer an die Wohnung des Probanden angrenzenden Straße

- Ausprägungen: 0: "wenig oder mäßig befahrene Straße",  
1: "beträchtlich oder stark befahrene Straße"

**83) Straßentyp der Wohnstraße:**

Straßentyp der Wohnstraße (Adresse) des Probanden

- Ausprägungen: 0: "wenig befahrene Straße",  
1: "Haupt-, Durchgangs-, Bundesstraße"

**84-86) Lärm durch Straßenverkehr:**

Lärm durch Straßenverkehr in Wohnung des Probanden

Codierte Variable: 0: "kein Lärm",

1: "nicht starker, mittelstarker, starker Lärm"

Codierte Variable: 0: "kein Lärm, nicht starker Lärm",

1: "mittelstarker, starker Lärm"

Codierte Variable: 0: "kein Lärm, nicht starker, mittelstarker Lärm",

1: "starker Lärm"

**87) Sägewerk, Schreinerei höchstens 50 m von Wohnung:**

ein Sägewerk oder eine Schreinerei befinden sich höchstens 50 m von der Wohnung des Probanden entfernt

Ausprägungen: 0: "nein",

1: "ja"

**88) Kfz-Werkstatt höchstens 50 m von Wohnung:**

eine Kfz-Werkstatt befindet sich höchstens 50 m von der Wohnung des Probanden entfernt

Ausprägungen: 0: "nein",

1: "ja"

**89) Metall verarbeitender Betrieb höchstens 50 m von Wohnung:**

ein Metall verarbeitender Betrieb befindet sich höchstens 50 m von der Wohnung des Probanden entfernt

Ausprägungen: 0: "nein",

1: "ja"

**90) Schrottplatz höchstens 50 m von Wohnung:**

ein Schrottplatz befindet sich höchstens 50 m von der Wohnung des Probanden entfernt

Ausprägungen: 0: "nein",

1: "ja"

**91) Tankstelle höchstens 50 m von Wohnung:**

eine Tankstelle befindet sich höchstens 50 m von der Wohnung des Probanden entfernt

Ausprägungen: 0: "nein",

1: "ja"

**92) Entfernung Sägewerk, Schreinerei von Wohnung:**

Entfernung eines Sägewerkes oder einer Schreinerei von der Wohnung des Probanden, max. 50 m

Ausprägungen: metrisch [m] (keines vorhanden = 100)

**93) Entfernung Kfz-Werkstatt von Wohnung:**

Entfernung einer Kfz-Werkstatt von der Wohnung des Probanden, max. 50 m

Ausprägungen: metrisch [m] (keine vorhanden = 100)

**94) Entfernung Metall verarbeitender Betrieb von Wohnung:**

Entfernung eines Metall verarbeitenden Betriebes von der Wohnung des Probanden, max. 50 m

Ausprägungen: metrisch [m] (keiner vorhanden = 100)

**95) Entfernung Schrottplatz von Wohnung:**

Entfernung eines Schrottplatzes von der Wohnung des Probanden, max. 50 m

Ausprägungen: metrisch [m] (keiner vorhanden = 100)

**96) Entfernung Tankstelle von Wohnung:**

Entfernung einer Tankstelle von der Wohnung des Probanden, max. 50 m

Ausprägungen: metrisch [m] (keine vorhanden = 100)

**97) Geruchsbelästigung durch Betriebe:**

Geruchsbelästigung durch Betriebe in der Nähe der Wohnung

Ausprägungen: 0: "nein",  
1: "ja"

**98) Großstadt-Kernbereich:**

Ausprägungen: 0: "nein",  
1: "ja"

**99) Gemeindegrößenklasse:**

Ausprägungen: 0: "bis 99.999 Einwohner",  
1: "ab 100.000 Einwohner"

**100-101) Art des Wohngebietes:**

Codierte Variable: 0: "städtisch oder vorstädtisch",  
1: "ländlich"

Codierte Variable: 0: "ländlich oder vorstädtisch",  
1: "städtisch"

**102) Wohnort alte oder neue Bundesländer:**

Proband wohnte 1998 in den alten oder den neuen Bundesländern

Ausprägungen: 0: "alte Bundesländer",  
1: "neue Bundesländer"

im Modell für: 1-Hydroxypyren, 1-Hydroxyphenanthren, 2/9-Hydroxyphenanthren,  
3-Hydroxyphenanthren,  $\Sigma(1\text{-}, 2\text{-}, 3\text{-})\text{Hydroxyphenanthren}$   
(Gesamtstichprobe und Teilstichprobe Nichtraucher)

**103-104) Pkw-Dichte:**

Pkw-Dichte in Wohnumgebung des Probanden (Datenbank "I+G-Regio")<sup>3</sup>

Codierte Variable: 0: "sehr niedrig, niedrig, unterer Durchschnitt, Durchschnitt,  
oberer Durchschnitt",  
1: "leicht erhöht, erhöht, hoch, sehr hoch, extrem hoch"

Codierte Variable: 0: " sehr niedrig, niedrig, unterer Durchschnitt, Durchschnitt,  
oberer Durchschnitt, leicht erhöht, erhöht, hoch",  
1: " sehr hoch, extrem hoch"

---

<sup>3</sup> Datenbank „I+G-Regio“ (I+G Gesundheitsforschung, persönliche Mitteilung, 2000)

**105) Wohnhaustyp:**

Art des vom Probanden bewohnten Wohnhauses

- Ausprägungen: 0: "Ein- bis Zweifamilienhaus",  
1: "Mehrfamilienhaus"

**106) Gewerbestraße:**

Proband wohnt in Gewerbestraße (Datenbank "I+G-Regio")<sup>3</sup>

- Ausprägungen: 0: "nein",  
1: "ja"

**Häuslicher Bereich**
**107-108) Heizungsart:**

Art der Heizung in der Wohnung des Probanden

- Codierte Variable: 0: "zentral",  
1: "dezentral"

im Modell für: 2/9-Hydroxyphenanthren (Teilstichprobe Nichtraucher), 1-Hydroxypyren,  
1-Hydroxyphenanthren, 3-Hydroxyphenanthren,  
 $\Sigma(1\text{-}, 2/9\text{-}, 3\text{-})$ Hydroxyphenanthren (Gesamtstichprobe und Teilstichprobe  
Nichtraucher)

- Codierte Variable: 0: "zentral oder dezentral ohne Holz/Kohle",  
1: "dezentral mit Holz/Kohle"

**109-111) Brennstoff bei einzeln zu bedienenden Öfen in der Wohnung:**

- Codierte Variable: 0: "keine Holz/Kohle",  
1: "Holz/Kohle"

- Codierte Variable: 0: "kein Öl",  
1: "Öl"

- Codierte Variable: 0: "keine Gas",  
1: "Gas"

**112) Holzschutzmittelnutzung in der Wohnung:**

Nutzung von chemischen Holzschutzmitteln in der Wohnung des Probanden

- Ausprägungen: 0: "nein, weiß nicht",  
1: "ja"

**113) Zeit seit letzter Holzschutzmittelanwendung in der Wohnung:**

Ausprägungen: metrisch [Monate] (keine Nutzung = Lebensalter in Monaten)

**114) Art der Wasserversorgung:**

Art der Wasserversorgung in der Wohnung des Probanden

- Ausprägungen: 0: "Wasserwerk",  
1: "Eigenversorgung"

## Arbeitsplatz

**115-116) Berufstätigkeit:**

Codierte Variable: 0: "nicht oder weniger als 15 Stunden pro Woche",  
1: "mindestens 15 Stunden pro Woche"

Codierte Variable: 0: "nicht voll berufstätig",  
1: "voll berufstätig"

**117) Berufliche Stellung:**

Ausprägungen: 0: "kein Arbeiter",  
1: "Arbeiter"

**118-119) Eintrag von Schmutz in die Wohnung:**

Hereinbringen von Schmutz in die Wohnung von der Arbeitsstelle des Probanden an dessen Kleidung

Codierte Variable: 0: "nie",  
1: "öfter"

Codierte Variable: 0: "nie, selten, gelegentlich",  
1: "oft, fast immer"

**120-121) Tätigkeitsgruppe:**

Dreistellige "Klassifizierung der Berufe, Ausgabe 1975" des Statistischen Bundesamtes<sup>4</sup>

Codierte Variable: 0: "keine Kraftfahrzeugführer",  
1: "Kraftfahrzeugführer"

Codierte Variable: 0: "sonstige (nicht gefährdete) Berufe",  
1: "gefährdete Berufe (Bergleute, Kraftfahrzeuginstandsetzer,  
Landmaschineninstandsetzer, Köche, Straßenbauer,  
Bergbau-/Hütten-/Gießereitechniker, Chemie-/Physikotechniker,  
Tankwärter, Kraftfahrzeugführer, Polizisten, Feuerwehrleute,  
Schornsteinfeger)"

---

<sup>4</sup> Die Klassifizierung ist unter folgender Internet-Adresse zu finden:

[http://www.gesis.org/Dauerbeobachtung/Mikrodaten/daten/abteilungsdaten/mikrozensen/mz\\_1991/klbd75\\_91.htm](http://www.gesis.org/Dauerbeobachtung/Mikrodaten/daten/abteilungsdaten/mikrozensen/mz_1991/klbd75_91.htm)