Quellenermittlung von Schadstoffen in kommunalen Abwässern und Sedimenten

vorgelegt von
Diplom-Ingenieur Matthias Koch

Von der Fakultät III – Prozesswissenschaften –
der Technischen Universität Berlin
zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor der Ingenieurwissenschaften
- Dr.-Ing. -

genehmigte Dissertation

Promotionsausschuss
Vorsitzender: Prof. Dr. Georg Erdmann
Berichter: Prof. Dr. Wolfgang Rotard
Berichter: Prof. Dr. Martin Jekel
Tag der wissenschaftlichen Aussprache: 08.11.2002

Berlin 2002
D 83

COPYRIGHT

DANKSAGUNG

Besonders Herrn Prof. Rotard sei für die gute Betreuung bei der Erstellung dieser Dissertation gedankt. Er ermöglichte mir in seinem Fachgebiet diese Arbeit zu erstellen. Herrn Prof. Jekel möchte ich für die Übernahme des Zweitgutachtens danken. Von ihm habe ich schon während des Studiums viel über wissenschaftliches Arbeiten gelernt. Herrn Prof. Erdmann danke ich für die Übernahme des Vorsitzes des Promotionsausschusses.

Diese Dissertation wäre ohne die vielfältige Unterstützung folgender Personen und Institutionen nicht möglich geworden. Diesen sei besonders gedankt: Herrn Ricking von der Freien Universität Berlin für die Koordination des Sedimentprobenahmen und der Analyse von POPs in Sedimentproben; Herrn Dr. Knoth, Herrn Mann, Frau Nebhuth und Herrn Pribyl im Umweltbundesamt für die Durchführung der Dioxinanalysen; Herrn Dr. Mailahn, Herrn Kortwich, Herrn Möhlmann und Herrn Pfannstiehl vom Umweltbundesamt in Berlin für die Durchführung der Elementanalysen und der Bestimmung der Bleiisotopenverhältnisse; Frau Schwaab und Herrn Gehring für unterstützende Arbeiten. Herrn Prof. Gnauck von der BTU Cottbus möchte ich für ausführliche Anregungen bzgl. statistischer Auswertungen danken.

Im Rahmen der Dissertation wurden in einer Reihe von deutschen Städten Sielhautproben im Kanalnetz entnommen. Für die Unterstützung bzw. Durchführung von Probenahmen sei insbesondere gedankt: Herrn Genuit (Stadt Bielefeld), Herrn Großmann (Berliner Wasserbetriebe), Herrn Pisch (REWA GmbH, Stralsund), Herrn Putzer und Herrn Popp (Stadtentwässerungswerke München), Herrn Ochse (Stadt Braunschweig), Frau Quell (Abwasser Bremen GmbH), Herrn Kohrs (Stadtentwässerung Hannover), Frau Karl (Stadt Regensburg), Herrn Prof. Otterpohl (TU Hamburg-Harburg), Herrn Köster (Stadt Detmold), Herrn Nolde (TU Berlin), Herrn Mieszczanski (Stadt Velbert) und Herrn Reinhardt (Schweriner Abwasserentsorgung).

Den folgenden Personen und Institutionen sei für ihre Beteiligung an den Sedimentuntersuchungen gedankt: Die Arbeitsgruppe von Prof. A. Mangini von der Abteilung Umweltphysik der Universität Heidelberg für die Sedimentdatierungen; Dr. Hans-Martin Schulz (ehemals IOW Rostock, jetzt TU Clausthal-Zellerfeld) für die Probenahme des Sedimentkerns im Arkonabecken; Tobias Schulze (FU Berlin) für die Probenahme und die Arbeiten am Weißer See.

Außerdem möchte ich Marcus und Mathias für die ausführliche Kommentierung bei der Erstellung dieser Arbeit danken. Last but not least möchte ich Beate, meiner Familie, meinen Freunden und meinen (ehemaligen) Kolleginnen und Kollegen für die vielfältige Unterstützung herzlich danken, ohne die diese Arbeit nicht möglich gewesen wäre.

ZITAT

“When the wind of change blows, some build walls, others build windmills.”

Chinese proverb

INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungsverzeichnis ..... **IX**

Kurzfassung ..... **X**

Summary ..... **XI**

1 Einleitung und Zielsetzung **1**

2 Hintergrund **4**

2.1 Kommunale Abwässer und Sielhäute *4*

2.2 Sedimente *5*

3 Schadstoffe in Sielhäuten **7**

3.1 Elemente in Sielhäuten *7*

3.1.1 Verteilung der Gehalte 7

3.1.2 Unterschiede in den Elementgehalte von Proben einzelner Branchen 10

3.1.3 Elementgehalte in Sielhäuten und mögliche Ursachen für ihr Vorkommen 14

3.1.4 Korrelation der Elemente 20

3.1.5 Grundlegende Quelltypen 23

3.1.6 Strukturelle Ähnlichkeiten 23

3.1.7 Indikatorelemente und systematische Unterschiede zwischen Herkunftsbereichen 26

3.2 Bleiisotope in Sielhäuten *27*

3.2.1 Isotopenverhältnisse 27

3.2.2 Quellenzuordnung der Bleieinträge 32

3.3 Dioxine und Furane in Sielhäuten *35*

3.3.1 PCDD/F-Gehalte 35

3.3.2 Homologenprofile 37

3.3.3 Isomerenmuster 38

3.3.4 Toxische Kongenere 42

3.3.5 Indikatorkongenere 43

3.3.6 Korrelation der PCDD/F-Homologen und Kongenere 46

3.3.7 Clusteranalyse 50

3.3.8 Faktorenanalyse 53

3.3.9 Vergleich der Quellenzuordnung für verschiedene Methoden 59

4 Schadstoffe in Sedimentkernen **62**

4.1 PCDD/Fs in Sedimenten 62
4.1.1 Homologenprofile 64
4.1.2 Isomerenmuster 65
4.1.3 Charakteristische Isomerenquotienten 71
4.1.4 Chemometrische Auswertung der Isomerenmuster 74
4.1.5 Vergleich der Quellenermittlungsmethoden 83
4.2 PAKs in Sedimenten 84
4.3 PCBs in Sedimenten 98
4.4 Pestizide in Sedimenten 104
4.5 Elemente in Sedimenten 111
4.6 Schadstoffübersicht 115

5 Diskussion 125

5.1 Möglichkeiten und Grenzen der Verwendung von Probennahmematrices und Quellenermittlungsmethoden 125
5.2 Hintergrundgehalte und Eingreifwerte für Elemente in Sielhäuten 130
5.3 Inventare vs. Mustererkennung: Die Rolle von Punktquellen und von diffusen Quellen 132
5.4 PCDD/Fs in Sedimenten: Ein systematischer Vergleich von chemometrischen Quellstudien 133
5.5 Fehlende Schadstoffquellen: Mythos oder Realität? 135
5.6 Unsicherheitsfaktoren in der Quellenermittlung von Umweltschadstoffen 138
5.7 Ausblick: Wie weiter mit Quellstudien persistenter Schadstoffe? 140

6 Zusammenfassung und Schlußfolgerungen 142

7 Material und Methoden 150

7.1 Probenahme und –aufbereitung der Sielhäute 150
7.2 Probennahme und –aufbereitung der Sedimente 152
7.3 Analytik 158
7.3.1 Elemente und Bleiisotope 158
7.3.2 Dioxine und Furane (PCDD/Fs) 160
7.3.3 Andere persistente organische Schadstoffe (POPs) 162
7.4 Statistische Auswertung 165
7.4.1 Datenvorbehandlung 165
7.4.2 Testverfahren 167

7.4.3 Korrelationsanalyse 168
7.4.4 Regressionsanalyse 169
7.4.5 Clusteranalyse 169
7.4.6 Faktorenanalyse 170
7.4.7 Diskriminanzanalyse 172

8 Literatur 175

9 Anhang 1: Ergänzungen zum Hauptteil 191

9.1 Ergänzungen zu Abschnitt 3.1.1, 3.1.3 und 3.1.4: Elemente in Sielhäuten 191

9.2 Ergänzungen zu Abschnitt 3.1.5: Grundlegende Quelltypen 203

9.3 Ergänzungen zu Abschnitt 3.1.7: Indikatorelemente und systematische Unterschiede zwischen Herkunftsbereichen 204
9.3.1 Deponie 204
9.3.2 Druckereien 206
9.3.3 Elektrotechnik/Elektronik 208
9.3.4 Forschungseinrichtungen 210
9.3.5 Galvanik 212
9.3.6 Krankenhäuser 214
9.3.7 Kfz-Werkstätten 216
9.3.8 Metallbe- und –verarbeitende Betriebe 218
9.3.9 Nahrungsmittelindustrie 220
9.3.10 Verkehrsbetriebe 222
9.3.11 Wäschereien 224
9.3.12 Wohngebiete 226

9.4 Ergänzungen zu Abschnitt 3.3.1: PCDD/F-Gehalte in Sielhäuten 229

9.5 Ergänzungen zu Abschnitt 3.3.2: Homologenprofile 231
9.5.1 Hohe Anteile einzelner PCDD-Homologen 231
9.5.2 Überdurchschnittlicher Anteil niederchlorierter Furane 231
9.5.3 Hohe Anteile höherchlorierter Furane 232

9.6 Ergänzungen zu Abschnitt 3.3.3: Isomerenmuster 233
9.6.1 Übliche PCDD/F-Isomerenmuster 233
9.6.2 Sielhautproben beeinflusst von Wäschereien und Textilverarbeitung 237
9.6.2.1 Sielhautprobe im Abstrom einer Wäscherei WÄ09 237
9.6.2.2 Die von einer Wäscherei beeinflusste Sielhautprobe WÄ06 238
9.6.2.3 Sielhaut aus dem Abstrom einer Textilveredelung/Kunststoffverarbeitung TX07/KU02 239
9.6.2.4 Sielhautprobe einer Textilverarbeitung TX06 240
9.6.3 Sielhautproben mit deutlichem PCP-Einfluss 242
9.6.3.1 Sielhautprobe eines Pumpwerks PW14 243

9.6.3.2 Klärschlammprobe KL23 243
9.6.3.3 Sielhautprobe im Abstrom eines metallbe- und –verarbeitenden Betriebs (ME22) 243
9.6.3.4 Die von einer Wäscherei beeinflusste Sielhautprobe WÄ07 245
9.6.4 Sielhautproben mit deutlichem PCB-Einfluss 246
9.6.4.1 Sielhautprobe im Abstrom eines Flughafens FH01 246
9.6.4.2 Die von einem pharmazeutischen Betrieb beeinflusste Probe PH05 247
9.6.5 Sielhautproben mit anderen Einflüssen 248
9.6.5.1 Sielhautprobe aus dem Abstrom einer Autoverwertung KW26 248
9.6.5.2 Die von Gewerbegebiet und Hafen beeinflusste Sielhautprobe HA01 249
9.7 Ergänzungen zu Abschnitt 3.3.7: Clusteranalyse 250
9.7.1 Clusteranalyse A 250
9.7.2 Clusteranalyse B 253
9.7.3 Clusteranalyse D 253
9.8 Ergänzungen zu Abschnitt 3.3.8: Faktorenanalyse 258
9.8.1 Faktorenanalyse A 258
9.8.2 Faktorenanalyse B 261
9.9 PCDD/F-Isomerenquotienten der Sedimentproben 264
9.10 Korrelationen von Schadstoffen in Sedimenten 269
10 Anhang 2: Massenfragmentogramme 291
10.1 PCDD/F-Chromatogramme von Sielhautproben 291
10.2 Typische PCDD/F-Chromatogramme von Sedimentproben 322
10.3 Beispielhafte PCB-Chromatogramme von Sedimentproben 331
10.4 Beispielhafte PAK-Chromatogramme von Sedimentproben 332
10.5 Beispielhafte Chromatogramme von Pestizid-Analysen in Sedimentproben 335
11 Anhang 3: Dokumentation der Messwerte 336
11.1 Elementgehalte in Sielhäuten 336
11.2 Bleiisotopenanteile und -verhältnisse in Sielhäuten 397
11.3 Dioxin- und Furangehalte in Sielhäuten 405
11.4 PCDD/F-Gehalte in Sedimenten 421
11.5 PAK-Gehalte in Sedimenten 434
11.6 PCBs in Sedimenten 440
11.7 Pestizide und Elemente in Sedimenten 446

ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS

a	Jahr
AAS	Atomic absorption spectroscopy
AK	Arkonabecken
AOX	adsorbierbare organische Halogene
α	Irrtumswahrscheinlichkeit
BS	Bugsinsee
Bsp.	Beispiel
bzgl.	bezüglich
bzw.	beziehungsweise
ca.	zirka
CBz	Chlorbenzen
CP	Chlorphenol
DDD	1,1-Dichloro-2,2-bis(4'-chlorphenyl)ethan
DDE	1,1-Dichlor-2,2-bis(4'-chlorphenyl)ethylen
DDMS	1-Chlor-2,2-bis(4'-chlorphenyl)ethan
DDMU	1-Chlor-2,2-bis(4'chlorphenyl)ethylen
DDT	1,1,1-Trichlor-2,2-bis(4'-chlorphenyl)ethan
DDX	DDT und seine Metabolite
d.h.	das heißt
EMEP	Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe
et al.	und andere
ff	folgende Seiten
FG	Fachgebiet
GC	Gaschromatograph(ie)
GF	Graphite furnace
ggf.	gegebenenfalls
GR	Glührückstand
GV	Glühverlust
HCB	Hexachlorbenzen
HCH	Hexachlorcyclohexan
HpCDD	Heptachlorierte Dibenzo-p-dioxine
HpCDF	Heptachlorierte Dibenzofurane
HxCB	Hexachlorbiphenyle
HxCDD	Hexachlorierte Dibenzo-p-dioxine
HxCDF	Hexachlorierte Dibenzofurane
ICP	Inductively coupled plasma
i.d.R.	in der Regel
I-TEq	Internationale toxische Äquivalente
ITF	Internationaler Toxizitätsäquivalenzfaktor
Kfz	Kraftfahrzeug
KlärSV	Klärschlammverordnung
MS	Massenspektrometer/-metrie
N	Anzahl
n.g.	nicht gemessen
n.n.	nicht nachweisbar
OCDD	Octachlorierte Dibenzo-p-dioxine
OCDF	Octachlorierte Dibenzofurane
OES	Optische Emissionsspektroskopie
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe bzw. Verbindungen
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine
PCDD/F	Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane
PCDF	Polychlorierte Dibenzofurane
PCP	Pentachlorphenol
PeCBz	Pentachlorbenzen
PeCDD	Pentachlorierte Dibenzo-p-dioxine
PeCDF	Pentachlorierte Dibenzofurane
PIPs	Persistent inorganic pollutants
POPs	Persistent organic pollutants
PVC	Polyvinylchlorid
QS	Quenzsee
TeCBz	Tetrachlorbenzen
TeCDD	Tetrachlorierte Dibenzo-p-dioxine
TeCDF	Tetrachlorierte Dibenzofurane
TC	gesamter Kohlenstoff
TIC	gesamter anorganischer Kohlenstoff
TK	Teltowkanal
TM	Trockenmasse
TOC	gesamter organischer Kohlenstoff
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche
VO	Verordnung
vs.	versus
WS	Weißer See
z.B.	zum Beispiel
z.T.	zum Teil

KURZFASSUNG

Schadstoffe in kommunalen Abwässern und Sedimenten können von einer Vielzahl von Verursachern und Quellen emittiert worden sein. Die Identifizierung ihrer Quellen ist eine komplexe Aufgabe.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Sielhäute als Indikator für die Belastungssituation kommunaler Abwässer in dreizehn deutschen Städten und Sedimentkerne an fünf Probennahmeorten mit unterschiedlichen Einflüssen beprobt. Als persistente Schadstoffe wurden Dioxine und Furane (PCDD/Fs), polychlorierte Biphenyle (PCBs), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs), die Pestizide DDT mit Metaboliten (DDX), Chlorbenzene (CBz) und Hexachlorcyclohexan (HCH) sowie Schwermetalle, andere Elemente und Bleiisotope analysiert.

Für die Zuordnung von potentiellen Quellen zu den untersuchten Proben wurden Elementmuster, Isomerenmuster und Homogenprofile gegenübergestellt sowie quellspezifische Indikatorkomponenten zusammengestellt und verglichen. Die Korrelationsanalyse wurde zur Identifizierung von Zusammenhängen zwischen verschiedenen Schadstoffen eingesetzt, um damit übergreifenden Quellgruppen zu ermitteln. Die Diskriminanzanalyse diente der Ermittlung systematischer Unterschiede zwischen Probengruppen und Branchen. Mit der Clusteranalyse wurde die Ähnlichkeit von Proben und Schadstoffen verglichen und mit der Faktorenanalyse grundlegende Quellen identifiziert.

Die Sielhautproben konnten basierend auf Elementmustern und Indikatorelementen einzelnen Branchen zugeordnet werden und auch zur Vorhersage der Branchenzugehörigkeit verwendet werden. Anhand der Bleiisotopenverteilung der Sielhäute konnten verschiedene Bleiquellen differenziert werden. Die Dioxin- und Furanverteilungen der Sielhäute erlaubten es, die wichtigsten PCDD/F-Quellen hinsichtlich ihrer Bedeutung zu gewichten.

Die unterschiedlichen Einflüsse auf die fünf Sedimentkerne spiegelten sich eindeutig in deren Schadstoffmuster wieder und erlaubten für die einzelnen Schadstoffgruppen die Bedeutung der jeweiligen Quellen zu ermitteln. Schadstoffübergreifend wurden vier Quellen identifiziert: zwei unterschiedliche Verbrennungsquellen, eine chemische Quelle und eine Hintergrundquelle.

Beim Vergleich der Ergebnisse der Mustererkennung mit Inventaren zeigten sich für die Bedeutung von Punktquellen vs. diffuse Quellen bei den Elementen in Sielhäuten und beim Vergleich atmosphärischer Emissionen mit Eintragsraten ins Sediment gute Übereinstimmungen.

Damit konnten Mustererkennungsverfahren mit Hilfe multivariater Statistik erfolgreich für Wassermatrices eingesetzt werden. Diese stehen nun der Indirekteinleiterüberwachung und der Umweltforschung als vielversprechende Methodik zur Quellenidentifizierung zur Verfügung.

SUMMARY

Pollutants in municipal sewage and sediments are potentially emitted by a variety of sources. The identification of their sources is a complex task.

Here, sewer biofilm samples were sampled as an indicator of the pollution level in municipal sewage of thirteen German cities and sediment cores were sampled at five sampling locations influenced by different types of sources. Dioxins and furans (PCDD/Fs), polychlorinated biphenyls (PCBs), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), the pesticides DDT and its metabolites (DDX), chlorobenzene (CBz) and hexachlorohexane (HCH) as well as heavy metals, other elements and lead isotopes were analysed.

To attribute the analysed samples to potential sources, elemental patterns, isomeric patterns and homologue profiles were compared, and source-specific indicator components were identified. Correlation analysis was applied to identify how different pollutants were related to each other and these were aggregated to fundamental sources. Discriminant analysis was used to determine systematic differences between sample groups and industrial branches. Cluster analysis was applied to compare the structural similarity of samples and of pollutants and with the factor analysis underlying sources were identified.

It was possible to relate sewer biofilm samples according to their element patterns and indicator elements to certain branches and to predict the responsible branch thereof. Based on the lead isotopic ratios of the sewer biofilm samples, different lead sources could be separated. The PCDD/F patterns of the sewer biofilm samples allowed to weight the most important PCDD/F sources according to their importance.

Different source contributions to the five sediment cores were clearly visible in the pollutant patterns and allowed to determine the importance of the sources for each of the pollutant groups. Four main sources were identified, spanning all pollutants: two different incineration sources, one chemical source and one background source.

When comparing the pattern recognition results with those of the inventories, the relevance of point sources vs. diffuse sources for elements in sewer biofilm samples was similar. The comparison of atmospheric emissions with fluxes to the sediment showed similar results.

Therefore, pattern recognition methodologies including multivariate statistics were successfully applied. Now, these are available as a promising methodology for application in sewage pollution control and environmental sciences.

1 EINLEITUNG UND ZIELSETZUNG

Die Schadstoffbelastung von kommunalen Abwässern und Sedimenten ist aus verschiedenen Gründen in der Diskussion. Persistente Schadstoffe in Abwässern können über die Klärschlammausbringung und über die Kläranlagenabläufe in die Umwelt emittiert werden, letztlich über Boden und Nahrungskette bzw. über Gewässer zum Menschen gelangen und auch Ökosysteme beeinträchtigen. Sedimente bilden eine finale Schadstoffsenke von Einträgen aus Deposition und Gewässerzuflüssen. Die Rücklösung von Schadstoffen in die Wasserphase kann zur Schadstoffbelastung von Gewässern beitragen. Sedimente stellen ein Spiegelbild der historischen Emissionen persistenter Schadstoffe dar.

Ein breites Spektrum von Schadstoffen ist hinsichtlich human- und ökotoxikologischer Wirkungen relevant. Im Rahmen dieser Arbeit werden persistente anorganische und organische Schadstoffe untersucht und bewertet. Als anorganische Schadstoffe wurden Elemente[1], von einzelnen Schwermetallen bis hin zu einem breiten Elementspektrum analysiert. Ergänzend wurde beispielhaft die Isotopenverteilung von Blei analysiert und mit relevanten Bleiquellen verglichen. Von den organischen Schadstoffen[2] bildeten persistente (chlor)aromatische Verbindungen den Schwerpunkt: Dioxine und Furane (PCDD/Fs), polychlorierte Biphenyle (PCBs), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs) sowie die Pestizide Chlorbenzene (CBz), Hexachlorcyclohexan (HCH) und DDT mit Metaboliten (DDX).

Um eine nachhaltige Minderung der Schadstoffbelastung zu erzielen, sind im ersten Schritt die Schadstoffquellen zu identifizieren und anschließend deren Emissionen zu reduzieren. Thema dieser Dissertation ist die Quellenermittlung, die hier auf dem Ansatz der Mustererkennung basiert. Dabei werden die Schadstoffmuster der Proben mit denen potentieller Quellen verglichen. Anhand der Ähnlichkeit wird auf dominierende Quellen und mögliche Verursacher zurückgeschlossen. Es werden eine Reihe von Methoden eingesetzt und verglichen: grafische Methoden sowie univariate und multivariate Statistik. Ein direkter visueller Mustervergleich ist nur bei einer beschränkten Probenzahl und einer geringen Zahl betrachteter Schadstoffe sinnvoll anwendbar. Daher bildet hier auch die Anwendung multivariater chemometrischer Methoden einen Schwerpunkt. Deren Anwendbarkeit auf Fragestellungen der Wasserforschung wird getestet.

Seit Inkrafttreten von Schadstoffgrenzwerten im Abwasserbereich (Klärschlamm-verordnung, Indirekteinleiterverordnung) ist es zu deutlichen Abnahmen der Schadstoff-gehalte gekommen. Mit dieser Arbeit sollen die Möglichkeiten und Grenzen einer

[1] Hintergrundinformationen zu anorganischen Schadstoffen sind in WHO (1976), WHO (1977), WHO (1988), WHO (1989b), WHO (1989c), WHO (1991c), WHO (1992a), WHO (1992b) ausführlich erläutert.

[2] Die Hintergründe organischer Schadstoffe und ihre human- und ökotoxikologische Relevanz sind in WHO (1979), WHO (1989a), WHO (1989d), WHO (1991a), WHO (1991b), WHO (1993), WHO (1997), WHO (1998) ausführlich dargestellt.

weitergehenden Verringerung von Schadstoffbelastungen im Abwasser untersucht werden. Kläranlagenbetreibern und Abwasserverbänden sollen weitere Ansatzpunkte für die Minderung der Schadstoffgehalte von Einleitungen unter Zuhilfenahme neuer statistischer Methoden in die Hand gegeben werden.

Als Probenmatrix für die Untersuchung von kommunalen Abwässern wurden überwiegend Sielhäute gewählt. Diese erfassen auch Schadstoffbelastungen, die schon Tage und Wochen vorher eingeleitet wurden (Memory-Effekt). Sielhäute ermöglichen auch die Analyse von Schadstoffen, die nur in geringen Konzentrationen im Abwasser zu finden sind (Nachweisstärke), und erfordern einen vergleichsweise geringen Aufwand bei der Probenahme[3].

Eine Vielzahl von Sedimenten wurde bisher auf ein breites Schadstoffspektrum untersucht. Schwerpunkte bildeten bisher die Änderung der Gehalte über die Tiefe und die Unterschiede zwischen verschiedenen Orten. Nur in wenigen Studien wurde die Analyse einer großen Zahl von Schadstoffen im Tiefenprofil mit einer intensiven Ursachenforschung kombiniert. Dieser Aspekt bildet den Schwerpunkt des Sedimentteils dieser Arbeit, wobei für mehrere Probennahmeorte mit unterschiedlichen Einflüssen in der Umgebung ein breites Spektrum an Quellenermittlungsmethoden angewendet und verglichen wird.

Ziel der Arbeit ist es letztlich, denen verbesserte Methoden zur Quellenidentifizierung an die Hand zu geben, die Schadstoffbelastungen erforschen und deren Minderung anstreben. Der Erfolg dieser Anstrengungen hängt aber letztlich nicht nur von der Ursachenforschung sondern wesentlich von der Umsetzung der Ergebnisse und der Reduktion der Emissionen ab.

Struktur der Arbeit. Nach einführenden Erläuterungen zur Zielsetzung und zum Hintergrund (Kapitel 1 und 2) folgen die abwasserbezogenen Untersuchungen mit dem Schwerpunkt Sielhäute in Kapitel 3. Welche Elemente in den Sielhäuten nachgewiesen wurden und welche Branchen und Herkunftsbereiche dafür verantwortlich waren, wird im Abschnitt 3.1 erläutert. Die Isotopenverteilung von Blei wird für deren Quellenzuordnung genutzt, dies ist in Abschnitt 3.2 zu finden. In Abschnitt 3.3 werden die Auswertungen der Dioxinanalysen in den Sielhäuten im Detail beschrieben.

Die Auswertungen der Sedimentanalysen sind in Kapitel 4 zusammengefasst. In Abschnitt 4.1 sind die Dioxinanalysen und ihre Auswertungen erläutert, in Abschnitt 4.2 die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAKs), in Abschnitt 4.3 die polychlorierten Biphenyle (PCBs) und in Abschnitt 4.4 die untersuchten Pestizide DDT mit Metaboliten (DDX), Chlorbenzene (CBz) und Hexachlorcyclohexan (HCH). Als Elemente wurde schwerpunktmäßig eine kleine Zahl ausgewählter Schwermetalle analysiert und ausgewertet (siehe Abschnitt 4.5). Die einmalige Breite der hier in den Sedimenten

[3] Die Beprobung von Sielhäuten im Vergleich zu anderen Matrices ist ausführlich in Abschnitt 5.1 auf S. 125 diskutiert.

analysierten Schadstoffe ermöglicht es, Zusammenhänge zwischen den Schadstoffgruppen herzustellen, diese sind in Abschnitt 4.6 erläutert.

Es wurden auch einige medien- und fächerübergreifende Aspekte erarbeitet, diese sind als Diskussion in Kapitel 5 zusammengestellt. Die Zusammenfassung und Schlussfolgerungen sind Kapitel 6 zu entnehmen. Es folgt eine Erläuterung des experimentellen Vorgehens und der angewendeten Methoden in Kapitel 7. Das Literaturverzeichnis ist in Kapitel 8 zu finden. Kapitel 9 bis 11 enthalten umfangreiche Anhänge mit Ergänzungen zum Hauptteil sowie Dokumentationen von Massenfragmentogrammen und Messwerten.

2 HINTERGRUND

2.1 KOMMUNALE ABWÄSSER UND SIELHÄUTE

Die Schadstoffbelastung in Abwässern und Klärschlämmen ist mindestens seit den achtziger Jahren durch die Ausbringung von Schadstoffen mit der Klärschlammverwertung und in den letzten Jahren auch zunehmend im Zusammenhang mit Kläranlagenabläufen[4] und ihren Emissionen in Gewässer und Meere in der Diskussion. Um die Schadstoffbelastung von Einleitungen zu ermitteln, dienen Abwässer, Klärschlämme oder Sielhäute[5] als Probenmatrix, gelegentlich werden aber auch spezielle Probenehmer[6] eingesetzt. Sielhäute wurden für die Quellenermittlung von Schwermetallen[7], Dioxinen und Furanen (PCDD/Fs)[8], adsorbierbaren organischen Halogenverbindungen (AOX)[9] und anderen organischen Schadstoffen[10] verwendet.

Gutekunst[11] hat hinsichtlich der Beprobung von Sielhäuten grundlegende Pionierarbeit geleistet, die von anderen Autoren[12] vertieft wurde. Inzwischen wurden in Bielefeld[13] und Zürich[14] umfangreiche Sielhautkataster erstellt und ein längerfristiges Sielhautmonitoring etabliert.

Hauptansatz dieser Untersuchungen war es, anhand von Unterschieden in der Belastungshöhe wesentliche Verursacher zu ermitteln. Meist wurden nur einzelne oder wenige Schadstoffe gleichzeitig bestimmt, so dass Mustererkennungsverfahren hier nicht anwendbar waren. Am häufigsten wurden dabei grafische Methoden zur Mustererkennung verwendet. Beispielsweise hat Hengstmann (1991) die PCDD/F-Einträge einer kleinstädtischen Kläranlage untersucht und dabei die PCDD/F-Homologenprofile und

---

[4] vgl. HELCOM (2001), OSPAR (2001)

[5] Unter Sielhaut wird die biologische Matrix verstanden, die sich aus Abscheidungen des Abwassers bildet und sich am Kanalrohr anlagert. Für eine genauere Erläuterung siehe Abschnitt 7.1 auf S. 150.

[6] vgl. Koppe und Jabs (1987), Reid und McEvoy (1987)

[7] vgl. Boës und Caspary (1987), Cichos und Singliar (1994), Cremer und Rolfs (1988), Gutekunst und Moser (1995), Horning und Sbieschni (1991), Mattson (1998)

[8] vgl. Hartmann und Scheerer (1997), Hengstmann (1991), Koch (1995), Rieger und Ballschmiter (1992), Weber et al. (1991)

[9] vgl. Laschka und Trumpp (1991)

[10] vgl. Antusch et al. (1995), Antusch et al. (1996)

[11] vgl. Gutekunst (1988)

[12] vgl. Flemming und Ruck (1990)

[13] vgl. Genuit und Wende (1997)

[14] vgl. Gutekunst und Rüegge (1995), Roth und Cöteli (1995), Sommer (1995)

Isomerenmuster verglichen. Multivariate statistische Verfahren wurden bisher nur in wenigen Fällen in diesem Zusammenhang verwendet. So hat Kintrup[15] die Einleiter von Elementen einer kommunalen Kläranlage mit Sielhäuten als Probenahmematrix unter Anwendung multivariater statistischer Methoden ermittelt. She (1992) hat zur Quellenidentifizierung von PCDD/F u.a. in Klärschlämmen die Hauptkomponentenanalyse und die Clusteranalyse eingesetzt. Horstmann (1994) konnte mit Hilfe von Mustererkennungsverfahren Textilien als wichtige PCDD/F-Quelle kommunaler Klärschlämme identifizieren.

Diese Arbeit deckt damit erstmals ein breites Spektrum von anorganischen und organischen Schadstoffen für eine Vielzahl von Branchen ab und erläutert die Möglichkeiten und Grenzen der Anwendung von multivariaten statistischen Verfahren für die Indirekteinleiterkontrolle.

2.2 SEDIMENTE

Die Akkumulation von Schadstoffen in Sedimenten ist ein weithin bekanntes Phänomen. Eine Vielzahl von Schadstoffen, u.a. Schwermetalle[16], Dioxine und Furane[17], PCBs[18], PAKs[19] und Pestizide[20] wurden bereits in Sedimenten analysiert. Es wurden Gehalte in oberflächennahen Sedimenten verglichen, aber auch Sedimentkerne zur Ermittlung von Tiefenprofilen analysiert. Neben den üblichen Mustererkennungsverfahren basierend auf Element- und Homologenprofilen wurden von manchen Autoren auch multivariate statistische Verfahren eingesetzt.

So konnten Kjeller und Rappe (1995) die Veränderungen der PCDD/F-Muster mit der Tiefe unter Verwendung der Hauptkomponentenanalyse auf Unterschiede in den Schadstoffquellen zurückführen. Cacela et al. (2002) konnten für PCBs in Sedimentproben einer Bucht mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse und der Clusteranalyse die verursachenden Einleitungen identifizieren. Strandberg et al. (1998) haben die

---

[15] vgl. Kintrup (1999), Kintrup und Wünsch (2001a), Kintrup und Wünsch (2001b)

[16] vgl. Kähkönen et al. (1998), Pachur et al. (1993), Schintu und Degetto (1999), Terytze (1993), von Gunten et al. (1997)

[17] vgl. Bruckmeier et al. (1997), Dannenberger et al. (1997), Evers et al. (1993), Fiedler et al. (1996), Götz et al. (1994), Hagenmaier et al. (1986), Jüttner et al. (1997), Kjeller und Rappe (1995), Pearson et al. (1997), Ricking und Terytze (1995), Sakurai et al. (2000), Schramm et al. (1995), Schramm et al. (1997), Wenning et al. (1993)

[18] vgl. Bavel et al. (1995), Brown et al. (1987), Bruckmeier et al. (1997), David et al. (1994), Gunkel et al. (1995), Kjeller und Rappe (1995), Rachdawong et al. (1998a), Ricking und Schulz (2002), Vanier et al. (1996), West und Hatcher (1980)

[19] vgl. Benlachen et al. (1997), Gschwend und Hites (1981), Rachdawong et al. (1998b), Simcik et al. (1996), Simpson et al. (1988), Tolosa et al. (1996), van Zoest und van Eck (1993), Yunker et al. (1996)

[20] vgl. Muir et al. (1995)

Hauptkomponentenanalyse für Analyseergebnisse von Organochlorpestiziden in Ostseesedimenten eingesetzt, dabei konnten Musterunterschiede zwischen küstennahen und küstenfernen Proben nachgewiesen werden. Yunker et al. (1996) konnten für die PAK-Belastung von Sedimentproben mit Hilfe der Hauptkomponentenanalyse zeigen, welche PAK-Quellen für die Schadstoffeinträge verantwortlich sind.

Die hier erläuterten Studien und eine Reihe ähnlich ausgerichteter Arbeiten haben die Belastung von Sedimenten einer Schadstoffgruppe mit Hilfe multivariater statistischer Verfahren ausgewertet. Die chemischen Analysen beschränken sich allerdings auf einzelne Schadstoffgruppen, ohne dass Querbezüge zu anderen Schadstoffen hergestellt oder schadstoffübergreifende Schlussfolgerungen gezogen werden konnten. Aufgrund der Vielzahl der in dieser Arbeit analysierten Schadstoffe können hier weitergehende Auswertungen durchgeführt werden.

Es wird ein breites Spektrum von persistenten organischen Schadstoffen (POPs) und Schwermetallen in Sedimenten analysiert, die es erlauben, auch gemeinsame schadstoff-übergreifende Quellen zu ermitteln. Auch werden eine Reihe von univariaten und multivariaten Methoden zur Quellenermittlung eingesetzt, die einen umfassenden Vergleich dieser Methoden erlauben. Darüber hinaus werden für einen nur durch Deposition beeinflussten Sedimentkern die Schadstoffeintragsraten mit den entsprechenden Emissionsinventaren verglichen. Damit bieten die hier analysierten Sedimentproben hervorragende Voraussetzungen, Schadstoffeinträge der untersuchten Sedimente und ihre Quelleinflüsse umfassend auszuwerten.

3 SCHADSTOFFE IN SIELHÄUTEN

Um eine Übersicht über die Schadstoffgehalte in kommunalen Abwässern zu erhalten, wurden in mehreren deutschen Städten umfangreiche Sielhautbeprobungen durchgeführt[21]. In den untersuchten Proben wurden Elemente, Bleiisotopenverhältnisse sowie Dioxine und Furane (PCDD/Fs) analysiert. In Abschnitt 3.1 sind die Ergebnisse für die Elemente, in Abschnitt 3.2 die Resultate der Bleiisotopenanalysen und in Abschnitt 3.3 die Auswertung für die Dioxine und Furane erläutert.

3.1 ELEMENTE IN SIELHÄUTEN

In den 373 gemessenen Proben wurden jeweils bis zu 66 Elemente analysiert. In den folgenden Abschnitten werden die Elementgehalte in den Sielhäuten erläutert. Für die analysierten Elemente wird der Einfluss möglicher Quellen diskutiert. Für ausgewählte Branchen wird deren charakteristische Elementzusammensetzung vorgestellt. Für die weitergehende chemometrische Auswertung wird die Korrelationsanalyse, Faktoren-analyse, Clusteranalyse und Diskriminanzanalyse angewendet.

3.1.1 Verteilung der Gehalte

Eine Übersicht über die Verteilung der Gehalte ist Tabelle 50 auf Seite 192f zu entnehmen. Sie zeigt den Gehalt auf Basis der Trockenmasse in mg pro kg Trockenmasse an. Die Einzelergebnisse der Analyse aller Proben sind im Abschnitt 11.1 auf Seite 336 im Anhang zu finden.

Calcium war das Element mit den höchsten Gehalten: 60.000 mg/kg Trockenmasse (TM). Elemente mit sehr niedrigen Gehalten (≤ 0,1 mg/kg TM) waren Lutetium, Platin und Rhenium. Nicht nachweisbar waren die Elemente Iridium, Osmium und Tellur. Die 66 analysierten Elemente decken ca. 19 % der gesamten Trockenmasse ab. Als wesentliche nicht analysierte Elemente verbleiben Wasserstoff, Kohlenstoff, Stickstoff, Sauerstoff, Silizium und Chlor. Darüber hinaus wurden die Elemente Scandium, Indium, Rhenium, und z.T. Yttrium und Bismuth als Standards zugesetzt. Deren Gehalte konnten deshalb nicht bestimmt werden.

Beim Vergleich der Gehalte eines Elements in den verschiedenen Sielhautproben fällt auf, dass die Verteilung einiger Elemente mit der Normalverteilung vergleichbar ist. Hier bestehen keine extremen Unterschiede zwischen den niedrig- und hochbelasteten Proben. Hierzu sind insbesondere die mit hohen Gehalten auftretenden essentiellen Elemente Kalium, Calcium und das akzidentielle Element Strontium zu rechnen. Beispielhaft sind in

[21] Die Vorgehensweise bei der Probenahme, Analyse und Auswertung ist in Abschnitt 7 auf Seite 150ff ausführlich dargestellt.

Bild 1 und Bild 2 die Box-Whisker-Plots und die Histogramme von Calcium und Strontium dargestellt.

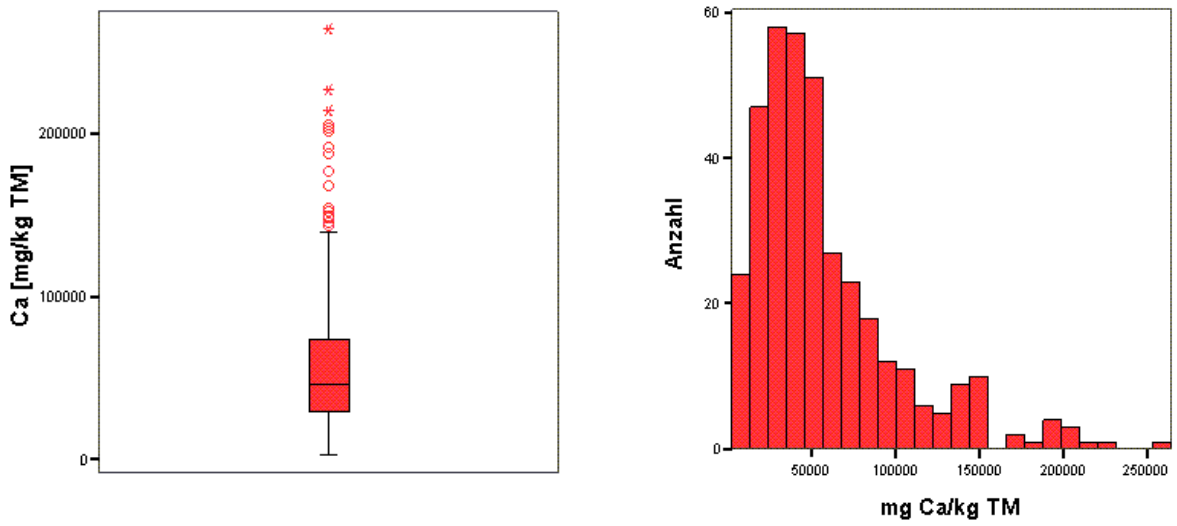


Bild 1 Box-Plot und Histogramm der Calciumgehalte in Sielhäuten (N=373)

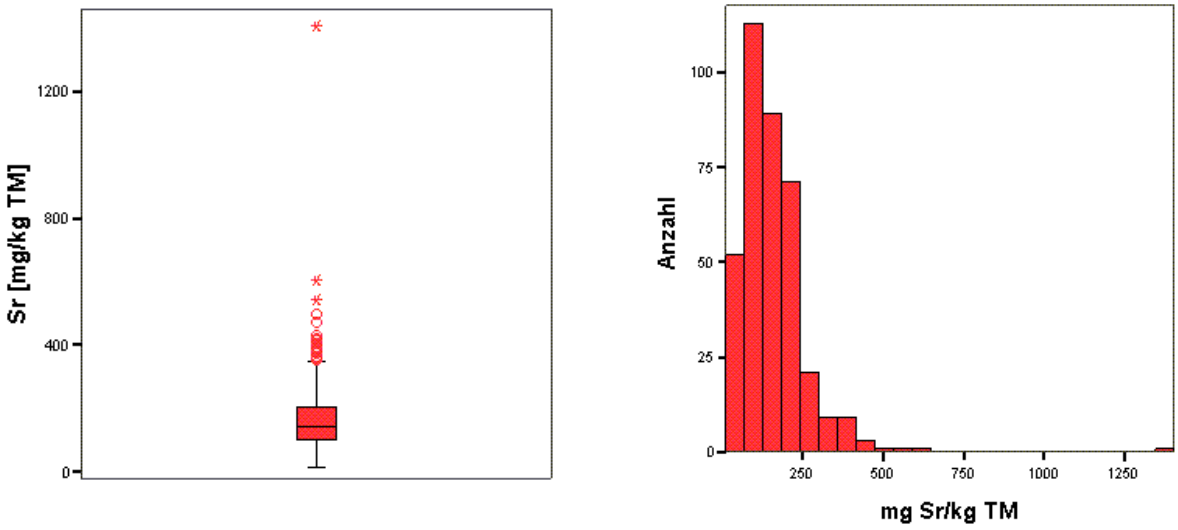


Bild 2 Box-Plot und Histogramm der Strontiumgehalte in Sielhäuten (N=373)

Für eine Vielzahl von Spurenelementen, die auch industrielle Verwendung finden, fällt demgegenüber auf, dass eine schiefe Verteilung mit vielen vergleichsweise niedrigen Gehalten und einer geringen Zahl von hohen bis sehr hohen Gehalten festzustellen ist. Hier kann die Belastung der Proben mit dem höchsten Gehalt um den Faktor 10000 und mehr über den Proben mit dem niedrigsten Gehalt liegen. Beispiele sind Thorium, Quecksilber und Silber. Ähnliches gilt für das Verhältnis des 90 % Perzentil-Gehaltes zu dem 10 % Perzentil-Gehalt. Das Verhältnis liegt üblicherweise im Bereich von 10. Für

anthropogene Spurenelemente kann dieses Verhältnis allerdings auch Werte über 30 erreichen. Elemente mit extrem schiefen Verteilungen sind hier Zinn, Wolfram, Hafnium, Quecksilber und Gold. Die genannten Werte für alle Elemente sind Tabelle 50 auf S. 192f bzw. dem Abschnitt 11.1 auf S. 336 im Anhang zu entnehmen. In Bild 3 und Bild 4 sind als Bespiel die Box-Whisker-Plots und Histogramme von Blei und von Quecksilber dargestellt.

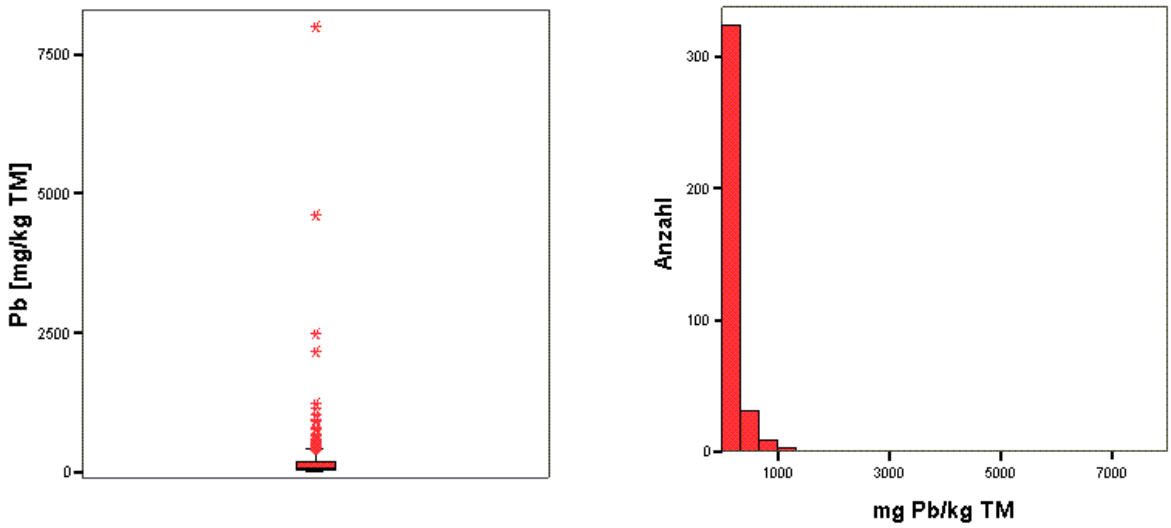


Bild 3 Box-Plot und Histogramm der Bleigehalte in Sielhäuten (N=373)

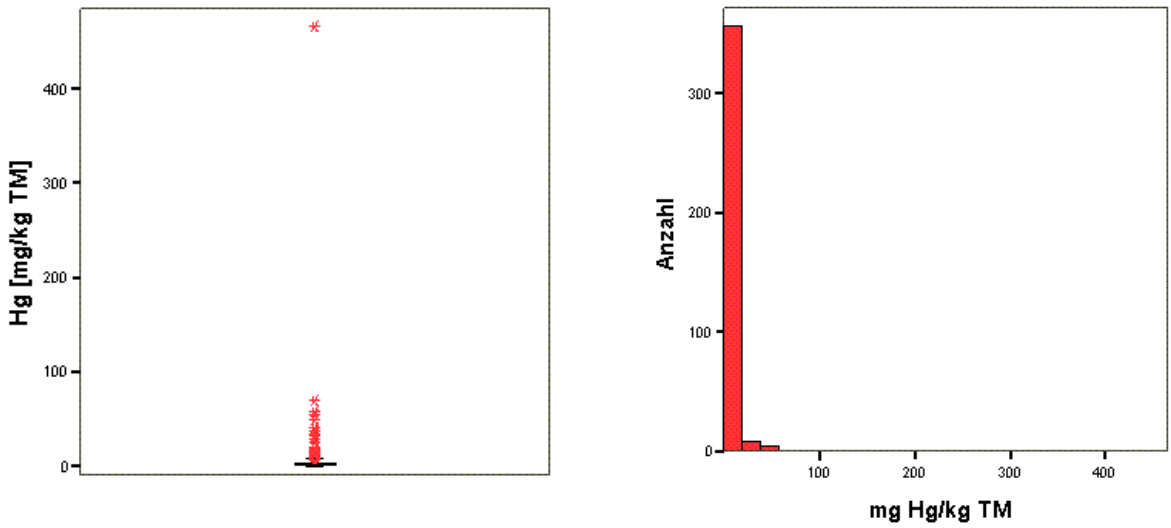


Bild 4 Box-Plot und Histogramm der Quecksilber in Sielhäuten (N=373)

Neben der Bestimmung der Trockenmasse wurde für die meisten Proben ebenfalls der Glührückstand bzw. Glühverlust bestimmt. Damit kann die Anreicherung der Schadstoffe in der organischen Matrix bzw. gegenüber den Durchschnittsgehalten der Erdkruste besser ermittelt werden. Falls Sandpartikel mit in die Probe gelangt sind, ist darüber eine

adäquatere Ermittlung der organischen Fraktion möglich. Tabelle 51 auf S. 194f und Tabelle 52 auf S. 196f geben eine Übersicht über die Gehalte in den Sielhautproben bezogen auf den Glühverlust (GV) und den Glührückstand (GR).

3.1.2 Unterschiede in den Elementgehalte von Proben einzelner Branchen

Um zu testen, ob die Unterschiede in den Gehalten der Proben im Abstrom verschiedener Branchen signifikant sind, wird im Folgenden der Mann-Whitney-Test angewendet[22]. Es werden die folgenden Branchen näher betrachtet: Deponien (N=6), Druckereien (N=8), Elektrotechnik/Elektronik (N=8), Forschung (N=15), Grauwasser (N=9), Galvanik (N=14), Krankenhaus (N=12), Kfz-Werkstatt (N=24), Metallbe- und –verarbeitung (N=35), Nahrungsmittelindustrie (N=7), Verkehrsbetriebe (N=8), Wäscherei (N=8) und Wohngebiet (N=22).

Mit dem Kruskal-Wallis-Test[23] erreichen beim Vergleich der obigen Branchen nur die Elemente Fluor, Kalium, Calcium, Strontium, Lanthan, Cer, Praseodymium und Neodymium nicht das Signifikanzniveau der Irrtumswahrscheinlichkeit α von 0,05. Bei diesen Elementen ist anzunehmen, dass die dreizehn Probengruppen[24] einer gemeinsamen Grundgesamtheit entstammen. Demgegenüber ist es für alle übrigen Elemente wahrscheinlich, dass diese nicht einer gemeinsamen Grundgesamtheit entstammen.

Eine Reihe von Einleitergruppen zeigen signifikante Unterschiede in den Elementgehalten im Vergleich zur Gesamtheit der Proben. In Tabelle 1 sind die Elemente dargestellt, für die Elementgehalte ausgewählter Einleitergruppen signifikant höher bzw. niedriger sind.

Hier zeigt sich, dass insbesondere die Proben im Abstrom von Kfz-Werkstätten, von Galvaniken, der Elektrotechnik/Elektronik, der Metallbe- und –verarbeitung und von Wäschereien erhöhte Gehalte einer Reihe von Metallen aufweisen. Demgegenüber zeichnen sich die Sielhäute aus Wohngebieten, von Grauwasseranlagen und der Nahrungsmittelindustrie durch niedrige Belastungen für eine Reihe von Elementen aus. Für die Elementgehalte der ausgewählten Einleitergruppen konnte im Einzelnen Folgendes festgestellt werden.

---

[22] Details zur Methodik sind in Abschnitt 7.4.2 auf S. 167 erläutert.

[23] Details zur Methodik sind in Abschnitt 7.4.2 auf S. 167 erläutert.

[24] Als separate Probengruppen werden die zwölf Einleitergruppen und zusätzlich alle übrigen Proben als eine Probengruppe betrachtet.

Tabelle 1 Ergebnisse des Mann-Whitney-Tests: Signifikante Unterschiede der Elementgehalte von Sielhäuten ausgewählter Einleitergruppen; Signifikanzniveau der Irrtumswahrscheinlichkeit α = 0,05

Branche	signifikant niedriger	signifikant höher
Deponie	Cu, Mo, Ag, Cd, Sb, Pb	B, Mn, Fe, Ge, As, Br, Zr, I, Ba, Hf
Druckerei	Pt	Ag
Elektrotechnik/Elektronik		Co, Ni, Cu, Mo, I, Ce, Eu, W, Pt, Th
Forschung	Zr, Hf, Th	P, Se, Ag, Cd, Pt, Hg, Tl
Grauwasser	Li, Be, Mg, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ga, Ge, Rb, Nb, Cd, Sb, Cs, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, W, Tl, Th	Cu, Br, Rh, I, Au
Galvanik		Be, B, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ru, Rh, Cd, Sn, Au, Hg, Pb
Krankenhaus	Fe, Ni, Mo	I, Ba, Eu, Pt, Hg
Kfz-Werkstatt	Na, Ag, Au, Hg	Li, Be, Mg, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Rb, Zr, Nb, Mo, Rh, Cd, Sn, Sb, Cs, Sm, Eu, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Tl, Pb, Th, U
Metallbe- und –verarbeitung	K, Se	Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Mo, Cd, Hf, W, Pb
Nahrungsmittelindustrie	Co, Cu, Ga, As, Se, Mo, Rh, Cd, Sb, Au, Hg, U	F, S
Verkehrsbetriebe	K, Br, Se, Ag, Au	Fe, Ru, Cd
Wäscherei	Li, K, Se, Rb, Cs, Ho, Tl	Na, P, Co, Ni, La, Ce, Pr, Nd, W, Pt, Au
Wohngebiet	Li, Mg, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Br, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, Cs, Hf, Pb	B, Al, P, Ga, Se, Br, Sr, Au

Sielhäute im Abstrom von **Deponien** zeichnen sich durch erhöhte Gehalte von Halogenen (Brom, Jod) und von Elementen aus, die unter anaeroben Bedingungen stärker in Lösung gehen und unter aeroben Bedingungen als Oxide ausfällen. Ebenfalls erhöht war Arsen. In Sielhäuten von Deponien liegen die Gehalte einiger Schwermetalle signifikant niedriger: Kupfer, Molybdän, Silber, Cadmium, Antimon und Blei. Falls diese Metalle in der Deponie in Lösung gegangen oder freigesetzt sein sollten, ist zu erwarten, dass diese Metalle in der Deponiesickerwasserbehandlung entfernt wurden.

Die Sielhäute im Abstrom von **Druckereien** zeigten nur geringe Abweichungen in den Elementgehalten von der Grundgesamtheit. Silber war signifikant erhöht, Einzelproben erreichten 3900 mg Ag/kg TM. Silber wird im Reprobereich von Druckereien verwendet. Platin war niedriger als in anderen Sielhautproben.

Sielhäute im Abstrom **elektrotechnischer/elektronischer Betriebe** sind für einige Metalle höher belastet als die Sielhäute von anderen Probenahmeorten. Von den in der Klärschlamm-Verordnung (KlärSV) erfassten Metallen sind dies Nickel und Kupfer. Von den Lanthanoiden sind Cer und Europium erhöht. Als weitere bioakkumulierende Metalle gilt dies ebenfalls für Kobalt, Molybdän, Wolfram und Platin sowie Jod.

In Sielhäuten im Abstrom von **Forschungseinrichtungen** waren einige Spurenmetalle erhöht: Silber, Cadmium, Platin, Quecksilber und Thallium. Diese Metalle finden in Geräten Verwendung bzw. werden in Versuchen eingesetzt. Eine Reihe von Sielhautproben hatten Gehalte von über 10 mg Hg/kg TM, eine Einzelprobe sogar 470 mg Hg/kg TM.

Die Sielhautproben aus **Grauwasseranlagen** zeigten für eine Vielzahl von Elementen niedrigere Werte als die übrigen Sielhautproben, insbesondere Seltenerdenmetalle und Lanthanoide. Erhöht waren insbesondere Kupfer (Einzelproben bis 31.000 mg Cu/kg TM) und die Halogene Brom und Jod. Eine plausible Erklärung für die hohen Kupfergehalte ist der Einsatz von Kupferleitungen in der Hausinstallation[25].

Die Sielhautproben im Abstrom **galvanischer Betriebe** zeigen für eine Reihe von Schwermetallen erhöhte Belastungen. Neben den in der KlärSV erfassten Metalle Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Cadmium, Quecksilber und Blei betrifft dies einige weitere Elemente: Kobalt, Zinn und Gold. Diese Elemente sind Metalle üblicherweise für die Anwendung in galvanischen Prozessen. Einzelproben erreichen 2.000 mg Cr/kg TM, 7.200 mg Ni/kg TM, 8.200 mg Cu/kg TM, 114.000 mg Zn/kg TM, 12 mg Cd/kg TM, 18 mg Hg/kg TM und 2.200 mg Pb/kg TM. Dies zeigt, dass trotz Abwasservorbehandlung die Schwermetallgehalte im Abwasser galvanischer Betriebe immer noch weit über den Gehalten häuslicher Abwässer liegen.

In Sielhäuten im Einflussbereich von **Krankenhäusern** befindet sich mehr Jod, Barium, Europium, Platin und Quecksilber als in Proben anderer Herkunft. Dies ist entweder auf den Einsatz von Präparaten zurückzuführen, die die jeweiligen Elemente enthalten

[25] Aufgrund der geringen Zahl beprobter Grauwasseranlagen sind allerdings Verallgemeinerungen nur in begrenztem Maße möglich.

(Beispiel: Jod in Röntgenkontrastmitteln[26]) oder auf den Einsatz entsprechender Chemikalien im Laborbereich, z.B. Quecksilber.

Die Sielhäute im Abstrom von **Kfz-Werkstätten** entpuppen sich ebenfalls als stark belastet mit einer Vielzahl von Elementen. Von den in der KlärSV geregelten Metallen sind Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Cadmium und Blei betroffen. Für eine Reihe von Lanthanoiden sind die Belastungen ebenfalls vergleichsweise hoch: Samarium, Europium, Thulium, Ytterbium und Lutetium. Für die in der KlärSV geregelten Metalle sind die maximalen Gehalte in Tabelle 2 angegeben.

Tabelle 2 Höchste Gehalte einiger Schwermetalle in den Sielhautproben im Abstrom von Kfz-Werkstätten

Element	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Pb
Gehalt (mg/kg)	280	650	6400	13000	75	900

Damit zeigt sich, dass im Kfz-Bereich eine Vielzahl von klassischen und exotischen Elementen eingesetzt wird. Kfz-Werkstätten gehören damit zu den Problembereichen, wo eindeutig Handlungsbedarf besteht.

Für Betriebe der **Metallbe- und –verarbeitung** sind neben Mangan und Eisen eine Reihe von Metallen der KlärSV in deren Sielhäuten erhöht: Chrom, Nickel, Cadmium und Blei. Darüber hinaus waren folgende bioakkumulierende Metalle ebenfalls erhöht: Kobalt, Molybdän, Wolfram. Einzelproben erreichten 7.700 mg Cr/kg TM, 5.600 mg Ni/kg TM, 14 mg Cd/kg TM und 1.000 mg Pb/kg TM. Viele dieser Elemente sind übliche Metalle im Einsatz in metallbe- und –verarbeitenden Betrieben.

In Sielhautproben, die von der **Nahrungsmittelindustrie** beeinflusst sind, sind nur die Elemente Fluor und Schwefel signifikant erhöht. Signifikant niedriger liegen z.B. Kupfer, Arsen, Antimon und Gold.

In durch **Verkehrsbetriebe** beeinflussten Sielhautproben ist Cadmium besonders problematisch. Die Gehalte liegen oft bei mehreren mg Cd/kg TM mit bis zum 18 mg Cd/kg TM. Dies deutet auf den Einsatz cadmierter Werkstoffe hin. Signifikant niedriger liegen Kalium, Brom, Selen, Silber und Gold.

Wäschereien zeigen erhöhte Belastungen einer Reihe von exotischen Metallen in Sielhäuten. Neben den Edelmetallen Platin und Gold sind dies Kobalt, Nickel, Lanthan, Cer, Praseodymium, Neodymium und Wolfram. Diese stammen möglicherweise teilweise aus mit speziellen Hilfsstoffen ausgerüsteten Textilfasern (z.B. Farbstoffe), den eingesetzten Wasch- und Reinigungsmitteln und den von der Faser abgelösten Schmutzpartikeln.

In den Sielhäuten aus **Wohngebieten** sind eine Vielzahl von Elementen in geringerem Maße enthalten als in Sielhäuten aus anderen Einflussbereichen. Die in der KlärSV geregelten Metalle Chrom, Nickel, Zink, Cadmium und Blei liegen signifikant niedriger. Als

[26] Putschew et al. (2000)

Elemente mit erhöhten Gehalten wurden Bor, Aluminium, Phosphor, Gallium, Selen, Brom, Strontium und Gold ermittelt. Zumindest die ersten zwei Elemente sind in Wasch- und Reinigungsmitteln enthalten. Phosphor wird in bedeutenden Mengen mit den menschlichen Exkrementen eingetragen.

Damit erweisen sich insbesondere Kfz-Werkstätten, Galvaniken, aber auch Wäschereien und Betriebe der Elektrotechnik/Elektronik als Problembranchen. Während dies für galvanische Betriebe bekannt ist und die Abscheidung vorhandener Abwasservorbehandlungsanlagen zu verbessern ist, fehlt es in Kfz-Betrieben i.d.R. an entsprechenden Abwasservorbehandlungsanlagen. Um eine Senkung der Schadstoffbelastung von Klärschlämmen zu erreichen, wären für diese Branchen prioritär Maßnahmen erforderlich.

3.1.3 Elementgehalte in Sielhäuten und mögliche Ursachen für ihr Vorkommen

Eine Reihe der 66 untersuchten Elemente werden über die KlärSV, Indirekteinleiter-VO u.a. erfasst. Von anderen ist bekannt, dass sie anthropogen eingesetzt werden, es bestehen aber bisher keine ordnungsrechtlichen Regularien. Im Folgenden werden die Elemente der KlärSV mit ihren aus der Literatur[27] bekannten Einsatzbereichen und der Belastungssituation in den Sielhäuten vorgestellt. Für eine Diskussion aller untersuchten Elemente sei auf Koch und Rotard (2001) verwiesen.

Als Indikator, ob und in welchem Umfang die Sielhautbelastungen anthropogen bzw. industriell beeinflusst sind, werden die Anreicherung im Vergleich zur Erdkruste[28], die Schiefe der Verteilung[29] und der Variationskoeffizient[30] herangezogen. Hoch angereicherte Elemente mit einer überdurchschnittlich schiefen Verteilung und einem großen Variationskoeffizienten werden als stark anthropogen bzw. industriell beeinflusst eingestuft. Abgereicherte Elemente mit unterdurchschnittlich schiefer Verteilung und einem niedrigen Variationskoeffizienten gelten demgegenüber als wenig anthropogen bzw. industriell beeinflusst. Ein hoher Variationskoeffizient weist auf einem gezielten abwasserrelevanten Einsatz hin, während ein niedriger Variationskoeffizient auf eine ubiquitäre Verteilung hindeutet.

Blei (Pb). Blei gehört zu den klassischen Schwermetallen. In der KlärSV wird ein Grenzwert von 900 mg Pb/kg TM festgelegt. Für 9 der 371 Sielhautproben lagen die Gehalte darüber.

---

[27] Wesentliche Literaturquellen bildeten Adriano (1986), Bahadir et al. (1995), Holleman et al. (1985), Hulpke et al. (1993), Merian (1991), USGS (2001).

[28] Die Anreicherung basiert auf Angaben von Fluck und Heumann (1991). Das Berechnungsverfahren ist auf S. 198ff erläutert.

[29] Die Schiefe der Verteilung wird entsprechend Sachs (1997) berechnet.

[30] vgl. Sachs (1997). Die genaue Vorgehensweise zur Berechnung ist auf S. 198 erläutert.

Blei fand bis vor wenigen Jahren als Antiklopfmittel in Kraftstoffen eine breite Verwendung und wurde damit in großem Stil in die Umwelt emittiert. Blei war in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts ein weitverbreitetes Rohrmaterial für Trinkwasserleitungen und bis heute sind viele Altbauten mit Bleirohren ausgestattet. Bleihaltige Pigmente wurden früher ebenfalls in großem Umfang eingesetzt. Aktuelle Anwendungen sind Batterien, antikorrosive Anstriche, die Glasherstellung, Stabilisatoren von Kunststoffen und Munition. Die weltweite Verbrauchsmenge betrug 1982 5,2 Mio. t, davon wurden 3,7 Mio. t aus Erzen gewonnen und etwa 1,3 Mio. t aus Abfällen recycelt.

Blei ist in Sielhäuten üblicherweise im Bereich von 100 mg Pb/kg TM enthalten (Median: 73 mg Pb/kg TM, Einzelproben bis 8000 mg Pb/kg TM). Hohe Bleigehalte wurden in einer Probe im Abstrom eines Batteriefertigungsbetriebs (4600 mg Pb/kg TM), eines Dachablaufs (1200 mg Pb/kg TM), von Kfz-Werkstätten (10 von 24 Proben über 400 mg Pb/kg TM), einer nur von Regenwasser beeinflussten Probe (1100 mg Pb/kg TM und 2500 mg Pb/kg TM) und eines Verkehrsbetriebs (eine von acht Proben: 8000 mg Pb/kg TM).

Blei gehört zu den in den Sielhäuten gegenüber der Erdkruste überdurchschnittlich angereicherten Elementen. Die Schiefe der Verteilung ist für alle drei Schiefemaße überdurchschnittlich linkssteil. Der Variationskoeffizient ist überdurchschnittlich groß. Dieses alles weist auf vielfältige gezielte anthropogene Einsätze hin.

Chrom (Cr). Die jährliche Produktionsmenge von Chromerzen betrug Anfang der 80er Jahre 9 Mio. t (Gauglhofer und Bianchi 1991). Etwa 70 % des Chroms wird für Ferrochromstahl verwendet. Andere Einsatzgebiete sind die Lederherstellung, Metalloberflächenbehandlung, Katalysatoren und Pigmente.

Die Chromemissionen ins Abwasser werden für eine Reihe von Einleitern begrenzt. Um Klärschlamm landwirtschaftlich verwerten zu können, wird der maximale Chromgehalt auf 300 mg Cr/kg TM festgelegt.

In den Sielhäuten waren die Chromgehalte meist unter 200 mg Cr/kg TM (Median: 45 mg Cr/kg TM, Einzelproben bis 12.000 mg Cr/kg TM). Bei 14 von 373 Proben lag der Gehalt über 300 mg Cr/kg TM. Hohe Chromgehalte wurden im Abstrom einiger galvanischer Betriebe (7 von 14 Proben über 200 mg Cr/kg TM), von Kfz-Werkstätten (8 von 23 Proben über 200 mg Cr/kg TM), einzelner metallverarbeitender Betriebe (bis 7700 mg Cr/kg TM) und einiger Wäschereien (4 von 8 Proben über 200 mg Cr/kg TM). Hiermit bestätigt sich der Einsatz von Chrom in der Galvanik und als Chromstahl. Eine Probe beeinflusst durch eine Gerberei zeigte zwar höhere, aber keine extremen Chromgehalte.

Die Anreicherung von Chrom in den Sielhäuten liegt in einer ähnlichen Höhe wie für die Erdkruste. Die Verteilung ist überdurchschnittlich linkssteil und der Variationskoeffizient ist hoch. Damit zeigt sich, dass Chrom in abwasserrelevanten Anwendungen gezielt industriell eingesetzt wird.

Nickel (Ni). Nickel wird weltweit in Mengen von 700.000 – 900.000 t/a produziert (Sunderman und Oskarsson 1991). Eine Vielzahl von Legierungen enthält Nickel. Nickel wird in der Galvanik, zur Batterieherstellung, als Pigment, für medizinische und zahntechnische Prothesen, für Magnetbänder und als Katalysator eingesetzt.

Die Gehalte in den Sielhäuten betrugen meist unter 100 mg Ni/kg TM (Median: 28 mg Ni/kg TM, Einzelproben bis 7200 mg Ni/kg TM). In 21 Sielhautproben (5,7 %) wird der Grenzwert der KlärSV von 200 mg Ni/kg TM überschritten. Hohe Nickelgehalte (> 110 mg Ni/kg TM) waren in Sielhäuten folgender Quellbereiche feststellbar: Automobilindustrie, Elektrotechnik/Elektronik, Galvanik, Einzelproben von metallverarbeitenden Betrieben sowie Wäschereien. Von Galvanikbetrieben gingen die höchsten Belastungen aus.

Nickel ist durchschnittlich angereichert im Vergleich zur Erdkruste. Die Verteilung ist für das zweite und dritte Schiefemaß überdurchschnittlich linkssteil. Der Variationskoeffizient ist vergleichsweise hoch. Damit sind gewisse anthropogene Einflüsse erkennbar.

Kupfer (Cu). Die Jahresproduktion von Kupfer beträgt weltweit ca. 7 Mio. t Cu (Scheinberg 1991). Kupfer hat vielfältige Einsatzbereiche. Als Metall wird es für elektrische Leitungen, Wasserleitungen, Bedachungen sowie chemische und pharmazeutische Ausrüstungen verwendet. Kupfer wird für eine Reihe von Legierungen u.a. zusammen mit Zink, Zinn, Nickel und Aluminium eingesetzt. Kupferverbindungen werden als Biozid, in der Galvanik, für Schiffsanstriche, als Pigmente und in Solarzellen verwendet. Besonders abwasserrelevant erscheinen die Einsatzbereiche Wasserleitungen und als Dachmaterial.

In den Sielhäuten liegen die Gehalte meist im Bereich einiger hundert mg Cu/kg TM (Median: 270 mg Cu/kg TM, Einzelproben bis 31.000 mg Cu/kg TM). Für Klärschlämme zur landwirtschaftlichen Verwertung wird eine Maximalbelastung von 800 mg Cu/kg TM vorgeschrieben. Von den 373 Sielhautproben hatten 76 (20 %) einen Kupfergehalt von über 800 mg Cu/kg TM.

Erhöhte Kupferbelastungen wurden im Abstrom von Dachabläufen, Grauwasseranlagen, einzelnen Betrieben der Elektrotechnik/Elektronik, einzelnen Forschungseinrichtungen, Galvanikbetrieben, einem Krankenhaus, einem kupferverarbeitenden Betrieb, einigen Kfz-Werkstätten, einzelnen metallverarbeitenden Betrieben, einem Pharmabetrieb und einer Wäscherei festgestellt. Die Proben aus Wohngebieten waren durchweg unterhalb des 90 % Perzentils von 1800 mg Cu/kg TM. Damit bestätigen sich einige industrielle Kupferanwendungen. Als Konsequenz aus dem Einsatz von Kupfer für Trinkwasserleitungen ist im Bereich der häuslichen Abwässer keine Erhöhung der Kupferbelastungen im Vergleich zu anderen Einleitergruppen nachweisbar.

Kupfer ist in den Sielhäuten gegenüber der Erdkruste angereichert. Alle Schiefemaße weisen auf eine stark überdurchschnittlich linkssteile Verteilung hin. Der Variationskoeffizient ist hoch. Damit ist ein erheblicher anthropogener Einfluss auf die Kupferbelastung in den Sielhäuten zu erkennen. Neben dem weitverbreiteten Einsatz von Kupfer,

der zu ubiquitären Einträgen führt, treten aber auch eine Reihe von hochbelasteten Proben auf, die auf gezielte Kupferanwendungen und –emissionen hinweisen.

Zink (Zn). Zink wird weltweit in Mengen von etwa 6 Mio. t/a produziert (Ohnesorge und Wilhelm 1991). Von Zink sind eine Vielzahl von Anwendungen bekannt. Gusseisen besteht zu einem erheblichen Teil aus Zink. Zu einer Reihe von Legierungen wird Zink zugesetzt. Wasserleitungen bestehen nicht selten aus verzinktem Eisen. Zink wird auch in Batterien, in Bedachungsmaterial sowie für Münzen eingesetzt. Zinkoxid ist ein Zuschlagsstoff in der Gummiherstellung und findet in der Halbleiterherstellung und in der synthetischen Chemie als Katalysator sowie als Zusatz in Farben, Kosmetik, Kunststoffen, Medikamenten und Druckfarben Verwendung. Zinksulfat wird als Herbizid, in der Viskoseherstellung und als Beizmittel in Färbereien eingesetzt. Zinkchlorid findet Anwendung als Trocknungsmittel und als Holzschutzmittel. Zinksulfid wurde oft als weißes Pigment und als Mittel mit fluoreszierender Wirkung verwendet.

Zink tritt auch als Beimetall in einer Reihe von industriellen Prozessen auf (z.B. bei der Eisen- und Stahlerzeugung oder in Kohle) und wird dabei über die Abluft in die Umwelt emittiert. Die Verwendung zinkhaltiger Produkte (z.B. in Reifen) ist ebenfalls emissionsrelevant. Für eine ubiquitäre abwasserrelevante Zinkbelastung dürfte der Einsatz in Wasserleitungen und in Bedachungsmaterial sowie in Form von Reifenabrieb sorgen. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass spezifische industrielle Einsatzbereiche von Zink zu Einträgen ins Abwasser führen.

Die Zinkgehalte lagen oft in einer Größenordnung von 1000 mg Zn/kg TM (Median: 1100 mg Zn/kg TM, Einzelproben bis 110.000 mg Zn/kg TM). In den Sielhautproben werden von 64 bzw. 79 Proben (17,3 % bzw. 21,3 %) die Grenzwerte der KlärSV in Höhe von 2500 bzw. 2000 mg Zn/kg TM überschritten. Hohe Zinkgehalte waren im Abstrom von Galvanikbetrieben (4 von 14 Proben über 4000 mg Zn/kg TM, bis zu 110.000 mg Zn/kg TM), Kfz-Werkstätten (11 von 24 Proben über 4000 mg Zn/kg TM), einigen metallverarbeitenden Betrieben (6 von 35 Proben über 4000 mg Zn/kg TM), Regenwasserbehandlungsanlagen (2 von 2 Proben über 6000 mg Zn/kg TM), Textilverarbeitungsbetrieben (1 von 4 Proben über 6000 mg Zn/kg TM) und Wäschereien (2 von 8 Proben über 4000 mg Zn/kg TM) anzutreffen. Die Sielhäute der Wohngebiete zeigten durchweg niedrige Zinkbelastungen (alle Proben unter 2000 mg Zn/kg TM).

Damit bestätigt sich der Zinkeinsatz und ihre Abwasserrelevanz im weiteren Zusammenhang der Metallindustrie und des Maschinenbaus (Galvanik, Automobil, Metallverarbeitung). Der Einfluss verzinkter Wasserleitungen auf die Zinkbelastung von Haushaltsabwässern konnte hier nicht nachgewiesen werden.

Zink ist in den Sielhäuten gegenüber der Erdkruste stark angereichert. Zink ist abhängig vom Schiefemaß mal überdurchschnittlich und mal unterdurchschnittlich linkssteil. Der Variationskoeffizient ist hoch. Damit ist insgesamt eine ubiquitäre anthropogene Belastung festzustellen, die weniger von einer geringen Anzahl hochbelasteter Proben als von einer breiten Zinkanwendung bzw. –kontamination bestimmt ist.

Cadmium (Cd). Cadmium tritt als Beimetall von Zink auf. Pro Jahr werden ca. 20.000 t Cd produziert (Stoeppler 1991). Anwendungsbereiche von Cadmium sind die Cadmierung in der Galvanik, die Verwendung als Anodenmaterial in Nickel-Cadmium-Akkus und das Löten und Hartlöten, als Kontrollstäbe in Nuklearreaktoren, als Stabilisator von PVC, als gelbes Pigment, in Halbleitern und in Bildröhren von Fernsehgeräten. Außerdem tritt Cadmium als Verunreinigung in Kohle und Erzmetallen auf, so dass Cadmium u.a. auch bei der Kohleverbrennung und durch metallurgische Prozesse emittiert wird.

In den Sielhäuten lagen die Cadmiumgehalten meist unter 8 mg Cd/kg TM (Median: 1,3 mg Cd/kg TM, Einzelproben bis 660 mg Cd/kg TM). Im Vergleich zur KlärSV liegen 28 Proben (7,5 %) über 10 mg Cd/kg TM und 49 Proben (13,2 %) über 5 mg Cd/kg TM.

Höhere Cadmiumgehalte traten im Abstrom von Elektrotechnik-/Elektronikbetrieben (2 von 8 Proben über 10 mg Cd/kg TM), Forschungseinrichtungen (4 von 15 Proben über 10 mg Cd/kg TM), Galvanikbetrieben (2 von 14 Proben über 8 mg Cd/kg TM), Kfz-Werkstätten (14 von 24 Proben über 8 mg Cd/kg TM), Verkehrsbetrieben (2 von 8 Proben über 8 mg Cd/kg TM) auf. Damit wird der fortdauernde abwasserrelevante Einsatz von Cadmium im Automobilbereich, in der Forschung und im Bereich Halbleiter/Galvanik deutlich.

Cadmium ist in den Sielhäuten im Vergleich zur Erdkruste wesentlich stärker angereichert als die meisten anderen Elemente. Die Verteilung ist tendenziell überdurchschnittlich linkssteil. Der Variationskoeffizient ist sehr hoch. Damit wird ein starker anthropogener Einfluss, insbesondere durch industrielle Anwendungen, auf die Cadmiumbelastung der Sielhäute deutlich.

Quecksilber (Hg). Die toxischen Wirkungen von Quecksilber sind z.T. seit Jahrhunderten bekannt (von Burg und Greenwood 1991). Im Jahre 1982 wurden etwa 6500 t Hg/a weltweit produziert. Als Kontamination wird Quecksilber bei der Verbrennung von fossilen Brennstoffen (Kohle, Öl) und der Chlor-Alkali-Elektrolyse in die Umwelt freigesetzt.

Quecksilber wird in verschiedenen Bereichen angewendet: Knopfzellen, technische und analytische Instrumente (Thermometer, Barometer, Schalter, Quecksilberdampflampen), in der Chloralkali-Elektrolyse, als Pestizid und Fungizid (z.B. in Spezialfarben), in Zahnfüllungen, in der Nukleartechnik, in medizinischen Präparaten mit antibiotischer Wirkung sowie als Farbpigment in Farben, Gummi und Kunststoffen. Damit werden eine Reihe von abwasserrelevanten Anwendungen von Quecksilber deutlich. Es ist aber unklar, ob diese Anwendungen im Wesentlichen ein Problem der Vergangenheit darstellen oder auch heute noch von Bedeutung sind.

In den Sielhäuten lagen die Quecksilbergehalte üblicherweise im Bereich weniger mg Hg/kg TM (Median: 1,2 mg Hg/kg TM, Einzelproben bis 470 mg Hg/kg TM). In Klärschlämmen zur landwirtschaftlichen Verwertung darf der Quecksilbergehalt 8 mg Hg/kg TM nicht überschreiten. In 39 der 373 Sielhautproben (10,5 %) wurde dieser Gehalt überschritten.

Hohe Quecksilbergehalte wurden in Sielhäuten im Abstrom eines Dentallabors (16 mg Hg/kg TM), von Elektrotechnik-/Elektronikbetrieben (2 von 8 Proben über 10 mg Hg/kg TM), Forschungseinrichtungen (6 von 15 Proben über 10 mg Hg/kg TM), Galvanikbetrieben (2 von 14 Proben über 10 mg Hg/kg TM), eines Kraftwerks (1 von 2 Proben über 10 mg Hg/kg TM), von Textilverarbeitungsbetrieben (1 von 3 Proben über 8 mg Hg/kg TM) und Wäschereien (2 von 8 Proben über 10 mg Hg/kg TM) ermittelt.

Quecksilber ist in den Sielhäuten im Vergleich zur Erdkruste stark angereichert. Die Schiefemaße II und III weisen auf eine extrem linkssteile Verteilung hin, während das erste Schiefemaß eher auf eine unterdurchschnittliche Schiefe hindeutet. Der Variationskoeffizient ist hoch. Damit ist ein weitreichender anthropogener Einfluss auf die Quecksilberbelastung der Sielhäute erkennbar, sowohl hinsichtlich einzelner hochbelasteter Proben als auch der ubiquitären Gesamtbelastungen.

Übersicht über die Elementgehalte. Die Belastungssituation für die Elemente in den Sielhäuten ist sehr unterschiedlich. Manche Elemente zeigen keine nennenswerte Anreicherung gegenüber der Erdkruste und ihre Verteilung ähnelt einer Normalverteilung. Andere wiederum sind gegenüber der Erdkruste stark angereichert und zeigen eine stark linkssteile Verteilung. Tabelle 53 auf S. 198 gibt eine Übersicht über die Anreicherungen gegenüber der Erdkruste, die Schiefe der Verteilung und die Größe des Variationskoeffizienten für die hier analysierten Elementgehalte in den Sielhäuten.

Beim Vergleich mit den Grenzwerten der KlärSV fallen besonders Kupfer und Zink dadurch auf, dass 20 % aller Sielhautproben höhere Gehalte aufweisen als die korrespondierenden Werte in der KlärSV (vgl. Tabelle 3). Für die Elemente Blei, Chrom und Nickel ist dies nur bei 5 % oder weniger der Proben der Fall. Für Kupfer und Zink stammt ein erheblicher Teil der Belastung aus Rohrleitungsmaterial (Koch und Rotard 2000). In den Proben aus reinen Wohngebieten waren für Kupfer und Zink keine erhöhten Belastungen festzustellen. Ein Erklärungsansatz ist, dass die organischen Frachten in Wohngebieten höher sind und damit die Schwermetalle bezogen auf die organische Substanz stärker verdünnt werden.

Tabelle 3 Prozentualer Anteil von Sielhautproben mit Gehalten über den Grenzwerten der KlärSV

Element	Cr	Ni	Cu	Zn	Cd	Hg	Pb
Anteil der Proben (%)	3,8	5,7	20	17,3 / 21,3	7,5 / 13,2	10,5	2,4

Insgesamt sind folgende Grundlinien zu erkennen[31]: Die in der KlärSV reglementierten Schwermetalle (Cr, Ni, Cu, Zn, Cd, Hg, Pb) zeichnen sich durchweg durch eine starke Anreicherung gegenüber der Erdkruste, eine deutlich linksschiefe Verteilung und einen hohen Variationskoeffizienten aus. Damit gehören diese Elemente auch weiterhin zu den

[31] Die anthropogenen Einflüsse sind ausführlich in Tabelle 53 auf S. 198 im Anhang dargestellt

problematischen Elementen mit wesentlichen anthropogenen bzw. industriellen Einflüssen.

Darüber hinaus bilden sich zwei weitere Problembereiche heraus: Die Halogene Brom und Jod zeigen ähnliche Charakteristika mit deutlichen anthropogenen bzw. industriellen Einflüssen wie obige Schwermetalle. Dies gilt auch für eine Reihe von Edelmetallen bzw. Platinmetallen. Sie zeigen eine hohe Anreicherung gegenüber der Erdkruste und hinsichtlich Verteilung und Variation oft merkliche anthropogene Einflüsse. Als wenig vom Menschen beeinflusst erweisen sich die Lanthanoide und viele Elemente mit niedrigen Ordnungszahlen wie z.B. Li, Be, Al, K, V.

Festzuhalten bleibt, dass die hier vorgenommene Charakterisierung der Elemente entsprechend ihrer Anreicherung, Verteilung und Variation nur einer groben Zuordnung dienen kann. Für eine genaue Bewertung einzelner Elemente sollten weitere chemisch-physikalische Charakteristika wie z.B. Wasserlöslichkeit, Dampfdruck, Henry-Konstante und andere Verteilungskoeffizienten berücksichtigt werden.

3.1.4 Korrelation der Elemente

In welchem Umfang verschiedene Elemente von einer Quelle gleichzeitig emittiert werden bzw. in welchem Umfang Elemente unabhängig von verschiedenen Quellen auftreten, hierfür wird die Korrelation der Elemente als ein Indikator verwendet. Wenn nur wenige Elemente signifikant korreliert sind, zeigt dies, dass einzelne Quellen nur wenige Elemente gleichzeitig emittieren und es möglich sein sollte, die verschiedenen Quellen voneinander zu trennen. Demgegenüber deutet eine Vielzahl signifikant korrelierter Elemente darauf hin, dass einzelne Quellen schwierig voneinander zu trennen sind.

Beispielhaft werden in Tabelle 54 auf S. 199 im Anhang für die sieben in der KlärSV regulierten Schwermetalle diejenigen Elemente angegeben, mit denen diese signifikant (Signifikanzniveau der Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 1$ %) korreliert sind. Es wird die Spearman'sche Rangkorrelation der nicht-transformierten absoluten Werte mit zweiseitiger Wahrscheinlichkeit verwendet.

Hier zeigt sich, dass einzelne Elemente jeweils mit einer Vielzahl anderer Elemente signifikant korreliert sind. Die Elemente sind fast immer positiv miteinander korreliert. Nur für einzelne Elemente konnte eine negative Korrelation festgestellt werden. Die Elemente mit signifikanter positiver Rangkorrelation betrifft meist andere Spurenelemente, die im Wesentlichen anthropogen beeinflusst erscheinen. Demgegenüber zeigt sich eine negative Rangkorrelation eher für Makroelemente, die wenig von anthropogenen Aktivitäten beeinflusst sind. Beispiele für letztere Elemente sind Natrium, Kalium und Strontium.

Festzuhalten bleibt ebenfalls, dass die Halogene Fluor, Brom und Jod nur selten signifikant mit diesen anthropogenen Spurenelementen korreliert sind. Diese scheinen daher von anderen Quellen beeinflusst zu sein. Ähnliches gilt für die Edelmetalle Gold und Silber, aber auch Platin und Ruthenium sind oft nicht signifikant mit anderen

anthropogenen Schwermetallen korreliert. Auch hier ist daher davon auszugehen, dass diese schwerpunktmäßig von anderen Quellen beeinflusst sind.

Im Folgenden werden die Korrelationskoeffizienten und die Signifikanzniveaus für diese Gruppen von Elementen vorgestellt und diskutiert. Die Halogene sind mit wesentlich weniger Elementen signifikant korreliert als die oben näher erläuterten Schwermetalle (vgl. Tabelle 55 auf S. 202 im Anhang). Fluor, Brom und Jod sind mit insgesamt 12 - 14 Elementen signifikant korreliert. Dies sind weniger die klassischen Schwermetalle als vielmehr Elemente, die nicht unbedingt gezielt anthropogen bzw. industriell eingesetzt werden. Dies weist darauf hin, dass die Halogene entweder von anderen Quellen emittiert werden oder sich im Abwassersystem grundsätzlich anders verhalten.

Darüber hinaus wurden eine Reihe von Alkali- und Erdalkalimetalle ausgewählt, die als Makroelemente auftreten bzw. essentiell sind (vgl. Tabelle 56 auf S. 202 im Anhang). Hier fällt auf, dass Ca, Sr, K und Na nur mit wenigen bzw. einer begrenzten Anzahl von Elementen signifikant korreliert sind, während dies bei Mg und Rb für eine Vielzahl von Elementen der Fall ist. Für Letztere weist dies darauf hin, dass diese schwerpunktmäßig von Quellen emittiert werden, die gleichzeitig auch viele andere Elemente freisetzen. Für die Belastung mit ersteren Elementen scheinen andere Quellen verantwortlich zu sein, die nur wenige andere Elemente gleichzeitig substantiell emittieren.

Beispielhaft wird hier ebenfalls die Korrelationsmatrix der Edelmetalle und Platinmetalle betrachtet (vgl. Tabelle 57 auf S. 202 im Anhang). Insbesondere Silber und Platin zeichnen sich durch eine geringe Anzahl signifikanter Korrelationen mit anderen Elementen aus. Demgegenüber ist Rhodium mit einer großen Anzahl von Elementen signifikant positiv korreliert. Hier gilt Ähnliches wie bei den vorgenannten Elementgruppen. Silber und Platin sind von einzelnen Quellen mit wenigen „Beimetallen“ beeinflusst, während für Rhodium von einer anthropogenen bzw. einer industriellen Quelle bzw. Quellen auszugehen ist, die hier nicht voneinander zu trennen sind. Diese Quellen emittieren eine Vielzahl von Elementen gleichzeitig.

In Bild 5 und Bild 6 wird beispielhaft der Zusammenhang zwischen den Bor- und Fluorgehalten sowie zwischen Blei- und Zinkgehalten als Streudiagramm dargestellt.

Insgesamt bleibt festzuhalten, dass eine Vielzahl von Elementen insbesondere anthropogen bzw. industriell eingesetzte Schwermetalle untereinander signifikant korreliert sind. Dies weist darauf hin, dass sie von einer oder mehreren Quellen gleichzeitig emittiert werden, ohne dass sie mit diesem Ansatz voneinander getrennt werden können. Einzelne Elemente (Halogene, essentielle Elemente und Edelmetalle) waren nur mit einer begrenzten Anzahl von Elementen signifikant korreliert. Dies deutet darauf hin, dass diese schwerpunktmäßig von getrennten Quellen emittiert werden, die nur wenige andere Elemente gleichzeitig freisetzen.

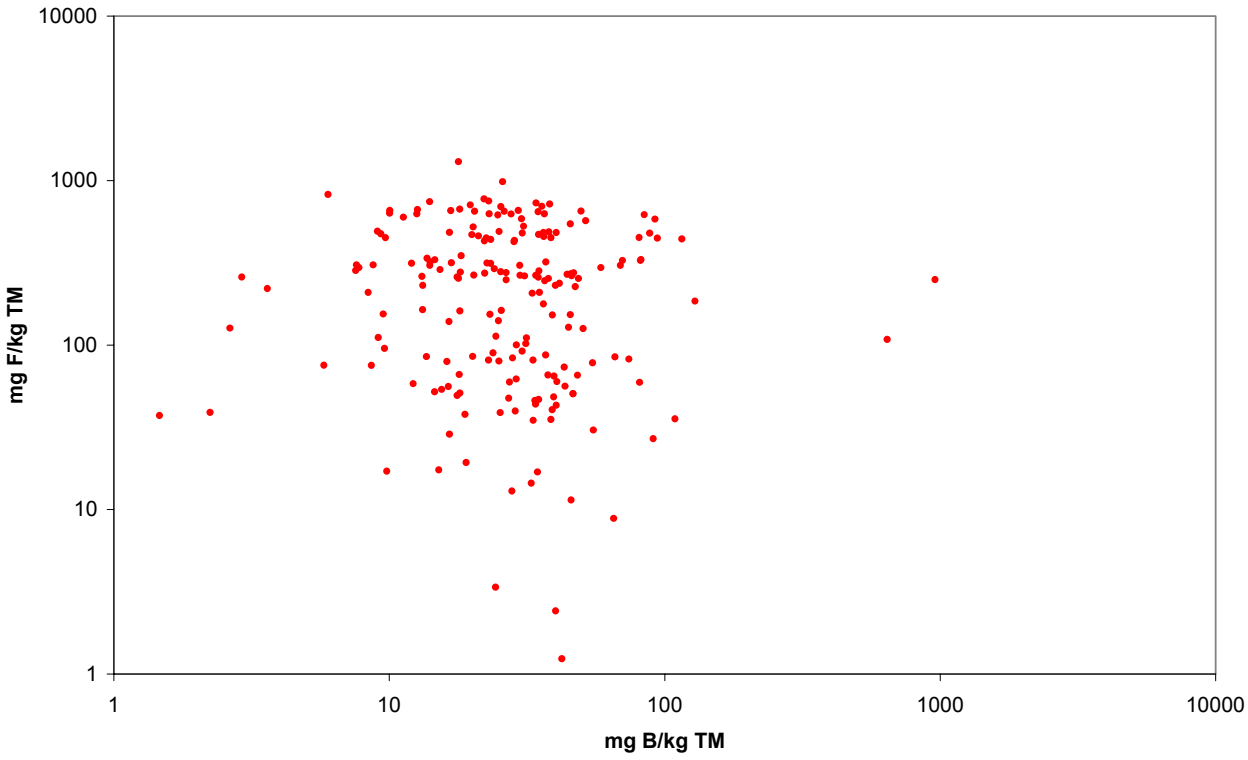


Bild 5 Streudiagramme der Korrelation der Elementgehalte von Bor und Fluor

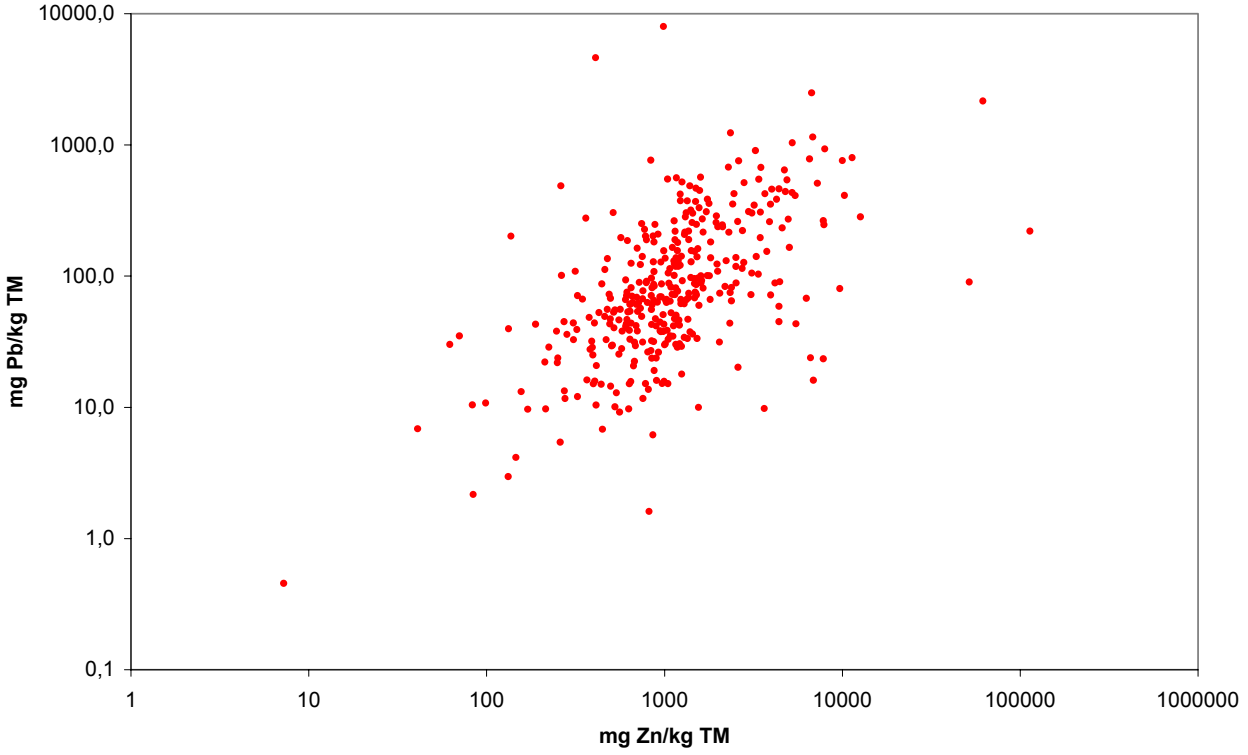


Bild 6 Streudiagramme der Korrelation der Elementgehalte von Blei und Zink

3.1.5 Grundlegende Quelltypen

Um grundlegende Quelltypen zu charakterisieren, wird hier die Faktorenanalyse angewendet. Dabei soll die Vielzahl möglicher Quellgruppen auf einige wenige wesentliche Quellen reduziert werden. Die Komplexität der Datenmatrix wird zu einigen wenigen wesentlichen Einflussfaktoren zusammengefasst, d.h. von den Elementen werden solche zu einem Faktor zusammengefasst, die meist gemeinsam auftreten. Damit repräsentiert ein Faktor eine für die Sielhäute relevante Quelle.

Die folgende Tabelle 4 zeigt die rotierte Komponentenmatrix. Dabei wurden neun Faktoren mit einem Eigenwert von größer als 1 festgestellt. Im ersten Faktor sind die meisten Schwermetalle (Chrom, Nickel, Kupfer, Zink, Molybdän, Cadmium, Zinn, Blei) zusammengefasst. Faktor 2 umfasst einige ubiquitäre geogene Elemente (Mangan, Eisen, Germanium). Als Faktor 3 tauchen zwei Alkalimetalle (Rubidium und Cäsium) auf. Faktor 4 umfasst die Elemente Calcium, Strontium und Ruthenium. Als Faktor 5 wird Natrium identifiziert. Faktor 6 ist das weitgehend anthropogen beeinflusste Quecksilber. Faktor 7 umfasst die Elemente Aluminium und Gallium. Faktor 8 sind die Halogene Brom und Jod. Als Faktor 9 taucht das Element Platin auf.

Damit sind die anthropogenen Quellen nur sehr begrenzt zu trennen. Im Faktor 1 tauchen die meisten anthropogen beeinflussten Elemente auf. Auch die Faktoren 6 und 9 stellen schadstoffrelevante Einträge dar. Eine Differenzierung der verschiedenen Einträge für ubiquitäre Elemente erscheint wesentlich einfacher als für anthropogene Schwermetalle.

In Bild 67 und Bild 68 auf S. 203 im Anhang sind ergänzend die Scoreplots und die Ladungsdiagramme der Faktoren 1 und 2 gegeneinander aufgetragen. Proben mit hohen Werten für Faktor 1 (korrespondierend mit hohen anthropogenen Schwermetallgehalten) sind insbesondere Probenahmeorte im Abstrom von Kfz-Werkstätten und von Galvanikbetrieben.

3.1.6 Strukturelle Ähnlichkeiten

Die Clusteranalyse wird verwendet, um strukturelle Ähnlichkeiten innerhalb der verschiedenen Elemente zu untersuchen. In Bild 7 zeigt die Clusteranalyse der transformierten Werte aller Elemente vier Gruppen von Elementen:

- Cluster 1: Li, Rb, Cs, Mg, U, Al, Ga, Ti, Nb, V, Th, Mn, Fe, As, Ge, Zr, Hf sind meist ubiquitär geogen und wenig anthropogen beeinflusste Elemente;
- Cluster 2: alle Lanthanoide (La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu) sowie Be;
- Cluster 3: Elemente, evtl. mit gewissen anthropogenen Einflüssen (B, Na, K, P, W, Pt, Au, Br, I, Ca, Ru, Sr);
- Cluster 4: hauptsächlich anthropogen beeinflusste Schwermetalle: Cr, Ni, Co, Zn, Cd, Pb, Mo, Sb, Sn, Cu, Rh, Se, Tl, Ag, Ba, Hg.

Tabelle 4 Rotierte Komponentenmatrix der Faktorenanalyse

Element	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Eigenwert[32]	29,7 %	9,9 %	7,1 %	5,9 %	5,2 %	4,5 %	3,1 %	2,9 %	2,6 %
Li	0,172	0,396	**0,667**	0,051	0,106	-0,009	0,202	-0,123	-0,010
Be	0,126	0,546	0,376	-0,011	0,058	0,159	0,468	-0,070	-0,099
B	0,203	-0,015	0,064	0,114	0,582	0,006	0,209	0,246	-0,058
Na	-0,002	-0,150	0,041	0,032	**0,830**	-0,055	-0,001	0,115	0,199
Mg	0,271	0,050	**0,602**	0,528	-0,001	0,013	0,057	0,053	-0,019
Al	0,031	0,113	0,195	0,027	0,124	0,087	**0,854**	-0,108	0,025
P	0,154	0,007	-0,295	0,110	0,533	0,220	0,249	0,221	0,153
K	0,077	-0,276	0,434	-0,064	0,585	0,008	0,036	0,378	0,045
Ca	0,027	-0,012	0,017	**0,914**	0,023	-0,038	-0,072	-0,076	0,032
Ti	0,233	0,550	0,519	-0,048	-0,209	-0,017	0,200	0,038	0,150
V	-0,033	**0,651**	0,464	-0,115	-0,003	0,091	0,121	-0,071	0,046
Cr	**0,732**	0,368	0,169	0,065	0,159	0,089	0,048	-0,147	-0,024
Mn	0,143	**0,783**	0,121	0,172	0,065	0,042	-0,003	0,091	-0,221
Fe	0,320	**0,825**	0,103	0,043	-0,062	-0,102	-0,031	0,071	-0,105
Co	0,505	**0,641**	0,123	0,142	0,099	0,245	0,028	-0,110	0,067
Ni	**0,740**	0,330	0,058	0,117	0,206	0,094	0,083	-0,170	0,028
Cu	**0,837**	-0,030	-0,035	-0,047	-0,076	0,085	0,175	0,200	0,148
Zn	**0,774**	0,029	0,189	0,062	0,145	0,010	0,152	0,053	-0,049
Ga	0,178	0,358	0,378	0,070	0,057	0,119	**0,684**	-0,080	0,075
Ge	0,248	**0,720**	-0,034	0,091	-0,115	-0,065	0,103	0,087	0,091
As	0,341	0,672	0,124	-0,020	-0,016	0,091	0,148	0,184	-0,092
Br	0,046	0,134	0,063	0,028	0,259	-0,085	-0,105	**0,713**	-0,039
Se	0,279	0,041	0,130	0,175	0,229	0,375	0,378	0,233	-0,186
Rb	0,127	0,117	**0,872**	0,056	0,086	-0,039	0,123	0,176	0,008
Sr	-0,044	0,083	-0,067	**0,771**	0,206	0,092	0,190	0,039	0,006
Zr	0,343	**0,613**	0,095	-0,037	-0,214	-0,475	-0,005	0,175	0,105
Nb	0,157	**0,676**	0,373	0,031	0,048	-0,017	0,127	0,059	0,044
Mo	**0,736**	0,351	0,095	-0,016	0,203	0,079	-0,026	-0,061	-0,007
Ru	0,065	0,093	0,141	**0,868**	-0,033	0,023	-0,016	-0,019	0,164
Rh	**0,631**	0,091	-0,040	0,339	-0,116	0,048	0,116	0,282	0,256
Ag	0,254	-0,162	0,171	-0,080	-0,074	0,649	0,140	0,070	0,094
Cd	**0,786**	0,162	0,233	-0,003	0,014	0,218	0,048	0,016	-0,100
Sn	**0,709**	0,345	-0,063	-0,031	0,105	-0,127	-0,031	0,089	0,245
Sb	**0,670**	0,236	0,216	0,032	0,030	0,059	-0,128	0,033	-0,063
I	-0,029	0,139	0,062	-0,071	0,156	0,140	-0,032	**0,806**	0,088
Cs	0,227	0,270	**0,796**	0,026	-0,067	0,076	0,104	0,082	0,013
Ba	0,289	0,459	-0,077	0,262	-0,043	0,459	0,125	0,208	0,110
Nf	0,310	**0,609**	0,105	0,038	-0,200	-0,495	0,009	0,186	0,042
W	0,229	0,466	-0,050	0,034	0,506	0,241	-0,189	-0,163	0,133
Pt	0,045	0,025	0,031	0,142	0,183	0,156	-0,072	0,049	**0,722**
Au	0,145	-0,280	-0,040	0,199	0,275	0,344	0,247	0,068	0,547
Hg	0,236	0,155	-0,033	0,074	0,057	**0,742**	0,045	0,005	0,256
Tl	0,474	0,187	0,448	-0,044	0,190	0,315	0,124	-0,095	-0,050
Pb	**0,727**	0,324	0,284	-0,024	-0,138	0,184	0,050	-0,050	0,101
Th	0,117	0,520	0,328	-0,077	-0,120	-0,024	0,115	-0,177	0,396
U	0,344	0,372	0,349	0,234	-0,072	0,023	0,268	0,092	0,003

[32] Der Eigenwert gibt den Anteil der erklärten Gesamtvarianz des Ursprungsdatensatzes an. Eine weitergehende Erläuterung ist in Fußnote 131 auf S. 171 zu finden.

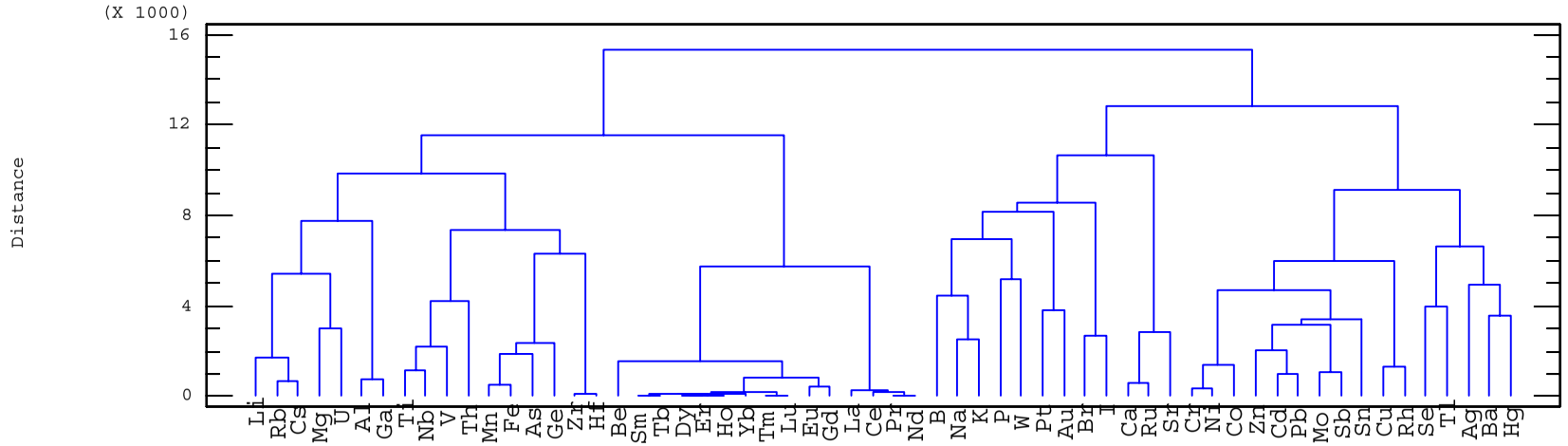


Bild 7 Clusteranalyse der Elemente: Auftrennung entsprechend anthropogener Einflüsse

Von Cluster 1 zu Cluster 4 zeigt sich eine Zunahme des anthropogenen Einflusses und eine Abnahme der ubiquitär geogenen Anteile. Neben der Clusterung der Elemente wurde auch eine Clusterung der Proben durchgeführt. Aufgrund der Vielzahl von Proben ist es sehr schwierig, einen angemessenen Überblick über die Ähnlichkeit der Proben zu erhalten. Auffällig ist die starke Vermischung der verschiedenen Branchen und Quellbereiche. Es gibt keine offensichtliche Schwerpunktsetzung von Branchen und Quellbereichen in einzelnen Clustern.

3.1.7 Indikatorelemente und systematische Unterschiede zwischen Herkunftsbereichen

Die Diskriminanzanalyse steht zur Verfügung, um systematische Unterschiede in der Elementzusammensetzung von Herkunftsbereichen bzw. Branchen festzustellen. Dabei werden die Proben entsprechend einiger wesentlicher Quellbereiche gruppiert und überprüft, inwieweit diese sich signifikant von den übrigen Proben unterscheiden und letztlich welche Elemente in welchen Quellbereichen charakteristische Unterschiede im Vergleich zu anderen Quellbereichen aufweisen. Es wird sowohl die Methode mit allen Variablen (Elementen) als auch die schrittweise Hinzunahme von Variablen angewendet. Bei der Verwendung aller Variablen wird eine überwiegend verlässliche Trennung der Probengruppen erreicht. Für die Methode der schrittweisen Hinzunahme von Variablen ist die Trennung nur eingeschränkt möglich. Die Ergebnisse der Diskriminanzanalysen wurden für die einzelnen Quellbereiche im Abschnitt 9.3 auf S. 204 im Anhang im Detail erläutert.

Ausgehend von den Mittelwertvergleichen und den Diskriminanzanalysen konnten für eine Reihe von Einleitern bzw. Quellbereichen Indikatorelemente identifiziert werden. Diese sind in Tabelle 5 zusammengestellt.

Tabelle 5 Indikatorelemente für die Quellbereiche

Quellbereich	Element
Deponie	Eisen, Arsen
Druckerei	Silber
Elektrotechnik/Elektronik	Europium, Cer
Forschungseinrichtungen	Quecksilber, Thallium, Selen
Galvanik	Nickel, Chrom
Krankenhäuser	Barium, Quecksilber, Jod
Kfz-Werkstätten	Antimon, Zirconium, Hafnium, Molybdän, Germanium
Metallbe- und –verarbeitende Betriebe	Wolfram, Chrom, Nickel
Nahrungsmittelindustrie	Gallium
Verkehrsbetriebe	-
Wäschereien	Wolfram, Platin, Gold, Phosphor
Wohngebiete	-

Für Verkehrsbetriebe und für Wohngebiete war es nicht möglich Indikatorelemente festzulegen. Deren Elementmuster unterschieden sich nicht in ausreichendem Maße von den Elementmustern der übrigen Quellbereiche. Insbesondere für Kfz-Werkstätten, Wäschereien, Krankenhäuser, Galvanikbetriebe sowie metallbe- und -verarbeitende Betriebe wurden jeweils mehrere Elemente als Indikator für die jeweiligen Quellbereiche ermittelt.

3.2 BLEIISOTOPE IN SIELHÄUTEN

Die Isotopenzusammensetzungen von Elementen können für verschiedene Standorte der Erde weitgehend als konstant angenommen werden. Vereinzelt kann es im Rahmen biogeochemischer Prozesse zu An- und Abreicherungen von Isotopen kommen (z.B. für Kohlenstoff, Sauerstoff). Blei nimmt unter den Elementen eine Sonderstellung ein, weil abhängig vom geologischen Vorkommen und Standort eine abweichende Isotopenzusammensetzung festzustellen ist.

Die Verteilung der stabilen, natürlichen Isotope ^{204}Pb, ^{206}Pb, ^{207}Pb und ^{208}Pb wird wesentlich durch die Uran-Thorium-Zerfallsreihe beeinflusst. Die Isotope ^{206}Pb, ^{207}Pb und ^{208}Pb treten als stabile Endprodukte des Zerfalls von ^{238}U, ^{235}U und ^{232}Th auf. Diese drei Bleiisotope werden daher als radiogene Isotope bezeichnet. ^{204}Pb ist das einzige stabile Bleiisotop, das nicht von der Uran-Thorium-Zerfallsreihe beeinflusst wird. Es wird daher auch als nicht-radiogenes Bleiisotop bezeichnet. Aufgrund von Unterschieden in den ursprünglichen Uran- und Thorium-Gehalten sind abhängig von Standort, Alter und Zusammensetzung des Gesteins abweichende Bleiisotopenverteilungen anzutreffen. Für unterschiedliche Bleivorkommen und ggf. auch Anwendungsbereiche wurden Abweichungen in den Isotopenverhältnissen festgestellt. Dieser Umstand wird bei der Identifizierung von Bleiquellen in der Umwelt genutzt. Die durchschnittlichen Verteilungen der Bleiisotopen in der Erdkruste sind in der folgenden Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6 Verteilung der Bleiisotope in der Erdkruste[33]

Bleiisotop	**^{204}Pb**	**^{206}Pb**	**^{207}Pb**	**^{208}Pb**
Häufigkeit (Massen-%)	1,4	24,1	22,1	52,4

3.2.1 Isotopenverhältnisse

In insgesamt 46 Sielhautproben wurde die Verteilung der Bleiisotopen bestimmt. Die Bleigehalte in diesen ausgewählten Proben lagen zwischen 4 und 8000 mg Pb/kg TM. Die durchschnittliche Isotopenverteilung in diesen Proben ist in Tabelle 7 angegeben. Das Isotop ^{206}Pb war hier im Vergleich zur Erdkruste häufiger vertreten, während das Isotop ^{207}Pb einen geringeren Massenanteil ausmachte. Oft wird die Verteilung der Bleiisotopen nicht als Anteil am Gesamtblei angegeben, sondern als relatives Verhältnis zu einem

[33] Quelle: Winter (2001)

anderen Bleiisotop. Das Verhältnis der Bleiisotopen im Vergleich zu ^{206}Pb ist für alle Proben und für mehrere Einleitergruppen in Tabelle 8 aufgelistet.

Tabelle 7 Durchschnittliche Bleiisotopenverteilung der untersuchten Sielhautproben (N=46)[34]

Bleiisotop	^{204}Pb	^{206}Pb	^{207}Pb	^{208}Pb
Massenanteil ± Standardabweichung (%)	1,365 ± 0,016	24,83 ± 0,23	21,49 ± 0,16	52,32 ± 0,14

Tabelle 8 Bleiisotopenverhältnisse von allen Proben und von bestimmten Einleitergruppen beeinflusste Proben

Proben	N=	$^{204}Pb/^{206}Pb$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$
alle Proben	46	0,05501 ± 0,00104	0,8659 ± 0,0135	2,1077 ± 0,023
Elektrotechnik/Elektronik	3	0,05501 ± 0,00283	0,8672 ± 0,0353	2,1012 ± 0,0608
Galvanik	3	0,05562 ± 0,00096	0,8758 ± 0,0184	2,1161 ± 0,0234
Kunststoffverarbeitung	3	0,05525 ± 0,00029	0,8646 ± 0,0051	2,1038 ± 0,0086
Kfz-Werkstätten	3	0,05518 ± 0,00069	0,8667 ± 0,0094	2,1095 ± 0,0101
Regenwasserbehandlung	2	0,05572 ± 0,00086	0,8774 ± 0,0116	2,1347 ± 0,0391
Verkehrsbetriebe	3	0,05475 ± 0,00073	0,8585 ± 0,0127	2,1051 ± 0,0245
Wäschereien	4	0,05454 ± 0,00127	0,8714 ± 0,0051	2,1189 ± 0,0140
Wohngebiete	8	0,05469 ± 0,00084	0,8589 ± 0,0106	2,1026 ± 0,0163

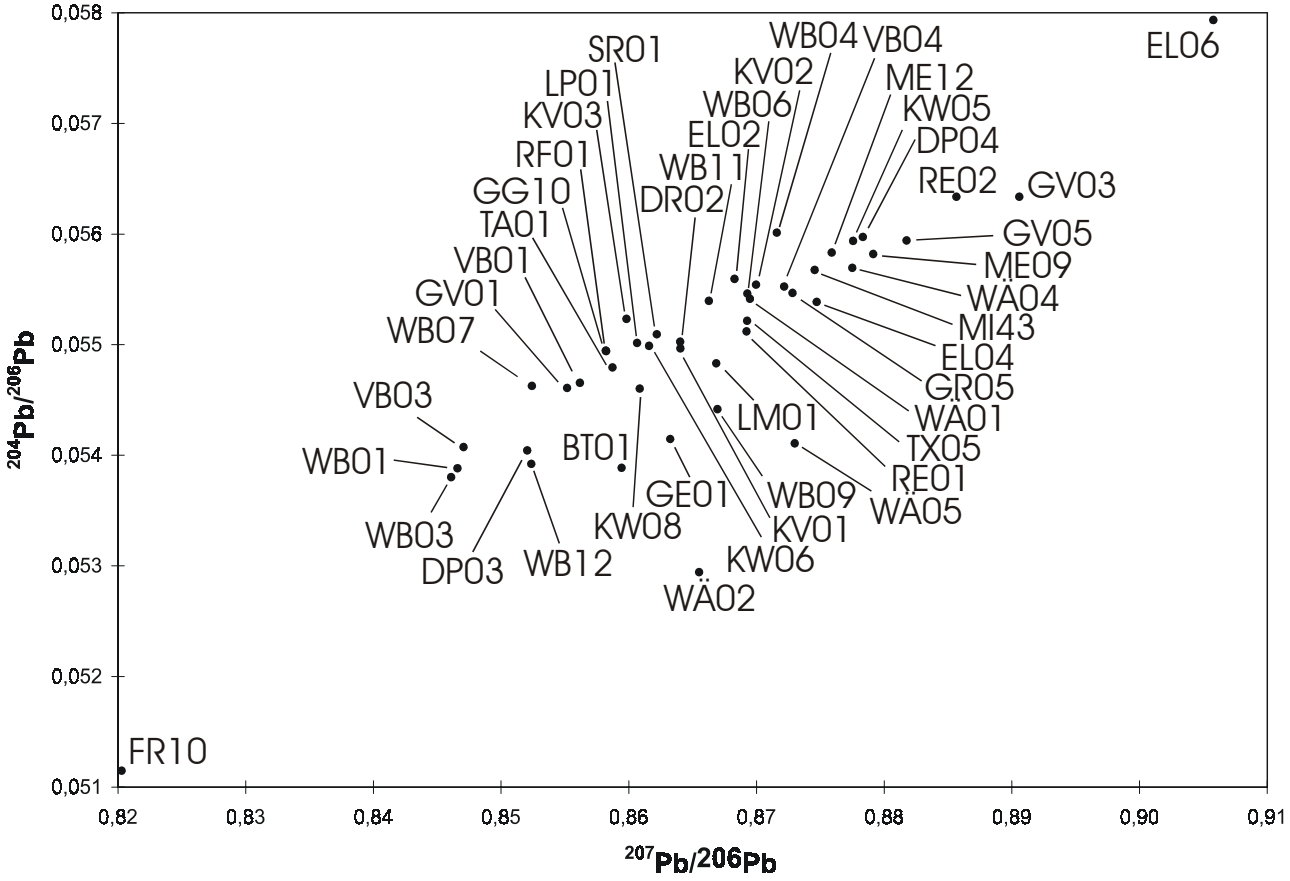
Proben aus Wohngebieten und Verkehrsbetrieben zeigten tendenziell höhere ^{206}Pb-Anteile, während Proben beeinflusst von Regenwasserbehandlungsanlagen und von Galvaniken über vergleichsweise niedrige ^{206}Pb-Anteile verfügten. Aufgrund der für die einzelnen Quellbereiche geringen Probenzahl ist es hier nicht möglich festzustellen, ob diese Unterschiede tatsächlich von den Quellbereichen beeinflusst sind oder ob hier andere Effekte eine Rolle spielen.

In Bild 8 kann bei der Betrachtung der Einzelproben ein Bereich mit üblichen Isotopenverhältnissen sowie mehrere außergewöhnliche Einzelproben identifiziert werden. Außergewöhnliche Einzelproben wurden im Abstrom folgender Einflussbereiche gefunden:

- ein Forschungsinstitut (FR10) mit jeweils niedrigen $^{204}Pb/^{206}Pb$-, $^{207}Pb/^{206}Pb$- und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen, d.h. einem insgesamt hohen ^{206}Pb-Anteil;
- ein Betrieb der Elektrotechnik/Elektronik (EL06), der Galvanik (GV03) sowie eines Regenwassereinlaufes (RE02) mit jeweils hohen $^{204}Pb/^{206}Pb$-, $^{207}Pb/^{206}Pb$- und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen, d.h. einem insgesamt niedrigen ^{206}Pb-Anteil.

Die üblichen Bereiche der meisten Proben und die Isotopenverhältnisse dieser ungewöhnlichen Einzelproben sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

[34] Die Isotopenverteilung wurde gegenüber NBS 981 korrigiert. Blindwerte lagen unter 0,5 % der Gehalte in den Proben. Ein Blindwertabzug erfolgte nicht. Weitere Details zum analytischen Vorgehen sind Abschnitt 7.3.1 auf S. 158 erläutert.



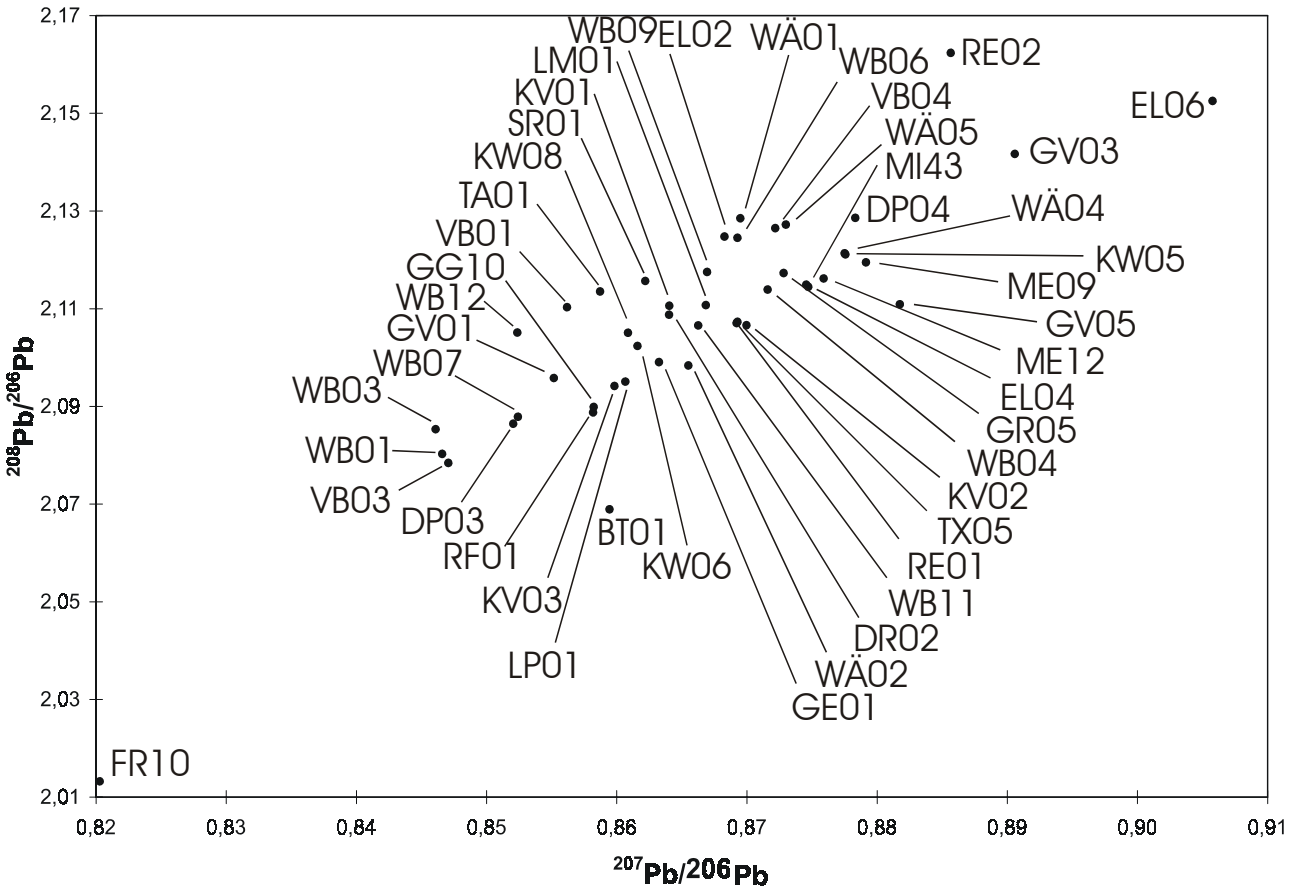


Bild 8 Bleiisotopenverhältnisse der Sielhautproben

Tabelle 9 Isotopenverhältnisse von üblichen Proben und von außergewöhnlichen Einzelproben[35]

Proben	Pb-Gehalt (mg Pb/kg TM)	$^{204}Pb/^{206}Pb$	$^{207}Pb/^{206}Pb$	$^{208}Pb/^{206}Pb$
übliche Proben	4 – 8000	0,053 – 0,056	0,845 – 0,88	2,07 – 2,13
FR10	570	0,0511 ± 0,00027	0,8203 ± 0,0018	2,0132 ± 0,0015
EL06	160	0,0579 ± 0,00026	0,9058 ± 0,0022	2,1525 ± 0,0032
GV03	550	0,0563 ± 0,00039	0,8906 ± 0,0019	2,1417 ± 0,0031
RE02	2500	0,0563 ± 0,00012	0,8857 ± 0,0009	2,1623 ± 0,0024

In einer Reihe von Studien[36] wird die anthropogene Beeinflussung des $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnisses durch anthropogene Aktivitäten hervorgehoben. Es wird berichtet, dass europäische Hintergrundbelastungen üblicherweise $^{207}Pb/^{206}Pb$-Verhältnisse von 0,83 – 0,85 aufweisen, wohingegen importiertes Blei (insbesondere aus Australien) $^{207}Pb/^{206}Pb$-Verhältnisse von ca. 0,91 aufweist.

In den Sielhautproben ist ein ähnlicher Einfluss der Bleigehalte auf das Isotopenverhältnis erkennbar. Proben mit Bleigehalten unter 50 mg Pb/kg TM weisen häufig ein $^{207}Pb/^{206}Pb$-Verhältnis zwischen 0,83 – 0,87 auf. Demgegenüber ist in Proben mit Bleigehalten über 500 mg Pb/kg TM das $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis üblicherweise zwischen 0,86 – 0,89.

Für die Proben der Wohnbebauung sind zwischen einer Gruppe (N=4) mit niedrigen $^{207}Pb/^{206}Pb$-Verhältnissen (0,845 – 0,855) und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Verhältnissen (2,08 – 2,11) auf der einen Seite und einer zweiten Gruppe (N=4) mit höheren $^{207}Pb/^{206}Pb$-Verhältnissen (0,865 – 0,875) und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Verhältnissen (2,10 – 2,12) zu unterscheiden. Insgesamt zeigt erstere Gruppe tendenziell niedrigere Bleigehalte (15 – 87 mg Pb/kg TM) im Vergleich zu den anderen Proben der Wohngebiete (22 - 197 mg Pb/kg TM). Damit bestätigt sich auch für die Sielhautproben aus Wohngebieten der oben erläuterte Zusammenhang zwischen Bleigehalt und dem Isotopenverhältnis $^{207}Pb/^{206}Pb$. Ob hier auch ein Einfluss von Bleileitungen und deren möglichem Ursprung aus heimischen Bleierzvorkommen eine Rolle spielt, kann nicht eindeutig geklärt werden.

Die Korrelation zwischen Bleigehalt und $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis ist für die nichtparametrische Korrelation signifikant (Korrelationskoeffizient nach Spearman-Rho 0,438 mit einseitigem Signifikanzniveau von 0,1 %, Korrelationskoeffizient nach Kendall-Tau-b 0,315 mit einseitigem Signifikanzniveau von 0,1 %), während die parametrische Korrelation nach Pearson mit 0,194 nicht signifikant ist (einseitige Signifikanz von 10,3 %).

[35] Die Angabe der Standardabweichung für die Einzelprobe bezieht sich auf fünf aufeinanderfolgende Einzelmessungen eines identischen Aufschlusses.

[36] vgl. Deboudt et al. (1999), Farmer et al. (1999), Farmer et al. (1996), MacKenzie et al. (1997), Monna et al. (1999), Monna et al. (1995), Stechmann (1993).

Die Regressionsanalyse ergibt sowohl für das logarithmische als auch das exponentielle Modell einen signifikanten Zusammenhang[37]. Die Bestimmtheitsmaße betragen für beide Modelle 18,1 %, d.h. 18,1 % der Gesamtvarianz werden durch das Regressionsmodell erklärt. Im Rahmen des F-Tests wird die Nullhypothese („Es besteht kein Zusammenhang zwischen Bleigehalt und $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis.“) jeweils mit einem Signifikanzniveau von 0,4 % abgelehnt. In Tabelle 10 sind beide Regressionsanalysen wie folgt beschrieben:

Tabelle 10 Angaben zur Regressionsgleichung für die Beschreibung des logarithmischen Zusammenhangs zwischen Pb-Gehalt und $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis

Modelltyp	Variable	B	SE B	Beta	T	Sig T
Logarithmisch	Pb-Gehalt	0,002604	0,000855	0,425352	3,046	0,0040
	Konstante	0,852516	0,004660		182,931	0,0000
Exponentiell	Pb-Gehalt	0,003007	0,000987	0,425510	3,047	0,0040
	Konstante	0,852559	0,004587		185,876	0,0000

B: Regressionskoeffizient

SE B: Standardfehler des Regressionskoeffizienten B

Beta: Standardfehler des Koeffizienten

T: T-Test auf Signifikanz des Koeffizienten

Sig T: Signifikanzniveau des T-Tests

Die Regressionsgleichung des logarithmischen Modells lautet damit:

$$Y = 0{,}852516 + 0{,}002604 \cdot \ln(x)$$

Y: $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis

X: Pb-Gesamtgehalt

Die Regressionsgerade des exponentiellen Modells lautet:

$$y = 0{,}852559 \cdot x^{0{,}003007}$$

Y: $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis

X: Pb-Gesamtgehalt

Bild 9 zeigt den Zusammenhang zwischen Pb-Gesamtgehalt und dem $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis[38].

[37] Die beiden Proben EL06 und FR10 wurden hier ausgeschlossen.

[38] Da für die x-Achse die logarithmische Darstellung gewählt wurde, erscheint das logarithmische Regressionsmodell hier als Gerade.

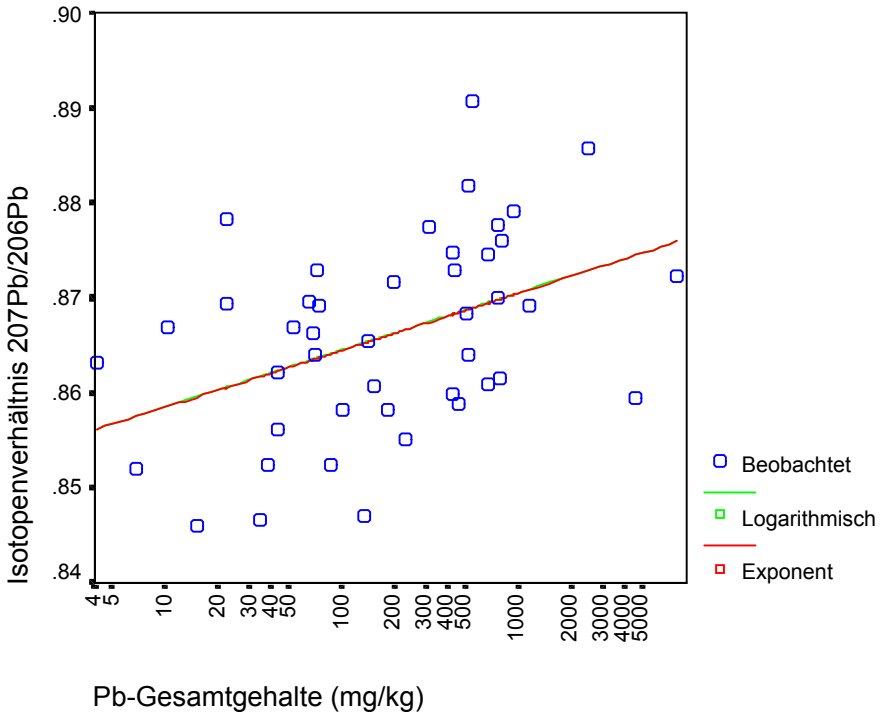


Bild 9 **Zusammenhang zwischen Bleigehalt der Sielhäute und dem Isotopenverhältnis $^{207}Pb/^{206}Pb$: logarithmisches und exponentielles Regressionsmodell**

Insgesamt zeigt sich, dass ein signifikanter Zusammenhang (logarithmisch bzw. exponentiell) zwischen dem Pb-Gehalt und dem $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis besteht, aber nur 18 % der Gesamtvarianz erklärt werden und somit noch andere Einflussfaktoren relevant sind.

3.2.2 Quellenzuordnung der Bleieinträge

Beim Vergleich der Isotopenzusammensetzung von Sielhäuten mit Erzvorkommen und anderen Matrizes kann der Einfluss verschiedener Quellen beurteilt werden. Die Isotopenzusammensetzung von Erzvorkommen und möglichen Quellen wurde nicht im Rahmen dieser Arbeit ermittelt. Stattdessen wurden Daten von Chow et al. (1975) und Chiaradia und Cupelin (2000) verwendet. Chow et al. (1975) haben ausführliche Messungen zur Isotopenzusammensetzung von Bleierzen durchgeführt. Chiaradia und Cupelin (2000) veröffentlichten Messungen der Isotopenzusammensetzung potentieller Bleiquellen in der Umwelt. Der ausführliche Vergleich der Isotopenverhältnisse der Sielhautproben mit diesen Bleierzen und –quellen ist in Bild 10 dargestellt.

Insgesamt decken die potentiellen Bleiquellen ein wesentlich breiteres Spektrum der Isotopenverhältnisse ab. Diese reichen von 0,046 – 0,062 für $^{204}Pb/^{206}Pb$, 0,72 - 0,97 für $^{207}Pb/^{206}Pb$ und 1,85 – 2,25 für $^{208}Pb/^{206}Pb$, während die Isotopenverhältnisse der Sielhautproben von 0,051 – 0,058 ($^{204}Pb/^{206}Pb$), 0,82 – 0,91 ($^{207}Pb/^{206}Pb$) und 2,01 - 2,16 ($^{208}Pb/^{206}Pb$) reichen. Extreme Isotopenverhältnisse sind in Praecambria-Erzen mit jeweils

sehr hohen $^{204}Pb/^{206}Pb$, $^{207}Pb/^{206}Pb$ und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Quotienten, d.h. geringen ^{206}Pb-Anteilen zu finden. In einer Reihe von Veröffentlichungen[39] wurden Praecambria Bleierze über australische Bleivorkommen mit dem Isotopenverhältnis von Benzinblei in Verbindung gebracht. Das US-amerikanische Pennsylvania-Erz zeichnet sich demgegenüber durch sehr niedrige Isotopenverhältnisse für $^{204}Pb/^{206}Pb$, $^{207}Pb/^{206}Pb$ und $^{208}Pb/^{206}Pb$ aus. Hier ist der Anteil von ^{206}Pb außergewöhnlich hoch.

Benzin und Öl zeigten eine Zusammensetzung im Bereich von 0,88 – 0,90 für $^{207}Pb/^{206}Pb$. Für Müllverbrennungsasche wurde ein $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis von 0,86 gemessen. Die Umweltproben Sedimente und Boden, Kohle sowie mehrere Bleierze lagen meist um die 0,84 ($^{207}Pb/^{206}Pb$). Die Isotopenverhältnisse von Sielhautproben mit geringem $^{207}Pb/^{206}Pb$-Verhältnis ähneln denen von Umweltproben (Sedimente, Boden), Kohle und mehreren Erzen. Sielhäute mit mittleren $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen zeigen ein ähnliches Muster wie Müllverbrennungsaschen. Sielhäute mit hohen $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen haben ähnliche Isotopenzusammensetzungen wie fossile Kraftstoffe (Benzin, Öl).

Die ähnliche Position einer Sielhautprobe und einer Quelle bzw. eines Erzes im Streudiagramm muss nicht bedeuten, dass diese Quellen oder das Erz einen großen Einfluss auf die Bleibelastung der Sielhaut hat. Da eher davon auszugehen ist, dass die Position einer Probe eine Aussage darüber macht, wie stark die Sielhautprobe durch Praecambria-Erze beeinflusst ist.

Der in Bild 10 dargestellte Zusammenhang verdeutlicht hier den Einfluss anthropogener Bleiquellen auf das Isotopenverhältnis von $^{207}Pb/^{206}Pb$. Höhere Bleigehalte in den Sielhäuten sind mit höheren $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen verbunden. Damit sind die Sielhautproben mit niedrigeren $^{204}Pb/^{206}Pb$-, $^{207}Pb/^{206}Pb$- und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen weniger stark anthropogen beeinflusst als die Proben mit entsprechend höheren Bleiisotopenverhältnissen.

Insgesamt bestätigt sich mit diesen Untersuchungen der Zusammenhang zwischen Bleigehalt in der Sielhaut und dem $^{207}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnis. Dabei erweist sich der Einsatz von bleihaltigen Produkten basierend auf Praecambria-Erzvorkommen mit hohen $^{204}Pb/^{206}Pb$-, $^{207}Pb/^{206}Pb$- und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen als wesentlicher Einflussfaktor für die Bleigehalte und Isotopenzusammensetzung der Sielhautproben.

[39] vgl. Aberg et al. (1999), Farmer et al. (1999), Monna et al. (1999), Tommasini et al. (2000)

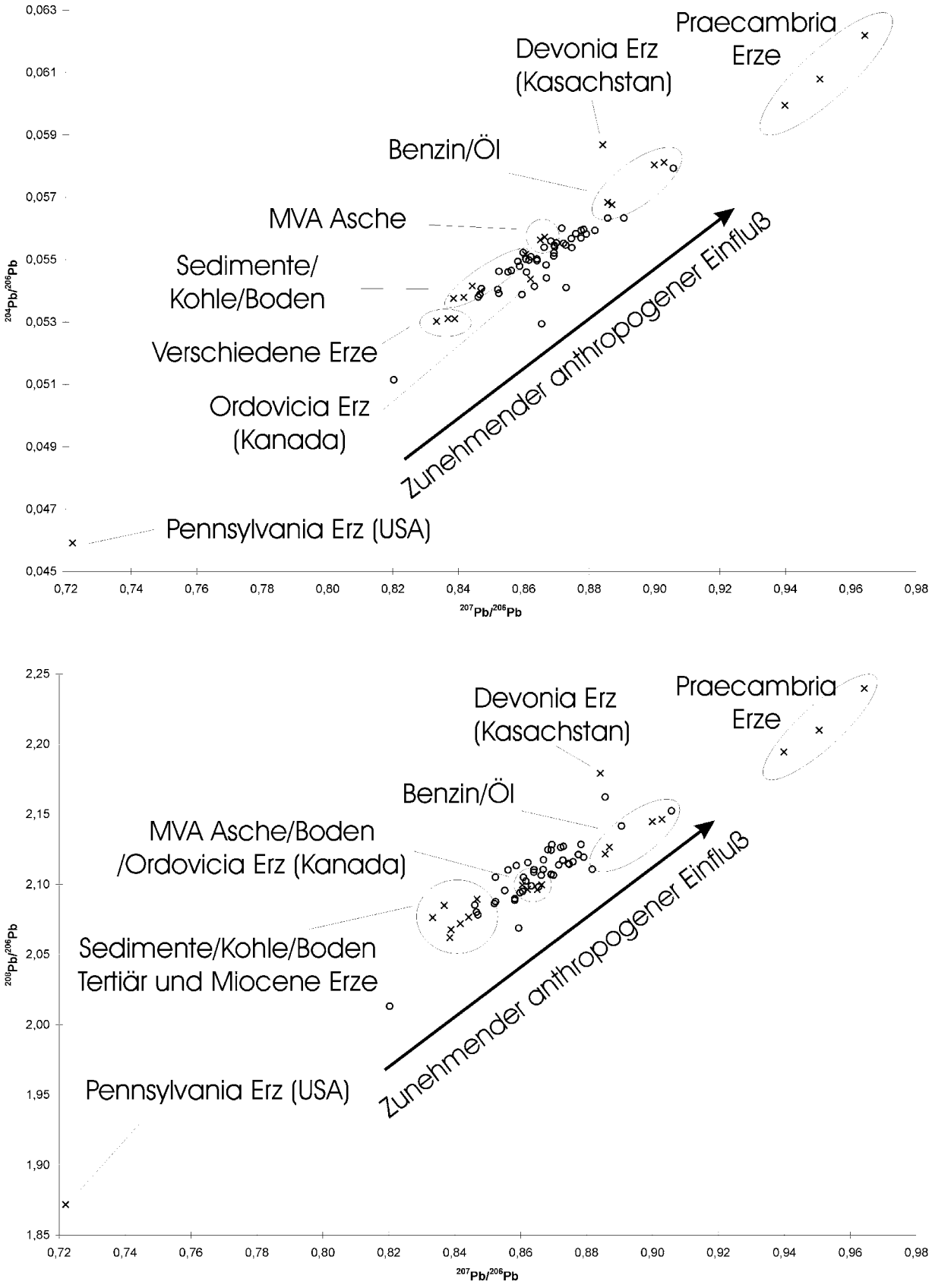


Bild 10 **Isotopenverhältnisse der Sielhautproben (Symbol: °) sowie von Bleierzen und potentiellen Bleiquellen (Symbol: x)**

3.3 DIOXINE UND FURANE IN SIELHÄUTEN

Die Analyse von polychlorierten Dioxinen und Furanen (PCDD/F) in Sielhäuten und deren chemometrische Auswertung zur Quellenermittlung können aus folgenden Gründen von Interesse sein:

- Die Klärschlamm-Verordnung (KlärSV) gibt Grenzwerte für Dioxine und Furane vor. Bei der Klärschlammverwertung bzw. –entsorgung müssen diese von Anlagenbetreibern und Abwasserverbänden berücksichtigt werden.
- Vor einigen Jahren wurden bereits eine Reihe von PCDD/F-Messungen in Klärschlämmen und Abwässern sowie vereinzelt in Sielhäuten durchgeführt. Derzeit ist sehr wenig über die aktuelle Belastungssituation verschiedener Einleitergruppen und Quellbereiche in Deutschland bekannt[40].
- Die üblicherweise analysierten Dioxine und Furane umfassen alle 136 tetra- bis octachlorierte Einzelkongenere, von denen nur wenige im Massenfragmentogramm nicht auflösbar sind. Insgesamt können damit maximal 125 Peaks getrennt werden, von denen häufig aber weniger als 100 tatsächlich nachweisbar sind. Diese stellen damit eine umfangreiche Datengrundlage mit einer ausreichenden Anzahl von Variablen für die Trennung verschiedener Quellen dar.
- Für Dioxine und Furane liegen eine Vielzahl von Messungen zu Quellen, Transport und Verbleib vor, auf die für den chemometrischen Quellenvergleich zurückgegriffen werden können.

Im Rahmen dieser Arbeit wurden in insgesamt 71 Proben PCDD/F kongenerenspezifisch analysiert und chemometrisch ausgewertet. Im Folgenden werden die PCDD/F-Gehalte, die Homologenprofile und Isomerenmuster, die Quellenvergleiche und die chemometrische Auswertung erläutert.

3.3.1 PCDD/F-Gehalte

Die PCDD/F-Gehalte in den Sielhautproben lagen zwischen 7 und 550.000 ng PCDD/F / kg TM. Der Median betrug 1500 ng PCDD/F / kg TM. Die entsprechenden Gehalte bezogen auf toxische Äquivalente waren zwischen 0,01 und 1500 ng I-TEq / kg TM mit einem Median von 6,1 ng I-TEq / kg TM. Insgesamt überschritten 3 von 71 Proben den Grenzwert der KlärSV von 100 ng I-TEq / kg TM:

- eine Sielhautprobe im Abstrom eines metallbe- und –verarbeitenden Betriebs (550.000 ng PCDD/F / kg TM; 1500 ng I-TEq / kg TM)

[40] vgl. Broman et al. (1990), Butzkamm-Erker und Mach (1990), Hagenmaier et al. (1990), Hagenmaier (1988), Hengstmann (1991), Korber (1992), Näf et al. (1990), Rappe et al. (1998), Rappe et al. (1994), Rappe et al. (1997), Rappe et al. (1989), Rieger und Ballschmiter (1992), Weber et al. (1991), Weerasinghe et al. (1985)

- eine von einer Wäscherei beeinflusste Sielhautprobe (10.000 ng PCDD/F / kg TM; 120 ng I-TEq / kg TM)
- eine Klärschlammprobe einer kleinstädtischen Kläranlage (59.000 ng PCDD/F / kg TM; 105 ng I-TEq / kg TM)

Ebenfalls überdurchschnittliche Gehalte wurden in Proben mit folgenden Herkunftsbereichen gemessen: ein Hafengebiet (86 ng I-TEq / kg TM), eine Klärschlammprobe (70 ng I-TEq / kg TM), ein Flughafen (69 ng I-TEq / kg TM) und ein textilverarbeitender Betrieb (66 ng I-TEq / kg TM).

Die PCDD/F-Gesamtgehalte und die entsprechenden I-TEq-Gehalte aller Einzelproben sind in Tabelle 70 auf S. 229f im Anhang zusammengestellt. Die Verteilung der Gehalte für die Summe der PCDD/F ist in Bild 11 und für die toxischen Äquivalente (I-TEq) in Bild 12 als Box-Whisker-Plot dargestellt. Insgesamt zeigt sich, dass die PCDD/F-Gehalte in Abwassersystemen im Vergleich zu früheren Jahren merklich abgenommen haben.

Es lassen sich für die einzelnen Probengruppen keine eindeutigen Regelmäßigkeiten in der Belastungssituation erkennen. Die PCDD/F-Gehalte z.B. in den Sielhäuten beeinflusst von metallbe- und –verarbeitenden Betrieben reichen von 0,9 bis 1500 ng I-TEq / kg TM. In Sielhäuten beeinflusst von Wäschereien wurden PCDD/F-Gehalte von 3 bis 116 ng I-TEq / kg TM gemessen. Damit zeigt sich, dass die Belastungssituation weniger von der Branche als vielmehr von anderen Faktoren abhängig ist. Dieses gilt es in den folgenden Kapiteln weiter herauszuarbeiten.

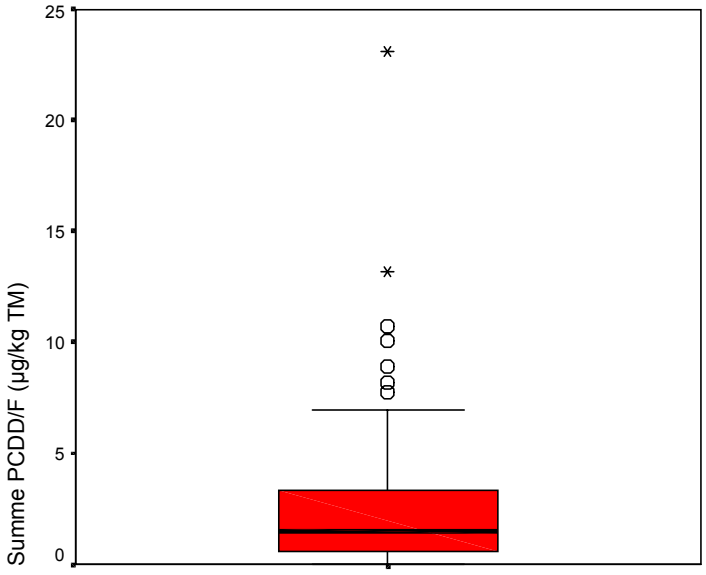


Bild 11 Box-Whisker-Plot der Summe der PCDD/F-Gehalte für 69 von 71 Sielhautproben[41]

[41] Die beiden am höchsten belasteten Proben ME22 und KL09 sind nicht dargestellt.

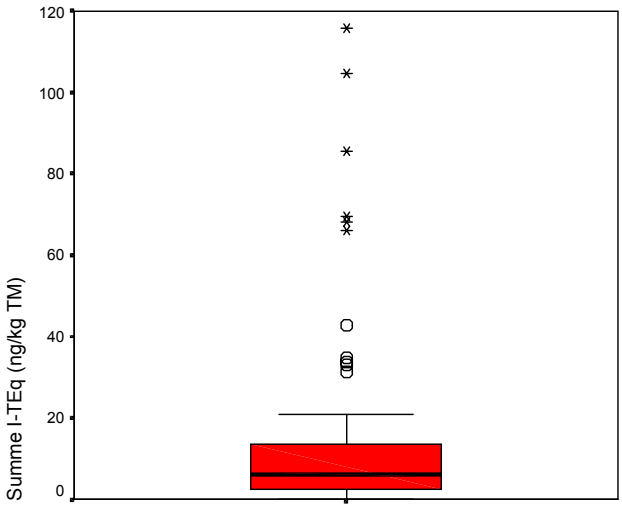


Bild 12 Box-Whisker-Plot der I-TEq-Gehalte für 70 von 71 Sielhautproben, ohne eine Probe mit 1500 ng I-TEq/kg TM

3.3.2 Homologenprofile

Die PCDD/F-Homologenprofile der Sielhautproben ähneln denen anderer aquatischer Proben. Mit dem Chlorierungsgrad ist für Dioxine und Furane eine Zunahme der Homologengehalte festzustellen. Die PCDD-Gehalte liegen um ein Vielfaches über den PCDF-Gehalten. Höher chlorierte Dioxine, insbesondere OCDD, dominieren das PCDD/F-Homologenprofil. Der Anteil von OCDD am gesamten PCDD/F-Gehalt beträgt meist 50 - 80 %, der Anteil von HpCDD etwa 10 – 20 %. Der Anteil aller übrigen Homologe liegt üblicherweise jeweils unter 10 %. In Bild 13 ist das Homologenprofil aller Proben als Box-Whisker-Plot dargestellt.

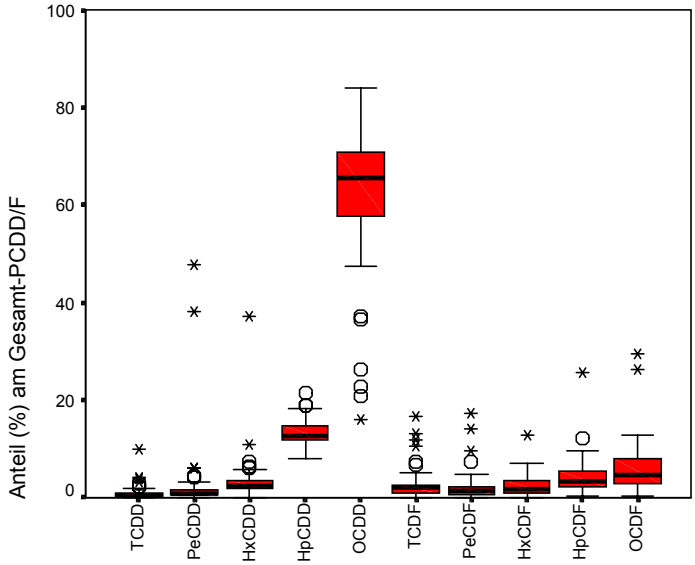


Bild 13 Homologenprofil aller Proben, dargestellt in Form eines Box-Whisker-Plots

Eine Reihe von Proben weichen allerdings erheblich von diesem typischen Homologenprofil ab. Insgesamt sind hier grundsätzlich drei Arten von Abweichungen festzustellen: Hohe Anteile einzelner PCDD-Homologe, überdurchschnittlicher Anteil niederchlorierter Furane und hohe Anteile höherchlorierter Furane. Im Abschnitt 9.5 auf S. 231ff im Anhang sind diese im Detail dokumentiert.

3.3.3 Isomerenmuster

Für die Quellenidentifizierung ist zwar der Vergleich von Homologenprofilen weit verbreitet, aufgrund selektiver An- und Abreicherungsprozesse verursacht durch Unterschiede in den physikalisch-chemischen Eigenschaften ist es aber unsicher, inwieweit sich das Homologenprofil während des Transports in der Umwelt ändert. Da die Isomere derselben Homologengruppe nur geringe Unterschiede im chemisch-physikalischen Verhalten aufweisen, sind mit Hilfe der Isomerenmuster besser abgesicherte Quellenzuordnungen möglich.

Bei den Isomerenmustern der potentiellen Quellen ist problematisch, dass diese stark überlappen können und nicht immer eindeutig zu trennen sind. Alternativ wird daher im Abschnitt 3.3.5 auf S. 43ff auch das Konzept der Indikatorkongenere vorgestellt und angewendet. Hierbei werden Kongenere gezielt ausgewählt, die bestimmten Quellen direkt zugeordnet werden können. Die 2,3,7,8-substituierten Kongenere werden hinsichtlich ihrer Anteile am gesamten I-TEq-Gehalt in Abschnitt 3.3.4 auf S. 42f erläutert. Für die Quellendiskussion werden die toxischen Kongenere hier nicht weiter betrachtet, da sie wenig aussagekräftig für die Quellenzuordnung sind. Im Abschnitt 9.6.1 auf S. 233ff sind die Isomerenmuster aller PCDD/F-Homologe als Box-Whisker-Plots dokumentiert.

Die beiden **TeCDD**-Isomere mit den höchsten Gehalten sind 1,3,6,8-TeCDD und 1,3,7,9-TeCDD. Diese umfassen oft 40 % bzw. 20 % des gesamten TeCDD-Homologengehaltes. Das Massenfragmentogramm der **PeCDD** wird oft von den Isomeren 1,2,4,7,9-/1,2,4,6,8-PeCDD und 1,2,3,6,8-PeCDD dominiert. Ihr Anteil am PeCDD-Homologengehalt beträgt etwa 40 % bzw. 20 %. Bei den **HxCDD** sind 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD und 1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD die dominierenden Isomere. Diese machen oft jeweils 30 - 45 % des gesamten HxCDD-Homologengehaltes aus. 1,2,3,4,6,7,9-**HpCDD** und 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD treten in ähnlichen Mengen auf. In der Mehrzahl der Fälle sind die Gehalte von 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD höher als die von 1,2,3,4,6,7,9-HpCDD.

Von den **TeCDF**-Kongeneren sind häufig eine Vielzahl von Kongeneren nachweisbar. Meist bleiben die einzelnen Kongenere unter 20 % Anteil am gesamten Homologengehalt. 2,4,6,8-/1,2,3,8-/1,4,6,7-/1,2,3,6-TeCDF und 2,3,7,8-TeCDF erreichen oft 10 % des gesamten Homologengehaltes. Von den **PeCDF**-Kongeneren treten viele in Gehalten bis 10 % der gesamten Homologengruppe auf. Einzelne Kongenere liegen häufiger auch darüber: 1,2,3,6,8-/1,3,4,7,8-PeCDF und 1,2,4,6,8-PeCDF. Bei den **HxCDF**-Kongeneren sind 1,2,4,6,7,8-HxCDF und 1,2,4,6,8,9-HxCDF i.d.R. die häufigsten Kongenere. Eine Reihe von Kongeneren erreichen etwa 10 % des Gehaltes der gesamten Homologengruppe: 1,2,3,4,6,8-HxCDF, 1,3,4,6,7,8-/1,3,4,6,7,9-HxCDF, 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-

HxCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 1,2,3,4,6,7-HxCDF und 2,3,4,6,7,8-HxCDF. Von den vier **HpCDF**-Kongeneren sind 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF mit ca. 50 – 70 % und 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF mit meist 30 – 50 % Anteil am Homologengehalt der Gruppe meist die häufigsten Kongenere. Die beiden übrigen Kongenere 1,2,3,4,6,7,9-HpCDF und 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF bleiben i.d.R. unter 10 % Anteil am Gehalt der Homologengruppe.

Vergleich mit Quellmustern. Als wesentliche Quellen für die PCDD/F-Belastung der Umwelt gelten Pentachlorphenol (PCP), Verbrennungsprozesse, polychlorierte Biphenyle (PCB) und Hexachlorcyclohexan (HCH)[42]. Beim Vergleich dieser typischen Isomerenmuster der hier untersuchten Sielhaut- und Klärschlammproben mit den Massenfragmentogrammen bekannter Quellen[43] ist Folgendes festzustellen.

Das Massenfragmentogramm der **TeCDD**-Homologengruppe von PCP bzw. PCP-Na wird von 1,2,3,4-TeCDD als TeCDD-Kongener mit den höchsten Gehalten dominiert. In Verbrennungsproben mit dem 2,6-Chlorphenol-Typ geprägten Verbrennungsmuster sind die beiden als erste eluierenden Kongenere 1,3,6,8-TeCDD und 1,3,7,9-TeCDD die absolut dominierenden Peaks. Die PCB-Mischung Clophen A60 zeigt 1,2,7,8-TeCDD, 2,3,7,8-TeCDD und 1,3,7,8-TeCDD als Kongenere mit den höchsten Gehalten. Damit erscheint die TeCDD-Belastung der Mehrzahl der Sielhautproben wesentlich von Verbrennungsquellen (MVAs etc.) beeinflusst (vgl. Bild 96 auf S. 233).

Das **PeCDD**-Massenfragmentogramm von PCP zeigt oft folgende Kongenere mit hohen Gehalten: 1,2,4,6,8-/1,2,4,7,9-PeCDD und z.T. 1,2,3,4,7-/1,2,4,6,9-PeCDD bzw. 1,2,3,6,8-PeCDD. Für Verbrennungsproben sind dies oft 1,2,4,6,8-/1,2,4,7,9-PeCDD und 1,2,3,6,8-PeCDD. Für PCBs wird das PeCDD-Massenfragmentogramm von 1,2,4,7,8-PeCDD dominiert. In HCH ist 1,2,3,7,8-PeCDD der höchste Peak. Die Sielhäute können hier sowohl von Verbrennungsquellen als auch von PCP beeinflusst sein, da sich die Muster dieser beiden Quellen den in Sielhäuten meist vorzufindenden Mustern ähneln (vgl. Bild 97 auf S. 234).

Die **HxCDD**-Massenfragmentogramme von PCP bzw. PCP-Na sind oft von 1,2,3,6,7,8-HxCDD und 1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD sowie z.T. von 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD dominiert. In Verbrennungsproben ist 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD oft der Peak mit der größten Intensität. In PCB fallen 1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD als größte Peaks auf. In HCH sind 1,2,3,6,7,8-HxCDD und 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD dominierend. Beim Vergleich mit den Sielhautproben in Bild 98 auf S. 234 fällt auf, dass ein Teil der PCP-Proben und die meisten Verbrennungsproben dem HxCDD-Muster in den Sielhäuten ähneln. Daher kommen hier sowohl PCP als auch Verbrennungsquellen grundsätzlich als Kontaminationsquellen für HxCDD in den Sielhäuten in Frage.

---

[42] vgl. Fiedler et al. (1990), Rappe (1996), Wintermeyer und Rotard (1994)

[43] vgl. Bacher (1992), Brunner (1990), Dawidowsky (1993), Swerev (1988)

Im **HpCDD**-Massenfragmentogramm von PCP (ebenso von HCH) ist der Peak des später eluierenden 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD größer als der des früher eluierenden 1,2,3,4,6,7,9-HpCDD. Bei Verbrennungsproben und PCB ist dies genau umgekehrt. Da in Sielhautproben ebenfalls der an zweiter Stelle dominierende Peak meist größer ist (vgl. Bild 99), deutet dies darauf hin, dass HpCDD in den Sielhäuten stärker von PCP beeinflusst ist.

Der größte Peak im **TeCDF**-Massenfragmentogramm von PCP ist 1,2,3,6-/1,2,3,8-TeCDF[44]. In Verbrennungsproben finden sich eine Vielzahl von Kongeneren, die in ähnlichen Mengen auftreten. In PCB-Proben von Clophen A60 sind 2,3,7,8-TeCDF und 2,3,6,7-TeCDF die größten Peaks, während für andere PCB-Chargen auch andere Zusammensetzungen ermittelt wurden. Im TeCDF-Massenfragmentogramm von HCH sind 1,2,4,6-/1,3,4,6-TeCDF dominierend. In den untersuchten Sielhautproben waren nur selten dominierende Kongenere festzustellen, stattdessen waren oft eine Vielzahl von Kongeneren mit ähnlichen Gehalten nachweisbar (vgl. Bild 100 auf S. 235). Daher erscheint hier eine wesentliche Beeinflussung durch Verbrennungsquellen vorzuliegen.

Das **PeCDF**-Massenfragmentogramm von PCP zeigt hohe Gehalte von 1,2,4,6,8-PeCDF und z.T. 1,2,3,4,7-/1,4,6,7,8-PeCDF. In Verbrennungsproben sind eine Vielzahl von PeCDF-Isomeren nachweisbar, zumindest in einem Teil der Proben erscheinen 1,2,3,6,8-/1,3,4,7,9-PeCDF und 1,2,4,6,8-PeCDF als wichtige Peaks. Im PeCDF-Massenfragmentogramm von PCBs dominiert meist 1,2,4,7,8-PeCDF. In HCH sind 1,2,3,4,8-/1,2,3,7,8-PeCDF und 1,4,6,7,8-PeCDF die häufigsten Kongenere. Da in den Sielhautproben ähnliche PeCDF-Kongenere wie in vielen Verbrennungsproben dominieren (vgl. Bild 101 auf S. 236), bestätigt sich damit der Einfluss von Verbrennungsquellen auf die PeCDF-Belastung der Sielhäute.

Im **HxCDF**-Massenfragmentogramm von PCP ist 1,2,4,6,8,9-HxCDF das Kongener mit der größten Intensität. In Verbrennungsproben haben oft die 1,2,4,6,7,8-HxCDF und 1,3,4,6,7,8-HxCDF-Kongenere den größten Anteil an der Homologengruppe. In den PCB-Proben waren i.d.R. 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF der dominierende Peak, z.T. auch 1,3,4,6,7,8-HxCDF. In HCH war ebenfalls 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF dominierend. Auch für die HxCDF-Kongenere in den Sielhäuten zeigt sich in Bild 102 auf S. 236 die größte Ähnlichkeit mit Verbrennungsproben, gewisse Einflüsse von PCP sind aber auch erkennbar.

Im **HpCDF**-Massenfragmentogramm von PCP bzw. PCP-Na dominiert 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF. Im Gegensatz dazu ist in Verbrennungsproben 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF der größte Peak. Für PCBs sind 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF und 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF signifikant. In HCH ist 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF das intensivste Kongener. Da in den Sielhautproben (vgl. Bild 103 auf S. 237) sowohl 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF und 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF in bedeutenden Mengen auftreten (ersteres meist in größeren Mengen), ist hier von einer Überlappung von PCP und Verbrennungsquellen auszugehen. PCBs ähneln auch diesem Muster, ihr Einfluss ist allerdings weniger wahrscheinlich.

---

[44] Hier koeluierend mit 2,4,6,8-/1,4,6,7-TeCDF.

Beim Vergleich mit Isomerenmustern potentieller Quellen ist festzustellen, dass sowohl PCP als auch Verbrennung zur PCDD/F-Belastung der Mehrzahl der Sielhäute beitragen. Während für TeCDD, TeCDF, PeCDF und HxCDF wesentliche Beiträge von Verbrennungsquellen festzustellen waren, waren nur für HpCDD eine Dominanz von PCP nachzuweisen. Für PeCDD, HxCDD und HpCDF konnte dies nicht eindeutig geklärt werden. Bei der Summe PCDD/F ist damit PCP die überwiegende Quelle, aufgrund der Dominanz bei den höherchlorierten PCDD, den Homologen mit den höchsten PCDD/F-Gehalten. Demgegenüber konnte nachgewiesen werden, dass die Mehrzahl der PCDD/F-Homologen, insbesondere die niederchlorierten PCDF, am stärksten von Verbrennungsquellen beeinflusst sind. Damit ist für die toxischen Kongenere, aufgrund der geringeren Bedeutung der höherchlorierten PCDD, ein größerer Einfluss der Verbrennungsquellen zu erwarten (vgl. hierzu Abschnitt 3.3.4 auf S. 42). Tabelle 11 gibt eine Übersicht über die dominierenden Quellen der einzelnen PCDD/F-Homologen entsprechend der Isomerenmuster.

Tabelle 11 Dominierende Quellen der PCDD/F-Homologen basierend auf den Isomerenmustern

PCDD/F-Homolog	Quelle	PCDD/F-Homolog	Quelle
TeCDD	Verbrennung	TeCDF	Verbrennung
PeCDD	Verbrennung/PCP	PeCDF	Verbrennung
HxCDD	PCP/Verbrennung	HxCDF	Verbrennung/PCP
HpCDD	PCP	HpCDF	Verbrennung/PCP

Außergewöhnliche Isomerenmuster. Eine Reihe von Proben weichen allerdings von diesem üblichen Isomerenmuster ab, z.T. sind diese Proben mit außergewöhnlich hohen PCDD/F-Gehalten belastet. In den Abschnitten 9.6.2 - 9.6.5 auf S. 237ff im Anhang werden ausgewählte Isomerenmuster dieser Proben und soweit verfügbar Hinweise zu möglichen Quellen vorgestellt. Die hier diskutierten Sielhaut- und Klärschlammproben werden zu folgenden Gruppen zusammengefasst: Proben beeinflusst von Wäschereien und Textilverarbeitung, Proben mit deutlichem PCP-Einfluss, Proben mit PCB-Einfluss und solche mit anderen Einflüssen.

Die Sielhautproben im Abstrom einiger Wäschereien und textilverarbeitender Betriebe können nicht eindeutig einer bestimmten Quelle zugeordnet werden. Die Kongenere mit hohen Gehalten unterscheiden sich weitgehend zwischen den Sielhautproben. Über einen bedeutenden Einfluss von auf Chloranil basierenden Farbstoffen kann nur spekuliert werden. Eine Reihe anderer Proben kann eindeutig spezifischen Quellen zugeordnet werden. Auffällig ist, dass die Homologen sich erheblich unterscheiden können. Beispielsweise wird für die Proben ME22 und WÄ07 der Einfluss von PCP u.a. anhand der höherchlorierten PCDF-Homologengruppen nachgewiesen. In den Proben PW14 und KL23 ist der PCP-Einfluss demgegenüber nur für die niederchlorierten Dioxine erkennbar.

Tabelle 12 gibt eine Übersicht über die Quellenzuordnung der Sielhautproben mit außergewöhnlichen Isomerenmustern.

Tabelle 12 Übersicht über die Quellzuordnung außergewöhnlicher Isomerenmuster

Probe	Quelle	Kongenere mit ungewöhnlich hohen Gehalten
PW14	PCP	1,2,4,6,9-/1,2,3,4,7-PeCDD
KL23	PCP	1,2,3,4-/1,2,4,6-/1,2,4,9-/1,2,3,8-TeCDD
ME22	PCP	1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD, 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,4,6,8-PeCDF, 1,2,4,6,8,9-HxCDF, 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF
WÄ07	PCP	1,2,4,6,8,9-HxCDF, 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF
WÄ09	unbekannt	1,3,6,9-/1,2,4,7-/1,2,4,8-TeCDD, 1,2,3,4-/1,2,4,6-/1,2,4,9-/1,2,3,8-TeCDD, 1,2,4,7,9-/1,2,4,6,8-PeCDD
WÄ06	unbekannt	2,3,7,8-TeCDD, 1,2,3,4-/1,2,4,6-/1,2,4,9-/1,2,3,8-TeCDD, 1,2,3,9-TeCDD, 2,3,4,6,8-PeCDF, 1,2,3,4,6,8-HxCDF
TX07/KU02	unbekannt	1,2,3,7,8,9-HxCDD, 1,2,3,4,6,7-HxCDD, 1,2,4,7-TeCDF, 1,3,4,7,9-PeCDF
TX06	unbekannt	1,2,3,6,8-PeCDD, 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD, 1,3,4,7-TeCDF, 1,3,4,8-TeCDF, 1,2,3,4,8-/1,2,3,7,8-PeCDF, 1,2,3,4,6,8-HxCDF, 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF, 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF
FH01	PCB	1,2,4,8,9-PeCDD, 1,2,4,7,8-PeCDF, 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF, 1,2,3,4,6,7-HxCDF
PH05	PCB	2,3,7,8-TeCDF, 1,2,3,4,8-/1,2,3,7,8-PeCDF, 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF
KW26	Verbrennung	1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 1,2,3,4,6,7-HxCDF
HA01	unbekannt	1,3,4,6,9-PeCDF

3.3.4 Toxische Kongenere

Für die gesundheitliche und ökotoxikologische Bewertung der Belastungssituation ist letztlich nicht der Gehalt aller Dioxine und Furane entscheidend, sondern nur die Gehalte der 2,3,7,8-substituierten Kongenere, die auch als toxische Kongenere bezeichnet werden. Hierbei werden die Gehalte der 2,3,7,8-substituierten Kongenere mit dem kongenerenspezifischen internationalen Toxizitätsäquivalenz-Faktor (ITF) multipliziert[45]. In dem folgenden Bild 14 sind die Anteile der einzelnen Kongenere am gesamten I-TEq-Gehalt für alle Sielhaut- und Klärschlammproben als Box-Whisker-Plot dargestellt.

Die drei Kongenere 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD und 2,3,4,7,8-PeCDF tragen für die meisten Proben mit jeweils 15 – 25 % zum I-TEq-Gesamtgehalt bei. Das Kongener mit dem höchsten toxischen Äquivalenzfaktor (2,3,7,8-TeCDD) ist meist für weniger als 10 % des gesamten I-TEq-Gehaltes verantwortlich, in Einzelfällen kann dies allerdings auch über 60 % betragen. Der I-TEq-Anteil für eine Reihe von Kongeneren liegt häufig im Bereich von 5 – 10 % des gesamten I-TEq Gehaltes. Es sind dies 1,2,3,7,8-PeCDD, 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,7,8,9-HxCDD, 2,3,7,8-TeCDF, 1,2,3,4,7,8-HxCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 2,3,4,6,7,8-HxCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF. Wird die mit den Isomerenmustern erarbeitete Zuordnung zu Verbrennungsquellen und PCP zugrundegelegt, ergibt sich damit, dass beide Quellgruppen im Durchschnitt zu 30 – 40 % für die I-TEq-Belastung der Sielhäute verantwortlich sind.

[45] NATO-CCMS (1988)

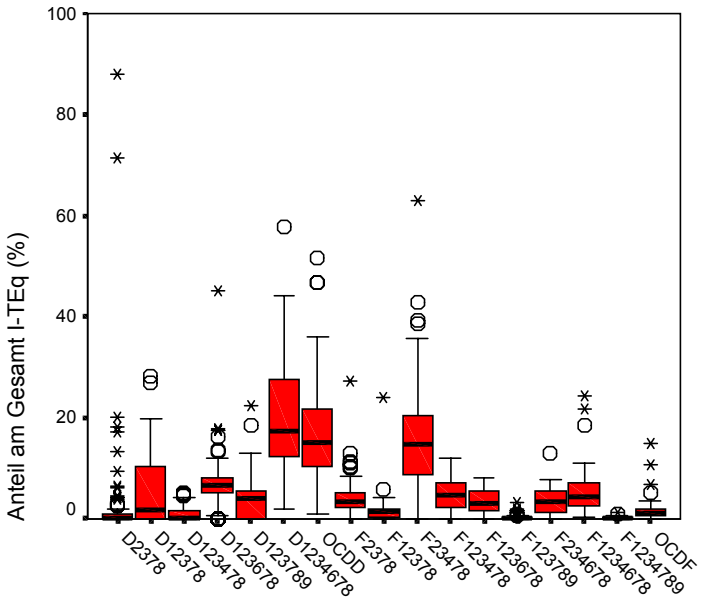


Bild 14 Box-Whisker-Plot der Anteile der einzelnen 2,3,7,8-substituierten Kongenere am gesamten I-TEq-Gehalt (%)

3.3.5 Indikatorkongenere

Für die Quellenidentifizierung von Dioxinen und Furanen wurde bisher meist auf die Homologenprofile und ggf. ergänzend auf die toxischen Kongenere zurückgegriffen[46], da die Massenfragmentogramme mit den vollständigen Isomerenmustern bzw. die Gehalte der nicht-2,3,7,8-substituierten Kongenere meist nicht verfügbar sind.

An der Verwendung der Homologenprofile ist problematisch, dass sich diese während des Transports von der Emission zur Immission durch selektive An- und Abreicherungsprozesse erheblich verändern können und damit nach dem „falschen" Quellprofil gesucht wird. Auch mit den in dieser Arbeit durchgeführten Untersuchungen hat sich bestätigt, dass das Homologenprofil stark dem von PCP ähnelt, diese Quelle aber nicht unbedingt hauptverantwortlich für die PCDD/F-Belastung aller Kongenere in den Sielhäuten ist (vgl. die Diskussion von außergewöhnlichen Isomerenmustern im Abschnitt 9.6.2 - 9.6.5 auf S. 237ff).

Nachteil der Verwendung von toxischen Kongeneren für die Quellenermittlung ist, dass abhängig von der verwendeten Säule unterschiedliche Koeluenten auftreten können und die Anteile der toxischen Kongenere nicht spezifisch für bestimmte Quellen sind.

In dieser Arbeit wird daher ein neuer Ansatz mit Hilfe von „Indikatorkongeneren" verfolgt. Hier werden für die verschiedenen Quellen die charakteristischen Kongenere, sowohl 2,3,7,8-substituierte als auch nicht-2,3,7,8-substituierte Kongenere, selektiert. Indikatorkongenere treten möglichst nur in einer Quelle auf und sind daher in den übrigen Quellen

[46] vgl. Ballschmiter und Bacher (1996), She (1992)

nicht oder nur in sehr begrenztem Maße vorhanden. Die Indikatorkongenere wichtiger Quellen sind in der folgenden Tabelle 13 zusammengefasst. Im Folgenden werden die Gehalte der Indikatorkongenere in den Sielhautproben im Detail betrachtet.

Tabelle 13 Indikatorkongenere für bedeutende PCDD/F-Quellen[47]

Indikatorkongenere	2,3-CP-Verbrennungs-muster	2,6-CP-Verbrennungs-muster	Ver-kehr	PCP	PCB	Chlor blei-che	techni-sches HCH
D1368		x					
D1379		(x)					
D1378	x						x
D2378						x	
D1234				x			
D12468/12479		x					
D12368	x	x					
D12379		x					
D12378							x
D124679/124689/123468		x		x			x
D123679/123689	x			x			x
D123678				x			x
D1234678				x			x
F1378/1379	x						
F1248/1346							x
F1236/1238				x			
F1278						x	
F1267			--				
F2347		x					
F2378					x	x	
F12468				x			
F12478					x	x	
F12348/12378							x
F23478					x	x	
F123478/123479					x	x	x
F124689				x			
F1234678					x	x	x
F1234689				x			

Von den **TeCDD**-Indikatorkongeneren tritt in den Sielhäuten 1,3,6,8-TeCDD und 1,3,7,9-TeCDD als häufigstes Kongener auf. Diese können mit dem 2,6-Chlorphenol-Typ geprägten Verbrennungsmuster in Verbindung gebracht werden. Das insbesondere vom 2,3-Chlorphenol-Typ geprägte Verbrennungsmuster, das von HCH geprägte TeCDD-Kongener 1,3,7,8-TeCDD und das von PCP geprägte 1,2,3,4-TeCDD liegen meist unterhalb von 20% am gesamten TeCDD-Homologengehalt. 2,3,7,8-TeCDD, das insbesondere während der Chlorbleiche neben den übrigen charakteristischen 2,3,7,8-TeCDF und

[47] Für den Verkehr ist die Abwesenheit von 1,2,6,7-TeCDF charakteristisch, während alle übrigen Kongenere wie in Verbrennungsprozessen vorhanden sind. Die Indikatorkongenere wurden aus Massenfragmentogrammen der folgenden Veröffentlichungen zusammengestellt: Bacher (1992), Brunner (1990), Oehme et al. (1991), Rotard et al. (1990), Swanson (1988), Swerev (1988), Wakimoto et al. (1988)

1,2,7,8-TeCDF-Kongeneren in der Papierherstellung entsteht, liegt meist unterhalb von 10 % der TeCDD-Homologengehalte.

Bei den **PeCDD**-Kongeneren sind die von Verbrennungsquellen – insbesondere dem 2,6-Chlorphenol-Muster – geprägten Kongeneren 1,2,4,6,8-/1,2,4,7,9-PeCDD, 1,2,3,6,8-PeCDD und 1,2,3,7,9-PeCDD in den Sielhäuten am stärksten vertreten, während das auf technisches HCH hinweisende Kongener 1,2,3,7,8-PeCDD i.d.R. nur eine untergeordnete Rolle spielt.

Die **HxCDD**-Kongenere treten in den Sielhäuten meist in folgender Intensität auf: 1,2,3,6,7,9-HxCDD ≥ 1,2,4,6,7,9-HxCDD > 1,2,3,6,7,8-HxCDD. Da diese von PCP, HCH bzw. z.T. von Verbrennungsquellen emittiert werden, ist eine eindeutige Quellenzuordnung hier nicht möglich.

Das **HpCDD**-Kongener 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, das hauptsächlich auf PCP und HCH zurückzuführen ist, hat in den Sielhäuten meist einen Anteil von 50 – 60 % des gesamten HpCDD-Homologengehaltes. Damit überwiegt zwar dieses Kongener gegenüber dem anderen, es ist aber nicht so dominant, wie eine alleinige Beeinflussung dieser Quelle erwarten lassen würde.

Bei den **TeCDF**-Kongeneren liegen in den Sielhäuten alle Indikatorkongenere meist unterhalb von 10 % der TeCDF-Homologengehalte. Die Indikatorkongenere mit den größten Gehalten sind 2,4,6,8-/1,2,3,8-/1,4,6,7-/1,2,3,6-TeCDF, 2,3,7,8-TeCDF und 1,2,7,8-TeCDF. Diese Kongenere tauchen in PCP, Chlorbleiche bzw. PCB als charakteristische Kongenere auf. Da diese aber ebenfalls in Verbrennungsquellen – wenn auch nicht in so dominierenden Mengen – enthalten sind, bleibt eine eindeutige Quellenzuordnung hier schwierig. Die übrigen Kongenere 1,3,7,8-/1,3,7,9-TeCDF (2,3-Chlorphenol-Verbrennungsmuster), 1,2,4,8-/1,3,4,6-TeCDF (HCH), 1,2,6,7-TeCDF (abwesend in Autoabgasen) und 1,2,3,9-/2,3,4,7-TeCDF (2,6-Chlorphenol-Verbrennungsmuster) treten meist in Mengen unterhalb von 10 % der TeCDF-Homologengehalte auf.

Von den vier **PeCDF**-Indikatorkongeneren sind 1,2,4,6,8-PeCDF, 1,2,3,4,8-/1,2,3,7,8-PeCDF und 2,3,4,7,8-PeCDF in den Sielhäuten in ähnlichen Gehalten anzutreffen. Da diese verschiedenen Quellen (PCP, PCB, Chlorbleiche bzw. HCH) zugeordnet werden, ist hier keine eindeutige Quellenidentifizierung möglich. Da Verbrennungsquellen die Kongenere zwar nicht als dominierende Kongenere, aber doch in signifikanten Mengen emittieren, könnten auch Verbrennungsquellen hier einen Beitrag leisten.

Bei den **HxCDF** ist in Sielhäuten das auf PCP hinweisende Kongener 1,2,4,6,8,9-HxCDF stärker vertreten als die in PCB, Chlorbleiche oder HCH enthaltenen Kongenere 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF.

Dieser Zusammenhang kehrt sich in den Sielhäuten bei den **HpCDF**-Kongeneren um. Das auf PCB, Chlorbleiche und HCH hinweisende 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF tritt i.d.R. häufiger auf als das auf PCP hinweisende 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF.

Tabelle 14 gibt eine Übersicht über die Quellenzuordnung der Indikatorkongenere entsprechend der jeweiligen Homologengruppe. Insgesamt ist die hiermit erfolgte Quellen-identifizierung nicht so eindeutig wie für die in Tabelle 11 dargestellten gesamten Isomerenmustern. Es lässt sich aber eine ähnliche Tendenz erkennen: Niederchlorierte Dioxine und Furane sind stärker von Verbrennungsquellen beeinflusst, während höherchlorierte Dioxine und Furane eher von PCP beeinflusst sind.

Tabelle 14 Quellenzuordnung der Homologengruppen in den Sielhautproben ausgehend von den Indikatorkongeneren

Homologengruppe	Signifikante PCDD/F Quelle
TeCDD	Verbrennung
PeCDD	Verbrennung
HxCDD	gemischt, nicht eindeutig
HpCDD	PCP bzw. HCH
TeCDF	nicht eindeutig
PeCDF	nicht eindeutig
HxCDF	PCP
HpCDF	PCB/Chlorbleiche/HCH

Dass die Quellen mit Hilfe der Indikatorkongenere nicht so eindeutig zugeordnet werden können wie manchmal erhofft, kann folgende Gründe haben:

- Einzelne Kongenere lassen sich nicht nur einer bestimmten Quelle zuordnen, sondern sie werden nicht selten von verschiedenen Quellen emittiert.
- Eine Reihe von Quellen (insbesondere die Verbrennung) emittiert nur selten charakteristische Kongenere. Oft sind es eine Vielzahl von Kongeneren ohne einzelne dominierende Kongenere. Hier ist eine Zuordnung dieser Quellgruppe zu Indikatorkongeneren oft nicht möglich.
- Außer diesen „primären“ Indikatorkongeneren treten für einige Quellen weitere, weniger wichtige charakteristische Kongenere auf. Diese sind nur in einem Teil der Quellproben anzutreffen oder sind zwar in größeren Mengen als in anderen Quellen zu finden, sind aber für die Homologengruppen nicht das Isomer mit den höchsten Gehalten. Da es nur für eine begrenzte Anzahl von Indikatorkongeneren sinnvoll und möglich ist, wurde auf deren Einbezug bewusst verzichtet.

3.3.6 Korrelation der PCDD/F-Homologen und Kongenere

Um mehr über das gleichzeitige Auftreten verschiedener Homologen und Kongenere zu erfahren, wurden eine Reihe von Korrelationsanalysen durchgeführt[48]. Diese umfassen z.T. die Pearson’sche Korrelation als auch die Rangkorrelation nach Spearman jeweils

[48] Die Methodik der Korrelationsanalyse ist im Detail im Abschnitt 7.4.3 auf S. 168 erläutert.

bezogen auf die absoluten Gehalte als auch relativ zum gesamten PCDD/F-Gehalt bzw. zur jeweiligen Homologengruppe.

Korrelation der Homologen. Die Korrelation nach Pearson und die Rangkorrelation nach Spearman der Homologenprofile, d.h. der relativen Anteile der einzelnen Homologen am gesamten PCDD/F-Gehalt, zeigen Tabelle 15 bzw. Da für die **absoluten Homologengehalte** nicht von einer Normalverteilung auszugehen ist, ist hier nur die Spearman'sche Rangkorrelation anwendbar. Diese kommt zum Ergebnis, dass alle Homologen signifikant miteinander korreliert sind. D.h. wenn ein Homolog einen höheren Gehalt aufweist, ist es meist so, dass andere Homologen ebenfalls einen höheren Gehalt haben. Die Korrelationskoeffizienten liegen im Bereich von etwa 0,5 bis 0,97. Für benachbarte Homologen liegt der Korrelationskoeffizient näher an 1 als für Homologen, die über stark abweichende Chlorierungsgrade verfügen und aus unterschiedlichen Verbindungsgruppen (Dioxine vs. Furane) stammen.

Tabelle 16. Hier sind niederchlorierte Dioxine und Furane jeweils signifikant miteinander korreliert. TeCDD mit PeCDD auf der einen Seite und TeCDF, PeCDF und HxCDF untereinander auf der anderen Seite. Interessant ist auch, dass diese beiden Homologengruppen miteinander nur nach Spearman signifikant korreliert sind, nicht aber nach Pearson. HxCDD ist demgegenüber eindeutig signifikant mit den niederchlorierten PCDF-Homologen, insbesondere TeCDF, korreliert. Die höherchlorierten PCDD/F-Homologen sind in begrenztem Maße miteinander signifikant korreliert, aber nur mit ein oder zwei benachbarten Homologen derselben Verbindungsgruppe.

Tabelle 15 Korrelation der PCDD/F-Homologen nach Pearson

PCDD/F-Homolog	Signifikant positiv korreliert mit:
TeCDD	PeCDD
PeCDD	TeCDD, OCDD
HxCDD	OCDD, TeCDF
HpCDD	PeCDF, HxCDF
OCDD	PeCDD, HxCDD, TeCDF. PeCDF, HxCDF, HpCDF, OCDF
TeCDF	HxCDD, OCDD, PeCDF, HxCDF
PeCDF	HpCDD, OCDD, TeCDF, HxCDF
HxCDF	HpCDD, OCDD, TeCDF, PeCDF, HpCDF
HpCDF	OCDD, HxCDF, OCDF
OCDF	OCDD, HpCDF

Da für die **absoluten Homologengehalte** nicht von einer Normalverteilung auszugehen ist, ist hier nur die Spearman'sche Rangkorrelation anwendbar. Diese kommt zum Ergebnis, dass alle Homologen signifikant miteinander korreliert sind. D.h. wenn ein Homolog einen höheren Gehalt aufweist, ist es meist so, dass andere Homologen ebenfalls einen höheren Gehalt haben. Die Korrelationskoeffizienten liegen im Bereich von etwa 0,5 bis 0,97. Für benachbarte Homologen liegt der Korrelationskoeffizient näher an 1

als für Homologen, die über stark abweichende Chlorierungsgrade verfügen und aus unterschiedlichen Verbindungsgruppen (Dioxine vs. Furane) stammen.

Tabelle 16 Rangkorrelation der PCDD/F-Homologen nach Spearman

PCDD/F-Homolog	Signifikant korreliert mit:
TeCDD	PeCDD, HxCDD, OCDD, TeCDF, PeCDF
PeCDD	TeCDD, HxCDD, OCDD, TeCDF, PeCDF, HxCDF
HxCDD	TeCDD, PeCDD, OCDD, TeCDF, PeCDF, HxCDF
HpCDD	
OCDD	TeCDD, PeCDD, HxCDD, TeCDF, PeCDF, HxCDF, HpCDF, OCDF
TeCDF	TeCDD, PeCDD, HxCDD, OCDD, PeCDF, HxCDF
PeCDF	TeCDD, PeCDD, HxCDD, OCDD, TeCDF, HxCDF, HpCDF
HxCDF	PeCDD, HxCDD, OCDD, TeCDF, PeCDF, HpCDF, OCDF
HpCDF	OCDD, PeCDF, HxCDF, OCDF
OCDF	OCDD, HxCDF, HpCDF

Korrelation der Kongenere. Aufgrund der Vielzahl von Kongeneren ist es nur möglich, auf einzelne ausgewählte Kongenere einzugehen. Es werden gezielt solche Kongenere angesprochen, von denen bekannt ist, dass sie als Indikatorkongenere für bestimmte Quellen gelten und hauptsächlich von einer Quelle emittiert werden. Auch hier stehen grundsätzlich die Ansätze der Pearson'schen Korrelation und der Spearman'sche Rangkorrelation jeweils für die absoluten Gehalte und die relativen Verteilungen innerhalb eines Homologen zur Verfügung. Die Pearson'sche Korrelation wird hier nur für die Isomerenmuster (auf die jeweiligen Homologen bezogene relativen Verteilungen) betrachtet, da bei den absoluten Gehalten nicht von einer Normalverteilung auszugehen ist. Beispielhaft für ein Indikatorkongener wird im Folgenden die signifikante Korrelation (Signifikanzniveau 1 %) für 1,2,3,4-TeCDD, einem Indikatorkongener von PCP, vorgestellt.

Bei der **Korrelation nach Pearson** für die relativen Gehalte (normiert auf die jeweiligen Homologengehalte) ist 1,2,3,4-TeCDD signifikant negativ korreliert mit 1,3,6,8-TeCDD, 1,3,7,9-TeCDD und 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD. Während die beiden TeCDD-Kongenere als Indikatorkongenere für Verbrennungsquellen betrachtet werden können, wird das HpCDD-Kongener mit PCP in Verbindung gebracht. Eine signifikant positive Korrelation ergibt sich hier für 1,2,3,7-TeCDD, 1,2,6,7-TeCDD, 1,2,3,4,6,9-HxCDD, 1,2,3,4,6,7,9-HpCDD, 2,3,4,6,8-PeCDF. Diese sind jeweils keiner spezifischen PCDD/F-Quelle zuzuordnen. Zu den Indikatorkongeneren für PCP sind somit keine signifikanten Korrelationen festzustellen.

Bei der **Spearman'schen Rangkorrelation** der relativen Gehalte sind erheblich mehr Kongenere signifikant positiv korreliert. Dies betrifft insbesondere andere TeCDD-Isomere, zeigt aber auch hier keine signifikant positive Korrelation zu anderen PCP-Indikator-kongeneren. Bei der Spearman'schen Rangkorrelation der absoluten Gehalte ist ähnlich wie bei den absoluten Gehalten der Homologe ein Großteil der Kongenere signifikant positiv mit 1,2,3,4-TeCDD korreliert.

Tabelle 17 und Tabelle 18 geben eine Übersicht der Indikatorkongenere über die signifikanten Korrelationen (Signifikanzniveau 1 %) nach Pearson und der Rangkorrelationen nach Spearman. Für die Korrelationsanalyse wurden die relativen Gehalte verwendet, d.h. die PCDD/F-Gehalte der Kongenere wurden durch die jeweiligen Homologengehalte geteilt.

Hier zeigt sich, dass Indikatorkongenere derselben Quelle oder Quellgruppe häufiger signifikant korrelieren als mit Indikatorkongeneren anderer Quellen. Es sind aber auch Fälle zu finden, wo z.B. Indikatorkongenere von PCP mit solchen von Verbrennung signifikant positiv korrelieren. Falls Indikatorkongenere von PCP und der Verbrennung in derselben Homologengruppe auftreten, so sind diese häufig negativ miteinander korreliert. Beispiele sind TeCDD und HpCDF. Diese Analyse zeigt allerdings auch, dass eine eindeutige Zuordnung der Kongenere zu einer einzigen Quelle in einer Reihe von Fällen nicht immer gegeben ist.

Tabelle 17 Signifikante Korrelationen der Indikatorkongenere nach Pearson, Signifikanzniveau 1 %, basierend auf den relativen Gehalten[49]

		D1368	D1379	D1378	D2378	D1234	D12468/12479	D12368	D12379	D12378	D124679/124689/123468	D123679/123689	D123678	D1234678	F1378/1379	F1248/1346	F1236/1238	F1278	F1267	F2347	F2378	F12468	F12478	F12348/12378	F23478	F123478/123479	F124689	F1234678	F1234689
		V	V	V/HCH	C	PCP	V	V	V	HCH	V/PCP/HCH	V/PCP/HCH	PCP/HCH	PCP/HCH	V	HCH	PCP	C	VaV	V	PCB/C	PCP	PCB/C	HCH	PCB/C	PCB/C/HCH	PCP	PCB/C/HCH	PCP
D1368	V		+			-																							
D1379	V	+				-			+																				
D1378	V/HCH						+																		+			+	-
D2378	C												+							+									
D1234	PCP	-	-											-															
D12468/12479	V			+				+		-		+																+	
D12368	V						+																						
D12379	V		+																+										-
D12378	HCH						-																						
D124679/124689/123468	V/PCP/HCH											-	-																
D123679/123689	V/PCP/HCH						+				-														+		+		
D123678	PCP/HCH				+						-																		
D1234678	PCP/HCH					-																						-	
F1378/1379	V																												
F1248/1346	HCH																						+		+				
F1236/1238	PCP																	+				+							
F1278	C																+				+	+							
F1267	VaV								+																				
F2347	V				+																								
F2378	PCB/C																	+					+		+	+	+		
F12468	PCP																+	+								-			
F12478	PCB/C															+					+				+	+			
F12348/12378	HCH																									+			
F23478	PCB/C			+								+				+					+					+			
F123478/123479	PCB/C/HCH																				+	-	+	+	+		-		-
F124689	PCP											+									+					-		-	+
F1234678	PCB/C/HCH			+			+							-													-		-
F1234689	PCP			-					-																	-	+	-	

[49] Die in dieser Tabelle verwendeten Abkürzungen für die Quellangaben lauten: C = Chlorbleiche, V = Verbrennung, VaV = Verbrennung außer Verkehr

Tabelle 18 Signifikante Rangkorrelationen der Indikatorkongenere nach Spearman, Signifikanzniveau 1 %, basierend auf den relativen Gehalten

		D1368	D1379	D1378	D2378	D1234	D12468/12479	D12368	D12379	D12378	D124679/124689/123468	D123679/123689	D123678	D1234678	F1378/1379	F1248/1346	F1236/1238	F1278	F1267	F2347	F2378	F12468	F12478	F12348/12378	F23478	F123478/123479	F124689	F1234678	F1234689
		V	V	V/HCH	C	PCP	V	V	V	HCH	V/PCP/HCH	V/PCP/HCH	PCP/HCH	PCP/HCH	V	HCH	PCP	C	VaV	V	PCB/C	PCP	PCB/C	HCH	PCB/C	PCB/C/HCH	PCP	PCB/C/HCH	PCP
D1368	V		+		-	-																							
D1379	V	+			-	-			+																		+		
D1378	V/HCH																											+	-
D2378	C	-	-			+																							
D1234	PCP	-	-		+									-															
D12468/12479	V							+		-																			
D12368	V						+		+																				
D12379	V		+					+											+							+			-
D12378	HCH						-																						
D124679/124689/123468	V/PCP/HCH												-		-														
D123679/123689	V/PCP/HCH												+	+													+		
D123678	PCP/HCH										-	+			+														
D1234678	PCP/HCH					-						+																-	
F1378/1379	V										-		+			+													
F1248/1346	HCH														+								+		+				
F1236/1238	PCP																					+					+		
F1278	C																				+								
F1267	VaV								+											+									
F2347	V																		+										
F2378	PCB/C																	+					+	+	+	+			
F12468	PCP																+										+		
F12478	PCB/C															+					+								
F12348/12378	HCH																				+				+	+			
F23478	PCB/C															+					+			+		+			
F123478/123479	PCB/C/HCH		+						+												+			+	+		-		-
F124689	PCP											+					+					+				-		-	+
F1234678	PCB/C/HCH			+										-													-		-
F1234689	PCP			-					-																		+	-	

3.3.7 Clusteranalyse

Die Clusteranalyse dient der Veranschaulichung von Ähnlichkeiten und Unterschieden zwischen Proben und Parametern[50]. Abhängig von der Auswahl der berücksichtigten Proben und Parameter sowie der verwendeten Normierungs- und Transformierungsverfahren können sich die Clusterstrukturen erheblich unterscheiden. Ziel dieser verschiedenen Auswertungen ist es, unterschiedliche Aspekte hervorzuheben. Es wurden eine Reihe von Clusteranalysen durchgeführt. Im Folgenden wird die Clusteranalyse mit dem stärksten Bezug zur PCDD/F-Quellenermittlung erläutert. Drei weitere Clusteranalysen mit Va-

[50] Die Methodik der Clusteranalyse ist im Detail im Abschnitt 7.4.5 auf S. 169 erläutert.

riationen in der Datenbasis sind in Abschnitt 9.7 auf S. 250ff im Anhang zusammengestellt.

Um die Unterschiede in den Isomerenmustern der Proben hervorzuheben, wurde ein Datensatz erstellt, bei dem der Gehalt der Kongenere durch den jeweiligen Gehalt der Homologengruppe geteilt wurde. Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze wurden durch die Nachweisgrenze ersetzt und die Werte wurden der Box-Cox-Transformation unterzogen. Die folgenden Dendrogramme (Bild 15 und Bild 16) zeigen die Ergebnisse dieser Clusteranalyse.

Im Dendrogramm der Proben (vgl. Bild 15) sind Proben mit außergewöhnlichen Isomerenmustern (vgl. Abschnitt 9.6 auf S. 233 im Anhang) über alle drei Cluster verteilt und häufen sich in Positionen, wo benachbarte Proben nur über große Distanzen zu erreichen sind. Beispiele solcher Proben sind WÄ07, TX06, ME 22, WÄ09, WÄ06, PH05 und FH01. In Cluster 2 ist eine Häufung von Proben anzutreffen, die im Isomerenmuster PCP als wichtige Quelle (ME22, KL23, PW14) identifizierten, sowie von einigen Sielhäuten im Abstrom von Wäschereien und textilverarbeitender Betriebe (WÄ06, WÄ09, TX07/KU02). Dies könnte darauf hinweisen, dass die bisher unbekannte PCDD/F-Belastungsquelle dieser Wäschereien und textilverarbeitenden Betriebe entweder ein spezielles PCP-Muster darstellt oder von einer anderen Chemikalie stammt, die auf eine ähnliche Weise hergestellt wird. Sielhautproben mit höheren Furananteilen, bei denen PCB die Hauptbelastungsquelle darstellt (FH01, PH05) oder die Verbrennung in überdurchschnittlichem Maße zur PCDD/F-Belastung beiträgt, sind im Cluster 3 anzutreffen.

Im Dendrogramm der Kongenere in Bild 16 ist keine eindeutige Zuordnung von Indikatorkongeneren bestimmter Quellen zu einzelnen Clustern zu erkennen, stattdessen treten sie gehäuft in einzelnen Bereichen auf. So sind vier Indikatorkongenere für Verbrennungsquellen am linken Rand von Cluster 1 erkennbar: 1,3,6,8-TeCDD, 1,3,7,9-TeCDD, 1,2,3,6,8-PeCDD und 1,2,3,7,9-PeCDD. Im selben Cluster folgen die Indikatorkongenere 1,2,3,4,8-PeCDF (HCH), 1,2,3,4,7,8-HxCDF (PCB, Chlorbleiche, HCH), 1,2,7,8-TeCDF (Chlorbleiche), 2,3,7,8-TeCDF (PCB, Chlorbleiche) und 2,3,4,7,8-PeCDF (PCB, Chlorbleiche). Die Indikatorkongenere von PCP häufen sich in Cluster 2, dort sind aber auch Indikatorkongenere anderer Quellen zu finden. Zwei Indikatorkongenere von PCP (1,2,3,6,7,8-HxCDD und 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD) sowie ein Indikatorkongener von HCH (1,2,3,7,8-PeCDD) sind in Cluster 3 anzutreffen.

Es bleibt damit festzuhalten, dass in Cluster 1 eine Reihe von Indikatorkongeneren für Verbrennungs- und andere Quellen auftreten, in Cluster 2 gehäuft PCP-Indikatorkongenere zu finden sind und in Cluster 3 schwerpunktmäßig Kongenere mit niedrigen Gehalten auftauchen, die keiner Quelle zuzuordnen sind.

Insgesamt kann hier mit Hilfe der Clusteranalyse zwischen grundlegenden Quelltypen differenziert werden. Die Auftrennung ist zwar nicht immer eindeutig, klare Schwerpunktsetzungen sind aber zu erkennen.

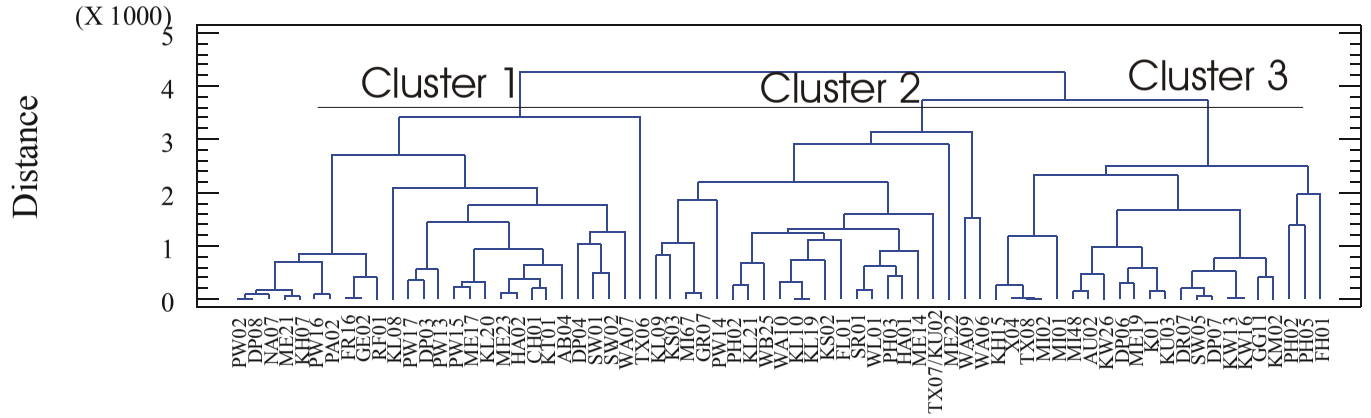


Bild 15 Dendrogramm der Clusteranalyse der relativen Gehalte mit Box-Cox-Transformation: Darstellung der Proben

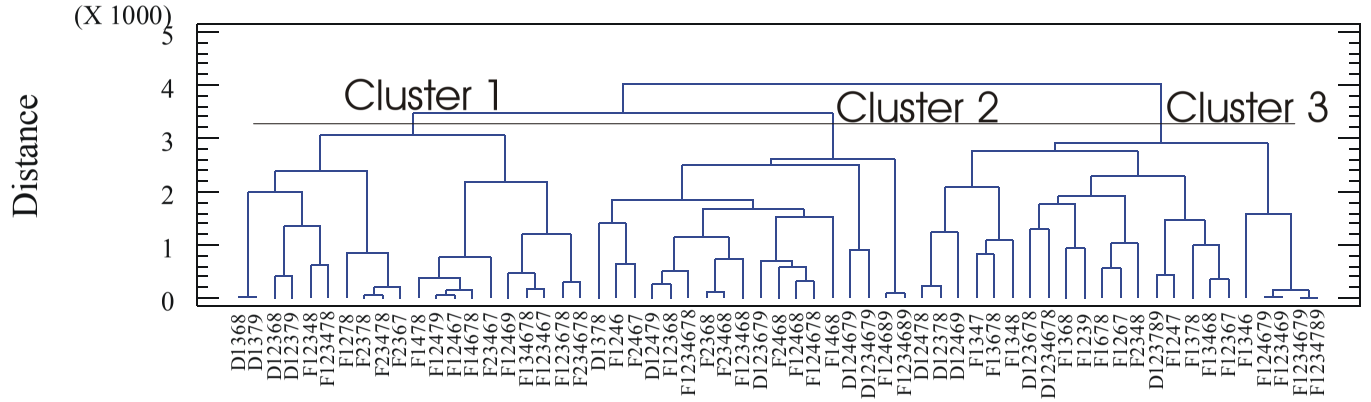


Bild 16 Dendrogramm der Clusteranalyse der relativen Gehalte mit Box-Cox-Transformation: Darstellung der Variablen

3.3.8 Faktorenanalyse

Die Faktorenanalyse dient dazu, die Datenstruktur eines Datensatzes auf möglichst wenige wesentliche Faktoren bzw. Komponenten zu reduzieren und dabei möglichst viel der ursprünglichen Information zu erhalten[51]. Im Idealfall entsprechen die Faktoren jeweils unabhängigen Quellen. Letztlich können über die Ladung der einzelnen Faktoren die Quellbeiträge quantifiziert werden.

Dieser Ansatz beschreibt die grundsätzliche Denkweise bei der Verwendung der Faktorenanalyse für die Quellenidentifizierung. Bei einfachen Zusammenhängen mit einer geringen Zahl möglicher Quellen und genauer Kenntnis der Zusammensetzung dieser Quellen ist dies in der Regel umsetzbar. Für komplexe Zusammenhänge mit einer Vielzahl möglicher Quellen und nur begrenzten Kenntnissen der Zusammensetzung steht die Dimensionsreduktion der Daten und die Veranschaulichung der Datenstruktur im Vordergrund. Hier wird die Lage der Proben bzw. Variablen im Faktorraum in Form von Streudiagrammen dargestellt.

Bei der Verwendung der Faktorenanalyse für die Auswertung von Dioxin- und Furanmessungen bleibt anzumerken, dass nur eine begrenzte Zahl von Quellen in Frage kommt, deren genaue kongenerenspezifische Analyse allerdings nur unzureichend bekannt ist, da in der Vergangenheit häufig nur die Gehalte der 2,3,7,8-substituierten Kongenere und der Homologengruppen ausgewertet wurden.

Ähnlich wie mit der Clusteranalyse wird auch hier mit der Faktorenanalyse derselbe Ursprungsdatensatz in unterschiedlicher Weise normiert, transformiert und Variablen ausgewählt. Es werden drei verschiedene Faktorenanalysen mit unterschiedlicher Datenbasis durchgeführt. Die Faktorenanalyse mit dem stärksten Bezug zur Quellenermittlung wird im Folgenden vorgestellt. Die beiden übrigen Faktorenanalysen sind in Abschnitt 9.8 auf S. 258 im Anhang dokumentiert.

Basis dieser Faktorenanalyse bilden hier die Isomerenmuster, d.h. alle Messwerte der Kongenere wurden durch den Gehalt der jeweiligen Homologengruppe geteilt. Alle Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze wurden durch die Nachweisgrenze ersetzt. Anschließend wurden die Werte Box-Cox transformiert. Nicht alle Kongenere wurden in die Faktorenanalyse einbezogen, sondern nur die in Tabelle 13 auf S. 44 vorgestellten quellspezifischen Indikatorkongenere berücksichtigt. Die Ergebnisse werden nach Anwendung der Varimax-Rotation vorgestellt.

Insgesamt werden 8 Faktoren mit einem Eigenwert größer 1 bestimmt (vgl. Tabelle 19). Die erklärte Varianz beträgt 20 % der Gesamtvarianz für Faktor 1, 14,6 % für Faktor 2, 10,1 % für Faktor 3 und 8 % für Faktor 4. Insgesamt werden mit den ersten 8 Faktoren 75,8 % der Gesamtvarianz erklärt. Tabelle 19 gibt eine Übersicht über die Faktorladungen

[51] Die Methodik der Faktorenanalyse ist im Detail in Abschnitt 7.4.6 auf S. 170 erläutert.

der acht ersten Faktoren. Die Faktorplots und Ladungsdiagramme der Faktoren 1 bis 4 sind in Bild 17 bis Bild 22 dargestellt.

Tabelle 19 Rotierte Komponentenmatrix der Faktorenanalyse[52], basierend auf den Isomerenmustern

Kongenere	Quelle	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Erklärte Gesamtvarianz		20 %	14,6 %	10,1 %	8 %	7,5 %	5,8 %	5,0 %	4,7 %
D1368	Verbrennung	0,048	0,232	0,199	**0,864**	-0,176	0,112	-0,082	0,015
D1379	(Ver-brennung)	-0,084	0,191	0,127	**0,863**	0,019	0,083	0,148	0,084
D1378	Verbrennung /HCH	-0,037	0,067	-0,071	-0,026	0,108	0,011	0,179	**0,660**
D2378	Chlorbleiche	0,030	-0,140	-0,391	-0,386	0,170	-0,107	0,025	-0,133
D1234	PCP	-0,028	0,076	0,201	**-0,853**	0,053	0,146	-0,059	0,024
D12479	Verbrennung	0,289	0,015	**0,750**	0,029	-0,056	0,128	-0,321	0,286
D12368	Verbrennung	0,038	0,150	**0,832**	0,081	-0,095	0,185	0,118	-0,060
D12379	Verbrennung	-0,303	0,285	0,568	0,117	0,096	0,360	0,267	-0,043
D12378	HCH	0,065	-0,065	**-0,646**	0,159	-0,087	-0,009	**0,608**	-0,013
D124679	Verbrennung /PCP/HCH	-0,004	0,032	0,234	0,071	**-0,867**	0,135	-0,215	0,032
D123679	Verbrennung /PCP/HCH	**0,740**	0,085	0,393	-0,006	-0,047	-0,006	0,176	0,263
D123678	PCP/HCH	0,209	-0,054	0,131	-0,225	**0,813**	-0,033	0,133	-0,001
D1234678	PCP/HCH	0,122	0,133	-0,080	0,271	0,347	-0,004	**0,601**	-0,144
F1378	Verbrennung	0,006	-0,238	0,055	-0,081	0,259	-0,124	**0,743**	0,247
F1346	HCH	-0,142	-0,071	-0,160	0,059	0,065	**-0,873**	-0,016	0,131
F2468	PCP	0,518	0,155	0,099	0,052	-0,193	0,408	-0,149	0,315
F1278	Chlorbleiche	-0,062	**0,716**	0,040	0,121	0,263	0,354	-0,111	0,075
F1239	Verbrennung	0,343	-0,363	-0,133	0,103	0,299	-0,062	-0,352	0,132
F2378	PCB/Chlor-bleiche	0,028	**0,886**	0,141	0,159	-0,017	0,016	-0,210	0,036
F12468	PCP	**0,650**	0,002	0,060	0,227	0,354	0,295	-0,073	0,242
F12478	PCB/Chlor-bleiche	-0,179	-0,034	-0,185	-0,089	0,086	**-0,811**	0,093	-0,192
F12348	HCH	-0,247	**0,646**	0,137	0,120	-0,348	0,277	0,282	-0,015
F23478	PCB	0,205	**0,832**	0,089	0,088	-0,105	-0,140	0,059	0,125
F123478	PCB/Chlor-bleiche/HCH	**-0,673**	0,408	0,230	0,051	-0,327	-0,185	0,053	0,057
F124689	PCP	**0,807**	-0,018	-0,081	-0,115	0,153	0,084	-0,001	-0,346
F1234678	PCB/Chlor-bleiche/HCH	-0,010	0,125	0,283	0,144	-0,189	0,075	-0,160	**0,793**
F1234689	PCP	**0,718**	0,162	0,010	-0,046	-0,054	0,026	0,139	-0,509

[52] Kongenere mit Ladungen größer als 0,6 wurden hervorgehoben.

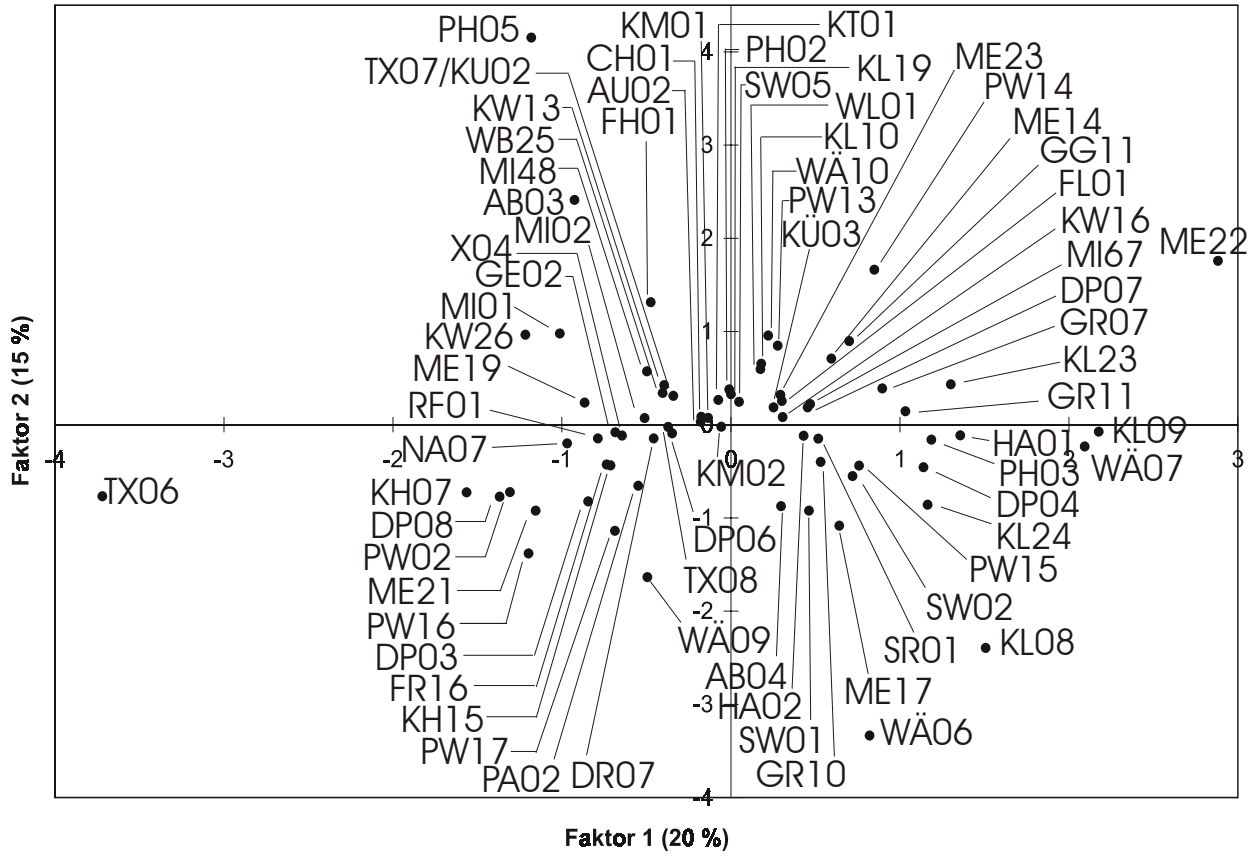


Bild 17 Faktorplot der Faktorenanalyse: Faktor 1 und 2

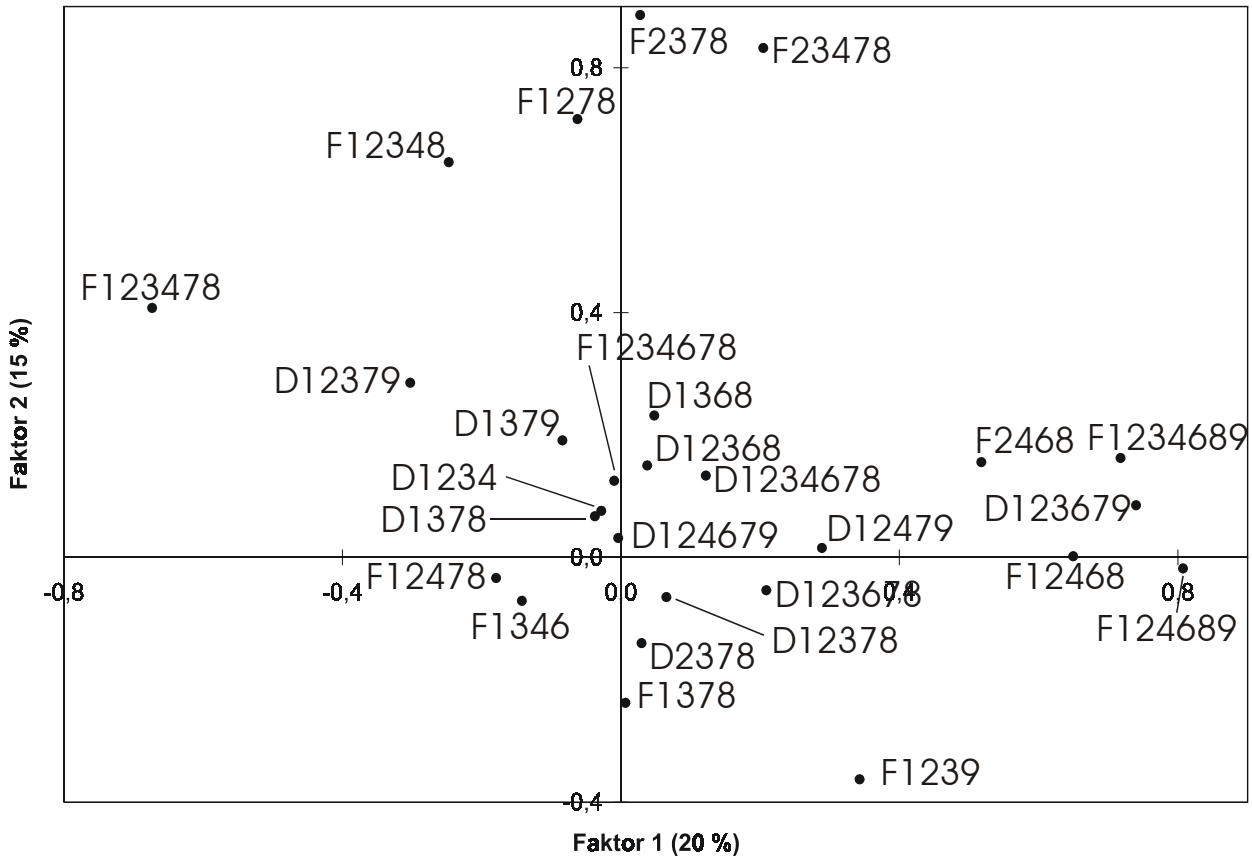


Bild 18 Ladungsdiagramm der Faktorenanalyse: Faktor 1 und 2

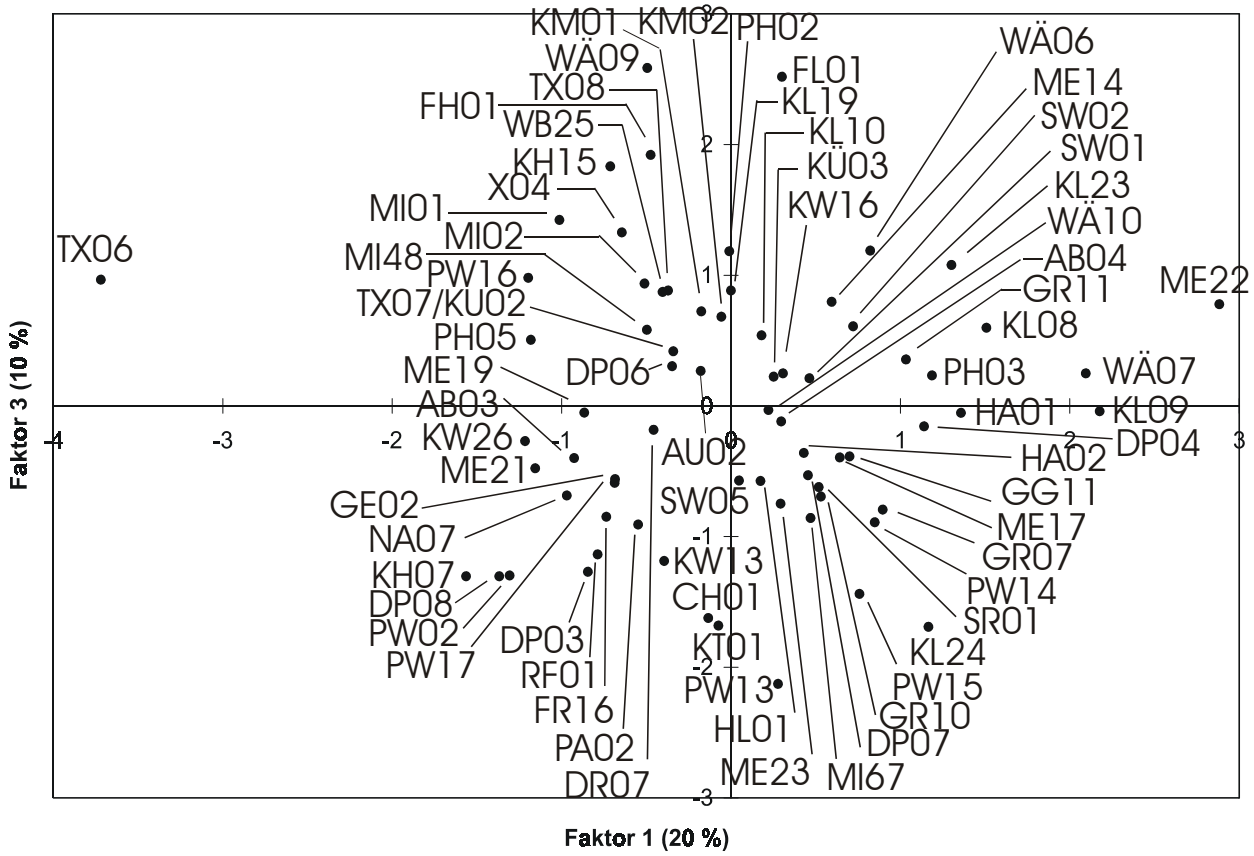


Bild 19 Faktorplot der Faktorenanalyse: Faktor 1 und 3

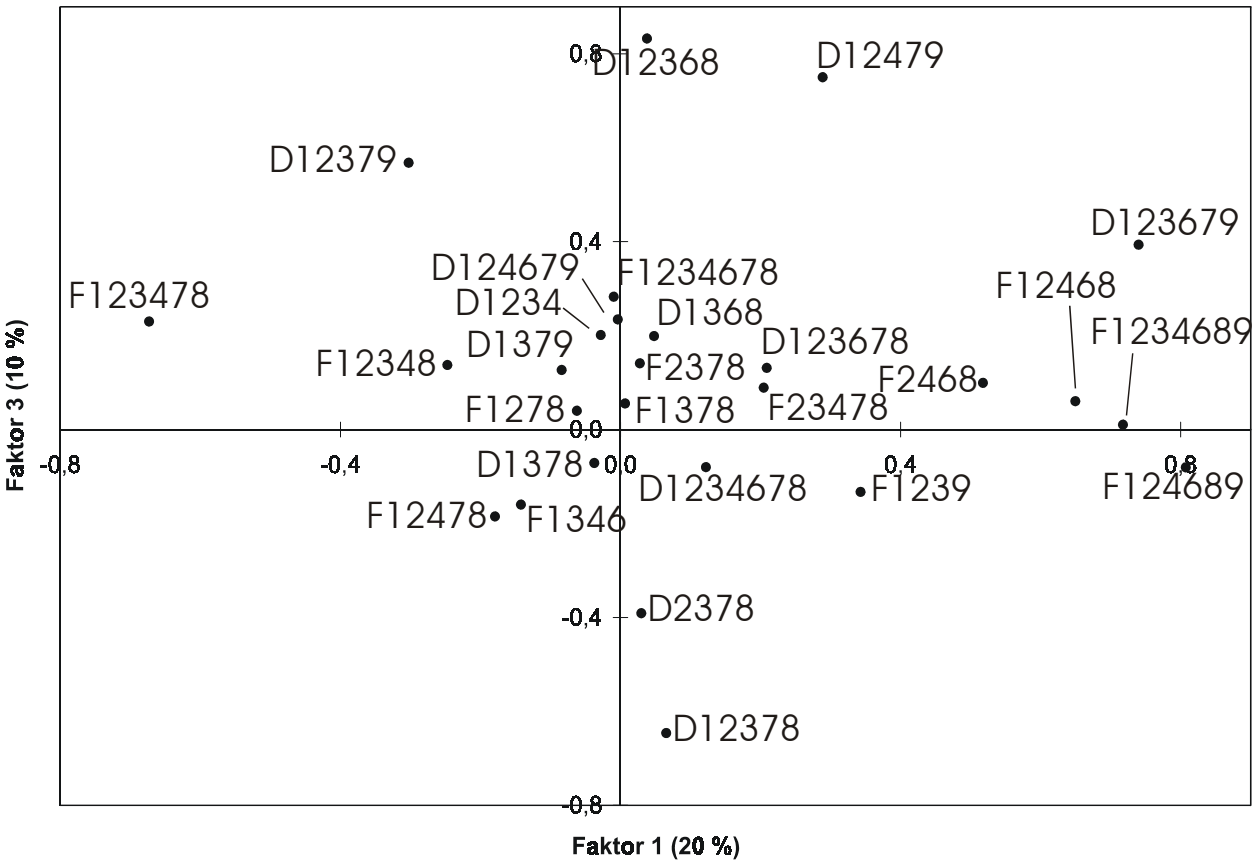


Bild 20 Ladungsdiagramm der Faktorenanalyse: Faktor 1 und 3

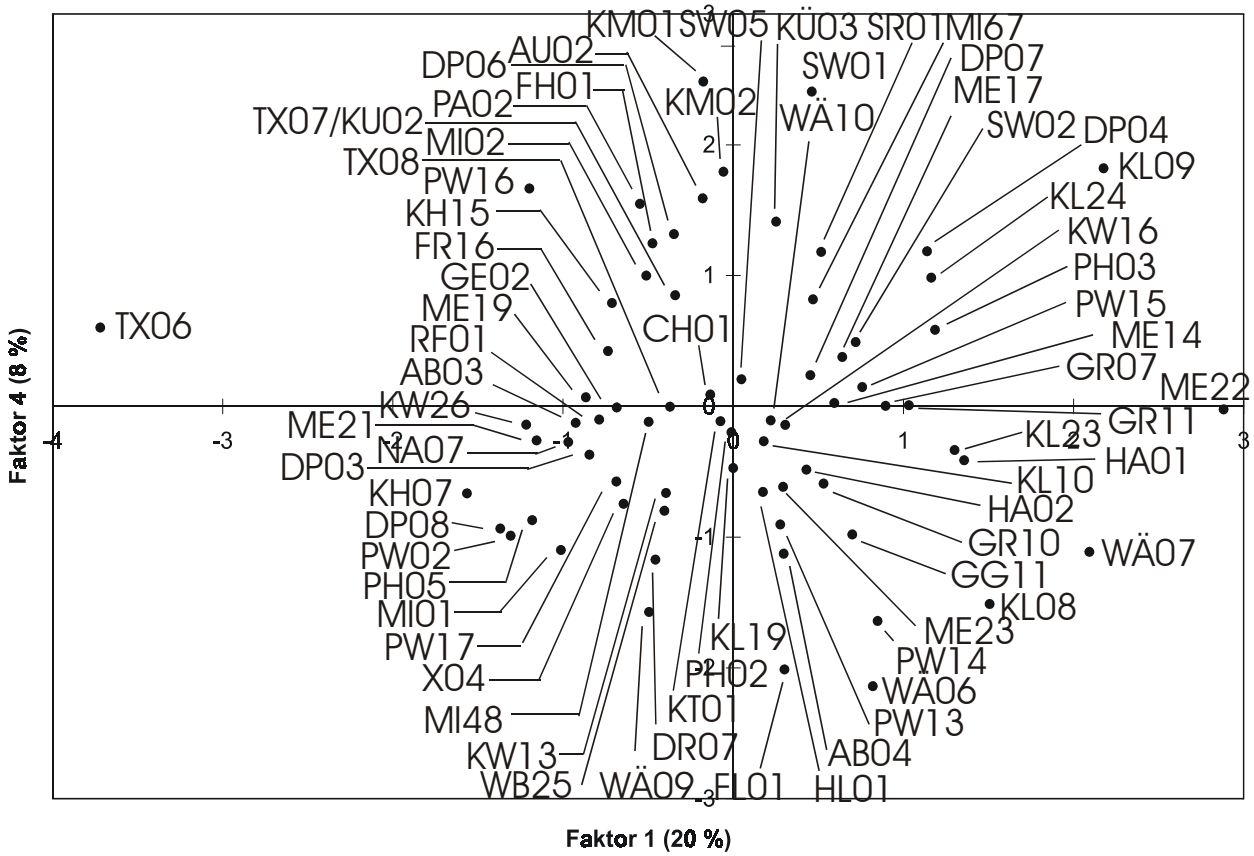


Bild 21 Faktorplot der Faktorenanalyse: Faktor 1 und 4

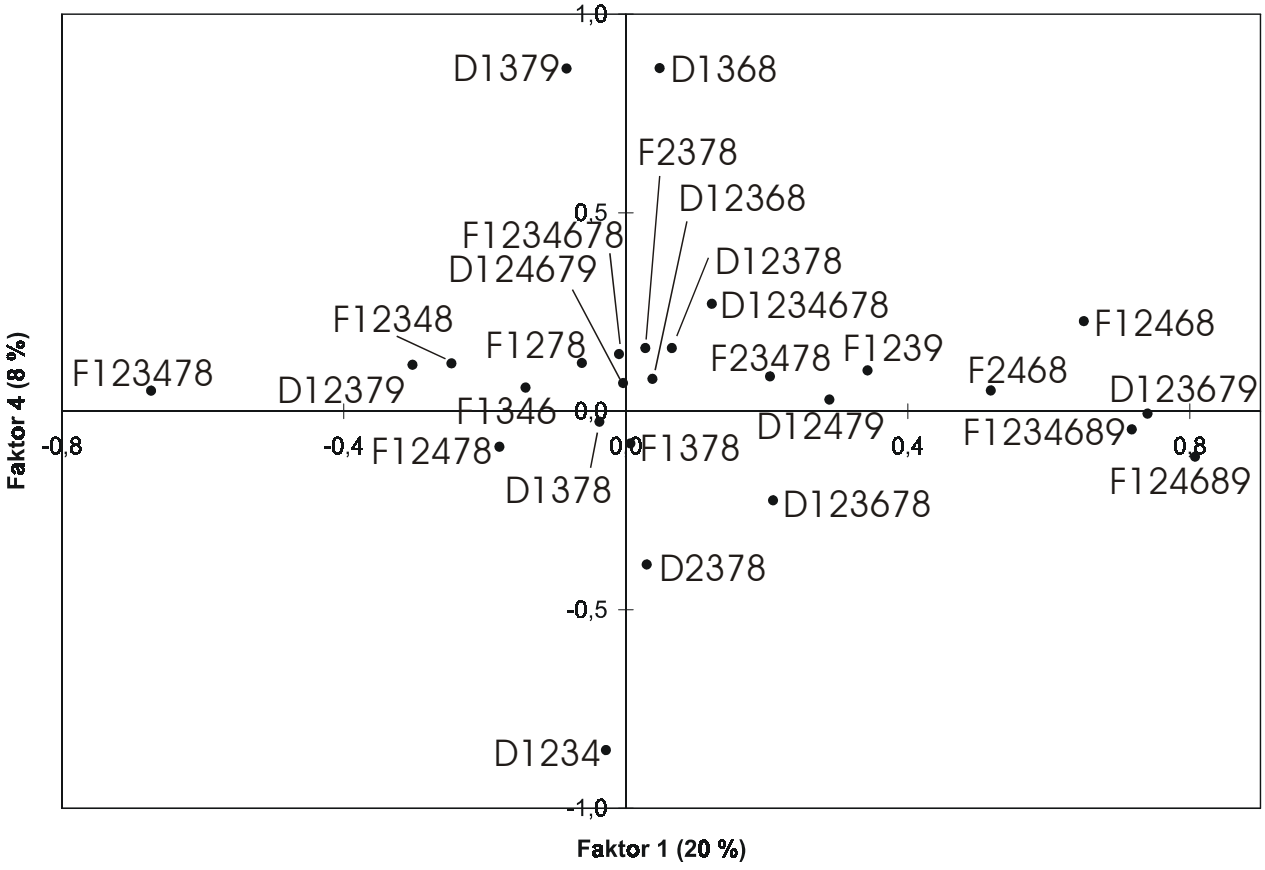


Bild 22 Ladungsdiagramm der Faktorenanalyse: Faktor 1 und 4

Die Faktoren 1 bis 4 lassen sich eindeutig bestimmten Quellen bzw. Quellgruppen zuordnen.

- Faktor 1 weist auf den Einfluss von PCP als Verursacher hin. Die Kongenere 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF, 1,2,4,6,8,9-HxCDF, 1,2,4,6,8-PeCDF und 2,4,6,8-TeCDF gelten als Indikatorkongenere für PCP, während für 1,2,3,6,7,9-HxCDD eine Beteiligung von PCP wahrscheinlich ist. Alle diese Kongenere zeigen in Bild 18 hohe positive Faktorwerte.
- Faktor 2 deutet auf eine Mischung der Quellen PCB, Chlorbleiche und HCH hin. Da diese Quellen sehr ähnliche Indikatorkongenere aufweisen, sind diese Quellen hier nicht voneinander zu trennen. Deren Indikatorkongenere 1,2,7,8-TeCDF, 2,3,7,8-TeCDF, 1,2,3,4,8-PeCDF und 2,3,4,7,8-PeCDF zeigen in Bild 18 hohe positive Faktorwerte.
- Beim Faktor 3 zeigen die Indikatorkongenere für Verbrennungsquellen 2,3,4,7,8-PeCDD, 1,2,3,6,8-PeCDD und 1,2,3,7,9-PeCDD hohe Ladungen. In Bild 20 ist zu erkennen, dass hier nur pentachlorierte Dioxine auftauchen und andere Indikator-kongenere für Verbrennungsquellen oft nur Faktorwerte um den Werte 0 aufweisen.
- Faktor 4 weist in Bild 22 auf die TeCDD-Indikatorkongenere von Verbrennungsquellen hin: 1,3,6,8-TeCDD und 1,3,7,9-TeCDD, nicht aber 1,3,7,8-TeCDD. Möglicherweise kommt hier die Unterscheidung zwischen dem Verbrennungsmuster nach dem 2,3-Chlorphenoltyp und dem 2,6-Chlorphenoltyp zum Tragen. 1,3,7,8-TeCDD ist Indikatorkongener für das Verbrennungsmuster des 2,3-Chlorphenoltyps und ist beim Faktor 8 mit hoher Ladung anzutreffen.

In den Scoreplots ist zu erkennen, dass:

- die Proben ME22, KL09 und WÄ07 stark von PCP beeinflusst sind,
- für die Proben PH05 und PH02 die Quellgruppe PCB, Chlorbleiche und HCH hervorstechen,
- die Proben WÄ09, FL011, FH01 und KH15 (Faktor 3) sowie KO01 und SW01 (Faktor 4) bei den niederchlorierten Dioxinen durch Verbrennungsquellen beeinflusst sind.

Insgesamt zeigt sich, dass die gezielte Auswahl von Indikatorkongeneren für die Quellenidentifizierung mit Hilfe der Faktorenanalyse sehr hilfreich ist. Bei einer besseren Beschreibung der Quellen, d.h. dem Vorhandensein aller Kongenerengehalte, wäre damit sogar eine Quantifizierung der jeweiligen Beiträge möglich.

Festzuhalten bleibt bzgl. der mit der Faktorenanalyse erfolgten Quellenzuordnung, dass i.d.R. nicht nur eine Quelle (z.B. PCP oder Verbrennung) für die Belastungssituation der Sielhäute verantwortlich gemacht werden kann, sondern oft eine Mischung verschiedener Quellen anzutreffen ist. In Abhängigkeit von der betrachteten Homologengruppe kann dies für die jeweilige Probe zu unterschiedlichen Ergebnissen führen.

Anzumerken bleibt auch, dass hier die Indikatorkongenere nur selten für die Homologen hervortreten, bei denen grundsätzlich ihr Haupteinfluss zu erwarten wäre, z.B. höherchlorierte Dioxine für PCP und niederchlorierte Furane für Verbrennung[53]. Stattdessen tauchen diejenigen Indikatorkongenere auf, von denen eigentlich kein bedeutender Einfluss zu erwarten wäre, z.B. Furane für PCP und niederchlorierte Dioxine für Verbrennung. Dies mag daran liegen, dass für diejenigen Homologen, für die ein großer Einfluss bei den meisten Proben vorliegt, dieser nicht mehr hervortritt und stattdessen nur dort zum Tragen kommt, wo dieser außergewöhnlich ist.

3.3.9 Vergleich der Quellenzuordnung für verschiedene Methoden

Für die Quellenermittlung wurden in diesem Projekt verschiedene Ansätze verfolgt: Homologenprofile, Isomerenmuster, Indikatorkongenere, Korrelationsanalyse, Clusteranalyse und Faktorenanalyse. Beispielhaft werden im Folgenden für eine Reihe von Proben mit außergewöhnlichen Mustern die Ergebnisse der verschiedenen Verfahren verglichen.

Die Sielhautprobe ME22, im Abstrom eines metallbe- und –verarbeitenden Betriebs, weist die höchsten PCDD/F-Gehalte auf. Das Isomerenmuster deutet eindeutig auf PCP als Verursacher hin. Das Homologenprofil, bei dem große Anteile höherchlorierter Furane zu erkennen sind, zeigt kein typisches PCP-Profil, es ist aber schon für einzelne PCP-Proben gefunden worden. Sowohl in der Clusteranalyse als auch in der Faktorenanalyse bestätigt sich der PCP-Eintrag.

Die Sielhautprobe FH01 im Abstrom eines Flughafens zeigt ein Homologenprofil mit überdurchschnittlichen Anteilen niederchlorierter PCDF und ein Isomerenmuster, das auf eine PCB-ähnliche PCDD/F-Quelle hinweist. In der Clusteranalyse wird diese Probe zusammen mit Proben gruppiert, die ähnliche Homologenprofile und Isomerenmuster zeigen (Beispiel: PH05). In der Faktorenanalyse sind sowohl die Faktoren 2 (PCB/Chlorbleiche/HCH) und 3 (Verbrennung) deutlich positiv ausgeprägt. Damit bestätigt sich hier die Rolle von PCB als wesentliche PCDD/F-Quelle, andere Quellen können aber ebenfalls für die PCDD/F-Belastung mitverantwortlich sein.

Die Sielhautprobe PH05, im Abstrom eines Pharmabetriebs entnommen, zeigt ebenfalls ein Homologenprofil mit hohen Anteilen niederchlorierter Furane und ein Isomerenmuster, das auf PCB als Quelle hinweist. In der Clusteranalyse ist diese Probe ebenfalls mit Proben ähnlicher Charakteristika in einem Cluster. In der Faktorenanalyse weist diese Probe die höchsten Faktor 2-Werte aller Proben auf, d.h. die Probe PH05 ist die Proben ist mit dem größten Einfluss von PCB/Chlorbleiche/HCH. Alle Verfahren weisen damit auf dominierende Einträge von PCB auf die PCDD/F-Belastung hin.

---

[53] Dies hängt mit den unterschiedlichen Homologenprofilen der einzelnen Quellen zusammen. Da in PCP höherchlorierte PCDD/F den größten Anteil ausmachen, wäre zu erwarten, daß für Proben mit einem bedeutenden PCP-Eintrag die Indikatorkongenere von PCP schwerpunktmäßig auch in den höherchlorierten Dioxin-Homologen zu finden sind. Ähnliches gilt für Verbrennungsproben, die i.d.R. einen überdurchschnittlichen Anteil niederchlorierter Furane aufweisen.

Die Probe WÄ07 im Abstrom einer Wäscherei verfügt über ein Homologenprofil dominiert von höherchlorierten PCDD-Homologen und ein Isomerenmuster, das auf PCP als Quelle hindeutet. In der Clusteranalyse ist diese Probe nicht in Cluster 2, für den PCP als wesentliche Quelle gilt, sondern in Cluster 1 gruppiert. Die Faktorenanalyse zeigt die Probe WÄ07 hohe Faktor 1-Werte, d.h. einen bedeutenden PCP-Einfluss auf die PCDD/F-Belastung. Damit bestätigt sich außer für die Clusteranalyse die Rolle von PCP als wesentliche PCDD/F-Quelle dieser Probe.

Die Probe TX06 im Abstrom eines textilverarbeitenden Betriebs hat ein Homologenprofil mit einem überdurchschnittlichen HxCDD-Anteil und ein Isomerenmuster, das nicht allein mit einer Quelle erklärt werden kann. In der Clusteranalyse ist die Probe zusammen mit der Probe WÄ07 in Cluster 1 gruppiert, ohne dass für dieses Cluster eine herausragende Quelle ermittelt werden konnte. In der Faktorenanalyse fällt diese Probe durch einen außergewöhnlich hohen negativen Faktor 1-Wert auf. Dies lässt eine unbekannte, ungewöhnliche PCDD/F-Quelle als Verursacher vermuten. Damit bestätigt sich für die hier verwendeten Auswerteverfahren, dass diese Probe von einer unbekannten, bisher unzureichend beschriebenen PCDD/F-Quelle beeinflusst ist.

Die Probe WÄ06, entnommen unterhalb einer Wäscherei, zeigt überdurchschnittlich hohe PeCDD-Anteile im Homologenprofil und ein Isomerenmuster, das keiner bekannten PCDD/F-Quelle zugeordnet werden kann. In der Clusteranalyse gruppiert sich diese Probe in Cluster 2, wo Proben mit PCP-Einfluss überdurchschnittlich vertreten sind. In der Faktorenanalyse fällt die Probe WÄ06 durch den höchsten negativen Faktor 2-Wert auf. Auch hier bestätigt sich das ungewöhnliche Muster in dieser Probe, das keiner bekannten Quelle direkt zugeordnet werden kann und das sich auch wesentlich von der Probe TX06 unterscheidet.

Die Sielhautprobe KW26 aus dem Abstrom einer Autoverwertung zeigt eine Homologenprofil mit einem hohen Anteil niederchlorierter Furane und ein HxCDF-Isomerenmuster, das auf Verbrennung als PCDD/F-Quelle hinweist. In der Clusteranalyse ist die Probe zusammen mit den von PCB beeinflussten Proben in Cluster 3 zu finden. In der Faktorenanalyse sind die auf Verbrennung hinweisenden Faktoren 3 (TeCDF-Kongenere) und 4 (PeCDF-Kongenere) nicht hervorgehoben. Damit bestätigen sich zwar gewisse Einflüsse der Verbrennung, diese kann aber nicht als alleinige Kontaminationsquelle gelten.

Insgesamt kommen damit die verschiedenen Quellenermittlungsverfahren weitgehend zu ähnlichen Resultaten. Zur Absicherung der Ergebnisse ist allerdings die Verwendung mehrerer Quellenermittlungsverfahren von Vorteil. Tabelle 20 gibt eine Übersicht über die wichtigsten Quellen für die Proben mit außergewöhnlichen Mustern.

Tabelle 20 Quellenzuordnung der Proben mit außergewöhnlichen Mustern

Probe	Einleiter	Quellenzuordnung
ME22	Metallbe- und –verarbeitung	PCP
FH01	Flughafen	PCB, evtl. zusätzlich Verbrennung
PH05	Pharmaindustrie	PCB
WÄ07	Wäscherei	PCP
TX06	Textilverarbeitung	unbekannte Quelle
WÄ06	Wäscherei	unbekannte Quelle
KW26	Kfz-Werkstatt	Verbrennung, evtl. zusätzliche Quelle

4 SCHADSTOFFE IN SEDIMENTKERNEN

In den fünf Sedimentkernen aus dem Arkonabecken (AK), dem Bugsinsee (BS), dem Quenzsee (QS), dem Teltowkanal (TK) und dem Weißer See (WS) wurden eine Vielzahl von Schadstoffen analysiert: Dioxine und Furane (PCDD/F), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK), polychlorierte Biphenyle (PCB) und Elemente sowie die Pestizide DDT mit Metaboliten (DDX), Hexachlorcyclohexan (HCH) und Chlorbenzene (CBz). Zur Quellenzuordnung werden Muster mit bekannten Quellen zwischen den Probennahmeorten und über die Tiefe verglichen. Es werden grafische Verfahren basierend auf Verteilungsmustern (Isomeren, Homologen), Quotientenbildungen, univariater und multivariater Statistik (Korrelationsanalyse, Clusteranalyse und Faktorenanalyse) zum Mustervergleich angewendet. Grundlegende schadstoff-übergreifende Einflussfaktoren werden herausgearbeitet. Die Probennahmeorte und die Analyseverfahren sind in Abschnitt 7 auf S. 150 ausführlich dargestellt.

4.1 PCDD/Fs IN SEDIMENTEN

In den insgesamt vierzig Proben der fünf Sedimentkerne wurden PCDD/F-Gehalte zwischen 20 und 20.000 pg/g TM gemessen[54]. Die korrespondierenden I-TEq-Gehalte betrugen zwischen 0,03 pg I-TEq/g TM und 100 pg I-TEq/g TM. Die am stärksten kontaminierten Sedimentkerne waren am Standort Weißer See (WS) und Teltowkanal (TK) festzustellen. Hier waren die PCDD/F-Gehalte der oberflächennahen Sedimente im Bereich von 10.000 pg/g und darüber. An den Probennahmeorten Arkonabecken (AK), Bugsinsee (BS) und Quenzsee (QS) lagen die oberflächennahen Gehalte bei 700 - 4500 pg/g.

In den unteren Schichten der Sedimentkerne mit etwa frühindustriellem Ursprung lagen die PCDD/F-Belastungen für alle Probennahmeorte um 100 pg/g. In Bild 23 sind die Tiefenprofile der PCDD/F-Gehalte für die fünf Sedimentkerne mit den jeweiligen Homologenprofilen dargestellt.

[54] Die PCDD/F-Messwerte sind im Detail in Abschnitt 11.4 auf S. 421 im Anhang dokumentiert. Falls nichts anderes genannt, beziehen sich die Gehaltsangaben auf das Probengewicht in Trockenmasse (TM).

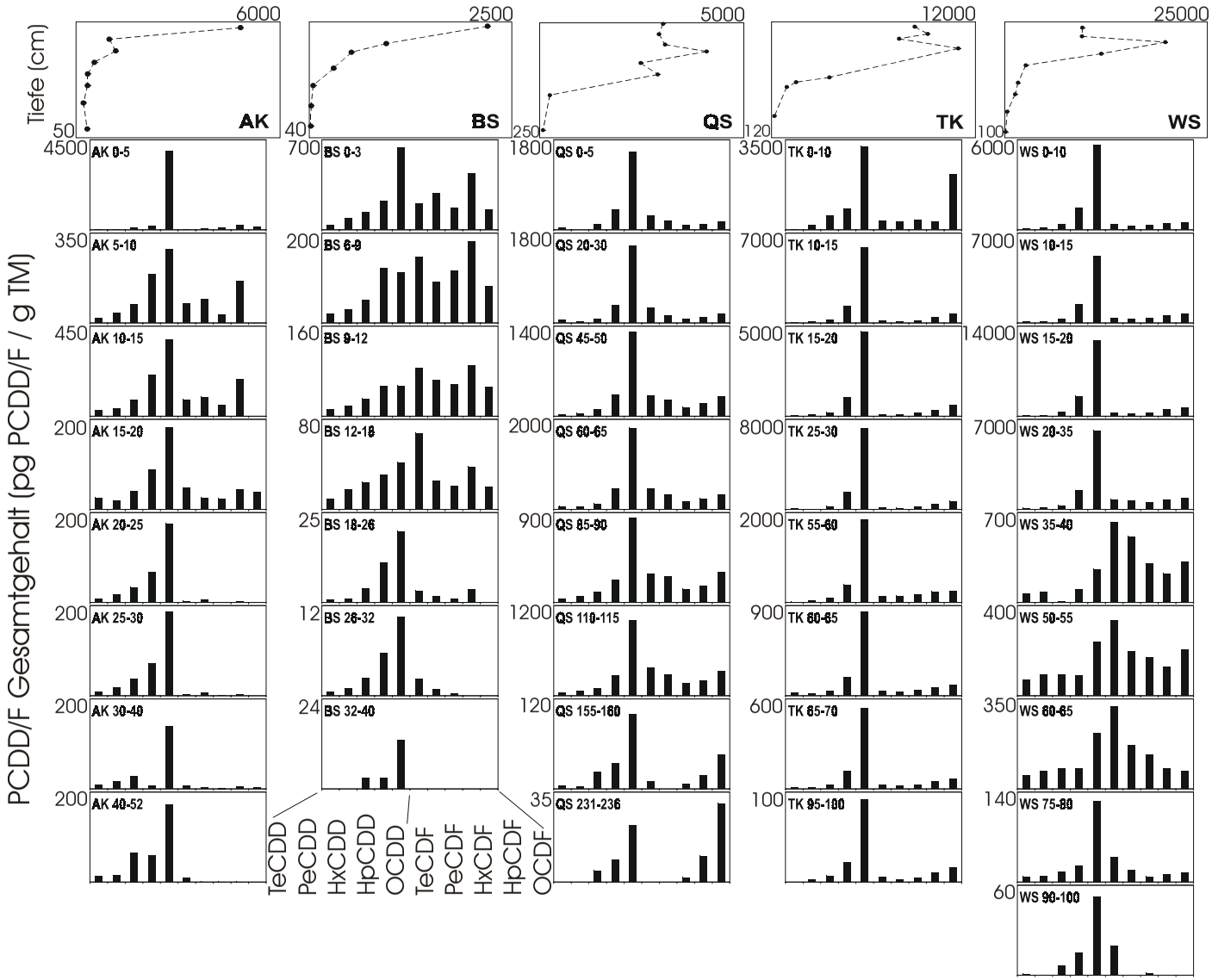


Bild 23 Tiefenprofile und Homologenprofile der Dioxine und Furane für Sedimentkerne; Gehalte in pg/g TM, Tiefe in cm

Die beprobten Sedimentkerne decken damit ein Spektrum von sehr niedrigen Gehalten bis zu sehr hohen Kontaminationen ab. Gehalte von unter 100 pg/g TM wurden bisher nur von anderen Sediment- und Bodenproben aus der Zeit um 1900 berichtet (Alcock et al. 1998, Kjeller und Rappe 1995, Macdonald et al. 1998, Schramm et al. 1997). Diese Gehalte sind als Hintergrundwerte zu betrachten und können auf rein atmosphärische Deposition zurückgeführt werden (Bonn 1998). Demgegenüber gelten die Gehalte von über 10.000 pg/g TM bzw. 100 pg I-TEq/g TM im Weißer See als sehr hoch kontaminiert. Ähnlich hohe Gehalte wurden bisher nur im Hamburger Hafen (Götz et al. 1998) und im Ontario-See (Pearson et al. 1997) gemessen. Für PCDD/F Gehalte in Sedimenten gibt es bisher keine Richt- bzw. Grenzwerte, diese mit Vorgaben der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV 1999) zu vergleichen, ist umstritten.

Für die QS-, TK- und WS-Sedimentkerne waren die höchsten Gehalte nicht in der obersten Schicht sondern in 15 - 65 cm Tiefe festzustellen. Für die AK- und BS-Sedimentkerne liegen die höchsten PCDD/F-Gehalte in der obersten Schicht. Da die Depositionsraten hier wesentlich niedriger sind als die der übrigen Sedimentkerne (vgl. Tabelle 47 auf Seite 156), wäre eine feine Auflösung erforderlich gewesen, um ebenfalls diesen Effekt erkennen zu können. Dies weist darauf hin, dass seit dem Beginn der Industrialisierung die PCDD/F-Emissionen um ein Vielfaches zugenommen haben und in den letzten Jahren und Jahrzehnten die PCDD/F-Einträge leicht abgenommen haben[55].

Im Folgenden werden die PCDD/F-Quellen in den Sedimentkernen anhand von Homologenprofilen, Isomerenmustern, Isomerenquotienten und mit Hilfe chemometrischer Methoden (Clusteranalyse, Faktorenanalyse) identifiziert. Abschließend werden die Ergebnisse dieser Methoden miteinander verglichen.

4.1.1 Homologenprofile

Bild 23 zeigt, dass die PCDD/F-Homologenprofile der Sedimentkerne – ähnlich wie für die meisten von Wassermatrices beeinflussten Proben - oft von den höherchlorierten PCDD-Homologen (insbesondere OCDD) dominiert sind. In der Mehrzahl der Proben liegt der Anteil von OCDD am PCDD/F-Gesamtgehalt über 50 % und der von HpCDD zwischen 10 - 20 %. Der Anteil der übrigen PCDD/F-Homologen lag jeweils meist unter 10 % der PCDD/F-Gesamtgehalte. Diese Homologenprofile ähneln damit stark denen von PCP, das neben Verbrennung als bedeutendste PCDD/F-Quelle in der Umwelt und insbesondere auch in Wassermatrices betrachtet wird[56]. Für eine Reihe von Proben waren allerdings auch deutliche Abweichungen von den üblichen Profilen festzustellen.

---

[55] Eine ähnliche historische Entwicklung wurde ebenfalls in anderen Studien nachgewiesen (Bruckmeier et al. 1997, Green et al. 2001a, Green et al. 2001b, Schramm et al. 1997).

[56] Dabei ist zu berücksichtigen, dass sich die Wasserlöslichkeit und der Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient (log K_{OW}) insbesondere zwischen den nieder- und höherchlorierten PCDD/Fs erheblich unterscheiden (CRC 1989) und deshalb auch eine Anreicherung der höherchlorierten im Vergleich zu den niederchlorierten PCDD/Fs in den Sedimenten erfolgen kann.

In den oberen Sedimentschichten vom Standort Bugsinsee (BS) waren die Anteile der Furan-Homologen überdurchschnittlich hoch, i.d.R. im Bereich von 10 - 20 % der PCDD/F-Gesamtgehalte. Ähnliches war für den Sedimentkern des Weißer Sees (WS) in einer Tiefe von 35 - 65 cm festzustellen. In abgeschwächter Form gilt dies ebenfalls für Proben des Arkonabeckens (AK) aus 5 - 20 cm Tiefe und für den Sedimentkern des Quenzsees aus 45 - 115 cm Tiefe. Ein höherer Furananteil gilt als Hinweis auf Einflüsse von Verbrennungsprozessen oder PCB.

Für einzelne Proben (QS 231-236, TK 0-10) fällt demgegenüber ein hoher OCDF-Anteil auf. Von einzelnen PCP-Proben (vgl. Brunner 1990) ist bekannt, dass deren OCDF-Gehalte über denen von OCDD liegen können.

4.1.2 Isomerenmuster

Im Folgenden werden die Isomerenmuster der tetra- bis heptachlorierten Dioxine und Furane für die Sedimentkerne vorgestellt[57]. Typische PCDD/F-Chromatogramme werden in Abschnitt 10.2 auf S. 322 im Anhang dokumentiert.

Die **TeCDD**-Isomerenmuster sind überwiegend dominiert von den ersten beiden TeCDD-Isomeren 1,3,6,8-TeCDD und 1,3,7,9-TeCDD (vgl. Bild 178 auf S. 323 im Anhang)[58]. In den Sedimentproben des Arkonabeckens (AK) im Bereich von 15 - 40 cm Tiefe waren die koeluierenden Isomere 1,2,7,8-/1,4,6,9-TeCDD mit über 25 % der TeCDD-Homologengehalte die häufigsten TeCDD-Isomere (vgl. Abschnitt 11.4 auf S. 421ff im Anhang). Diese TeCDD-Isomere waren ebenfalls in Proben einzelner chemischer und thermischer Quellen erhöht (Marklund et al. 1990, Swanson 1988, Swerev 1988). Für die meisten Proben zeigt sich damit eine große Ähnlichkeit der TeCDD-Isomerenverteilung zu denen der Verbrennungsquellen, die insbesondere für das von 2,6-Chlorphenol geprägte Verbrennungsmuster hohe Anteile von 1,3,6,8-TeCDD und 1,3,7,9-TeCDD aufweisen. Für die Proben des Arkonabeckens deuten sich damit Einflüsse von PCB bzw. Chlorphenolen, evtl. zusammen mit Verbrennungsanteilen an.

Von den **PeCDD**-Isomeren sind meist die am Anfang eluierenden Kongenere 1,2,4,7,9-/1,2,4,6,8-PeCDD mit über 20 % der PeCDD-Homologengehalten dominierend (vgl. Bild 179 auf S. 324 im Anhang). In den Proben des Arkonabeckens aus 20 - 40 cm Tiefe fällt ein hoher Anteil von 1,2,4,6,9-/1,2,3,4,7-PeCDD auf. Sowohl für Proben von PCP bzw. PCP-Na ist bekannt, dass diese überdurchschnittliche Anteile von 1,2,4,6,9-/1,2,3,4,7-PeCDD enthalten können. Im Gegensatz zu TeCDD deutet sich hier für diese Proben des Arkonabeckens PCP als wesentliche Eintragsquelle an.

Für die PeCDD-Chromatogramme ist die Quellenzuordnung insgesamt nicht eindeutig. Sowohl Verbrennungsquellen als auch PCP kommen grundsätzlich als Verursacher in

---

[57] Da die octachlorierten Dioxine und Furane jeweils nur über eine Isomer verfügen, werden diese hier nicht weiter erläutert.

[58] Ähnliches war für die Sielhäute festzustellen (vgl. Abschnitt 3.3.3 auf S. 38).

Frage, da für beide ein hoher Anteil von 1,2,4,7,9-/1,2,4,6,8-PeCDD möglich ist. Anzumerken bleibt, dass in Verbrennungsquellen das Kongener 1,2,3,7,9-PeCDD in größeren Mengen auftritt, während die direkt im Anschluss eluierenden Kongenere 1,2,4,6,9-/1,2,3,4,7-PeCDD in PCP vertreten sind (Brunner 1990, Buser 1978, Swerev 1988). Diesbezüglich weisen Ähnlichkeiten der BS-Proben mit thermischen Quellen und der AK- und TK-Proben mit dem PCP-Muster auf deren wesentliche Quellen hin.

Bei den **HxCDD**-Isomerenmustern fällt auf, dass die am Anfang eluierenden Kongenere 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD mit über 50 % der Homologengehalte und 1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD mit über 30 % der Homologengehalte die dominierenden Kongenere sind (vgl. Bild 180 auf S. 325 im Anhang). Die Gehalte der übrigen Kongenere lagen meist unter 10 % der Homologengehalte.

In den AK-Proben ist zu erkennen, dass in den älteren Segmenten der Anteil von 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD mit über 70 % der Homologengehalte besonders hoch ist und der Anteil der übrigen Kongenere (außer 1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD) mit unter 3 % besonders niedrig ist (vgl. Abschnitt 11.4 auf S. 421ff im Anhang). Für die Proben des Bugsinsees und in den jüngeren Proben des Weißer Sees ist in Bild 24 zu bemerken, dass der Anteil von 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD mit unter 45 % unterdurchschnittlich und der übrigen Kongenere überdurchschnittlich ist. Die Isomerenmuster der Proben des Arkonabeckens ähneln damit stark dem des 2,6-Chorphenol geprägten Verbrennungsmusters, während das Isomerenmuster der letzteren Probengruppe große Übereinstimmungen mit dem des 2,3-Chlorphenol geprägten Verbrennungsmusters und mit dem von PCP-Na zeigt. Die Isomerenmuster der Mehrzahl der Sedimentproben zeigen damit wesentliche Einflüsse der 2,6-Chlorphenol geprägten Verbrennung.

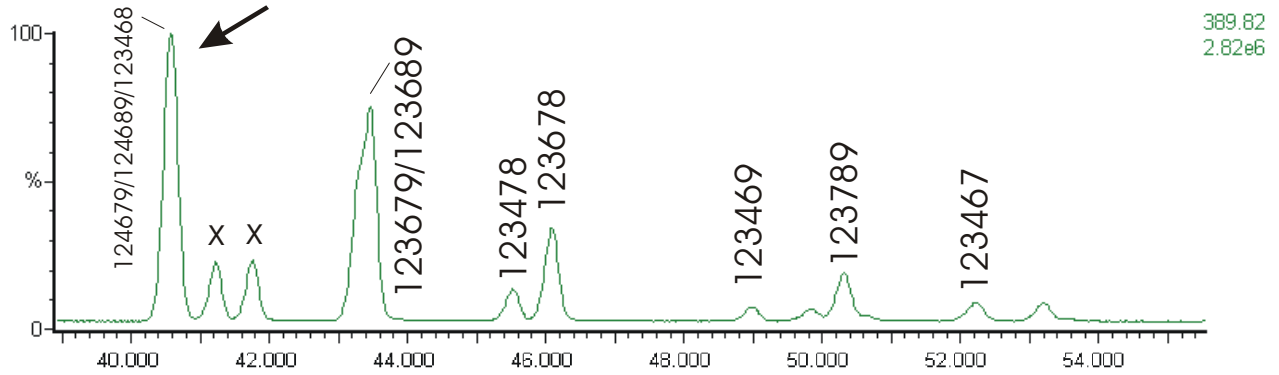


Bild 24 **HxCDD-Chromatogramm mit einem niedrigen Anteil von 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD (hier: Probe WS 15-20); X: kein PCDD/F; auf 2,3-Chlorphenol geprägte Verbrennung bzw. PCP-Na als Quelle hinweisend.**

Mit der Tiefe ist i.d.R. eine Zunahme des Anteils von 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD erkennbar (vgl. Bild 25). In den älteren Proben ist damit der Anteil der 2,6-Chlorphenol geprägten Verbrennungsquellen größer, während in den jüngeren Segmenten der Anteil der 2,3-Chlorphenol geprägten Verbrennungsquellen bzw. von PCP zunimmt. Aufgrund des Produktionseinstiegs von PCP im 20. Jahrhundert ist die Abnahme des PCP-Anteils mit der Tiefe erklärbar.

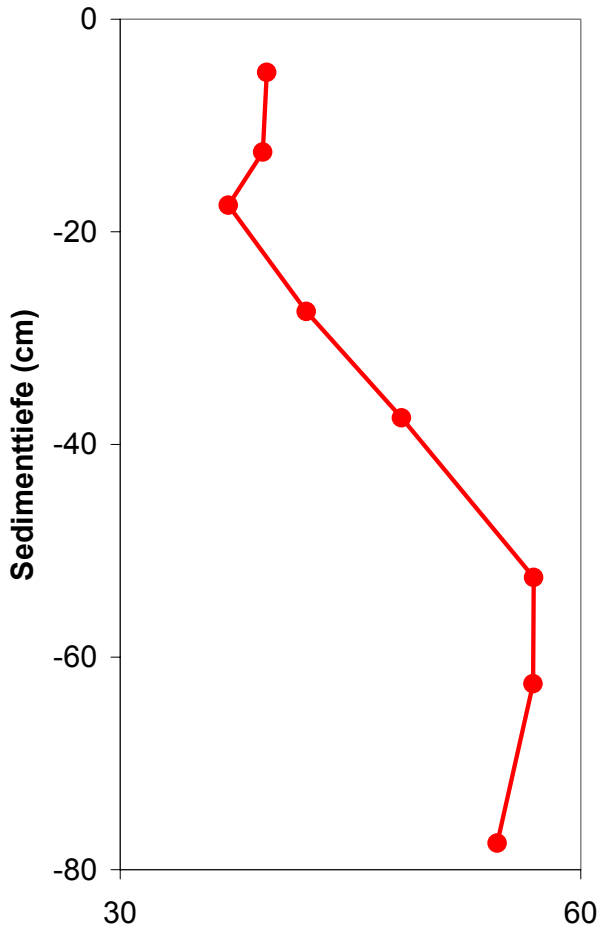


Bild 25 **Veränderung des Anteils von 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD am HxCDD-Homologengehalt mit der Tiefe am Beispiel des WS-Sedimentkerns**

Die beiden **HpCDD**-Isomere 1,2,3,4,6,7,9-HpCDD und 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD (vgl. Bild 181 auf S. 326 im Anhang) treten in ähnlichen Mengen auf. In manchen Proben ist der Gehalt von 1,2,3,4,6,7,9-HpCDD etwas höher, in anderen Proben der von 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD. Während in chemischen PCDD/F-Quellen oft das 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD in höheren Gehalten vorliegt, ist von Verbrennungsquellen - insbesondere von der Müllverbrennung - bekannt, dass 1,2,3,4,6,7,9-HpCDD stärker vertreten ist. Während in den Proben des Arkonabeckens mit einem höheren Anteil von 1,2,3,4,6,7,9-HpCDD der Verbrennungsanteil höher ist, ist in den oberen Schichten des Quenzsees und des Weißer Sees der Anteil des 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD und damit der PCP-Eintrag höher.

Für die **TeCDF**-Kongenerenverteilung fällt der hohe Anteil von 2,4,6,8-/1,2,3,8-/1,4,6,7-/1,2,3,6-TeCDF auf. Für eine Vielzahl von Proben liegt deren Anteil bei 10 - 30 % der TeCDF-Homologengehalte. Kongenere im Bereich von 10 % der Homologengehalte sind: 2,3,7,8-TeCDF, 1,2,7,8-TeCDF, 1,4,7,8-/1,3,6,9-/1,2,3,7-TeCDF, 2,3,6,7-TeCDF. Alle übrigen Kongenere liegen üblicherweise unterhalb von 10 % der Homologengehalte (vgl. Bild 182 auf S. 327 im Anhang).

Von 2,4,6,8-/1,2,3,8-/1,4,6,7-/1,2,3,6-TeCDF ist bekannt, dass es in großen Mengen in PCP auftritt (Brunner 1990). 2,3,7,8-TeCDF und 2,3,6,7-TeCDF sind in bedeutenden Mengen in Clophen A60 (Brunner 1990, Swerev 1988) enthalten. 1,2,7,8-TeCDF gilt als Indikator für die Chlorbleiche in der Papierherstellung (Swanson 1988). 1,4,7,8-/1,3,6,9-/1,2,3,7-TeCDF fand sich in nicht unwesentlichen Mengen in Flugascheproben der Müllverbrennung (Swerev 1988). Damit zeigt sich, dass das TeCDF-Kongenerenmuster in den Sedimenten nicht nur einer Quelle allein zuzuordnen ist, sondern dass Einflüsse von mehreren Quellen nachweisbar sind. PCP ist hier die wichtigste. Allerdings sind auch Beiträge von PCB, der Chlorbleiche und von Flugasche erkennbar.

Der Anteil von 2,4,6,8-/1,2,3,8-/1,4,6,7-/1,2,3,6-TeCDF ist in den BS-Proben in einer Tiefe > 18 cm, in den AK-Proben unterhalb von 20 cm Tiefe und in den Proben des Teltowkanals besonders hoch[59]. In den Proben des Quenzsees, in den Proben des Weißer Sees bis 40 cm Tiefe und in der obersten Schicht des Bugsinsees ist der Anteil von 1,4,7,8-/1,3,6,9-/1,2,3,7-TeCDF und damit der Eintrag von Verbrennungsquellen besonders hoch[60]. Der Anteil von 1,2,7,8-TeCDF zeigt für alle Proben nur geringe Schwankungen meist zwischen 5 - 9 % der Homologengehalte. 2,3,6,7-TeCDF als Indikator für PCB-Quellen ist in den Proben des Weißer Sees und den oberflächennahen Proben des Teltowkanals erhöht (vgl. Bild 26), während in den Proben des Bugsinsees nur geringe Mengen von 2,3,6,7-TeCDF festzustellen sind.

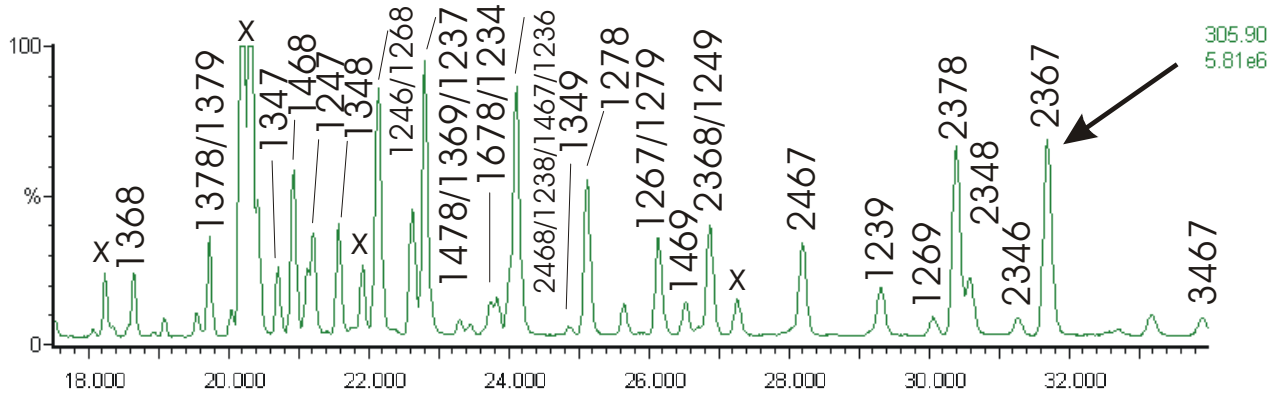


Bild 26 TeCDF-Chromatogramm mit einem überdurchschnittlichen Anteil von 2,3,6,7-TeCDF (hier: Probe WS 20-35), auf PCB-Einflüsse hinweisend

[59] vgl. Abschnitt 11.4 auf S. 421 im Anhang

[60] vgl. Abschnitt 11.4 auf S. 421 im Anhang

Von den **PeCDF**-Kongeneren liegen alle Kongenere im Bereich von 10 % des Homologengehaltes bzw. darunter. Zu den Kongeneren mit den höchsten Gehalten zählen: 1,2,3,6,8-/1,3,4,7,8-PeCDF, 1,2,4,6,8-PeCDF, 1,2,4,7,9-/1,3,4,6,7-PeCDF, 1,2,4,6,7-PeCDF, 1,2,3,7,8-/1,2,3,4,8-PeCDF, 2,3,4,7,8-PeCDF (vgl. Bild 183 auf S. 328 im Anhang). Die von PCP bekannten Indikatorkongere (Brunner 1990) 1,2,4,6,8-PeCDF, 1,2,4,7,8-PeCDF und 1,2,3,4,7-/2,3,4,6,9-PeCDF sind in den Sedimenten keine Kongenere mit besonders hohen Gehalten. PCB-Proben haben PeCDF-Isomerenmuster haben 1,2,4,7,8-PeCDF und 2,3,4,7,8-PeCDF in bedeutenden Mengen auftreten (Brunner 1990, Swerev 1988). Dieser Einfluss ist aber nur in einigen Proben des Quenzsees und in der obersten Schicht des Teltowkanals ansatzweise nachweisbar (vgl. Bild 27). Auch mit dem PeCDF-Muster von HCH (Swerev 1988) sind nur begrenzte Ähnlichkeiten festzustellen. Demgegenüber weist das PeCDF-Muster von Flugaschen der Müllverbrennung (Swerev 1988) große Ähnlichkeiten mit dem PeCDF-Muster der Sedimentproben auf. Damit deutet sich für den PeCDF-Homologen nur der Einfluss von Verbrennungsquellen als wesentlich an.

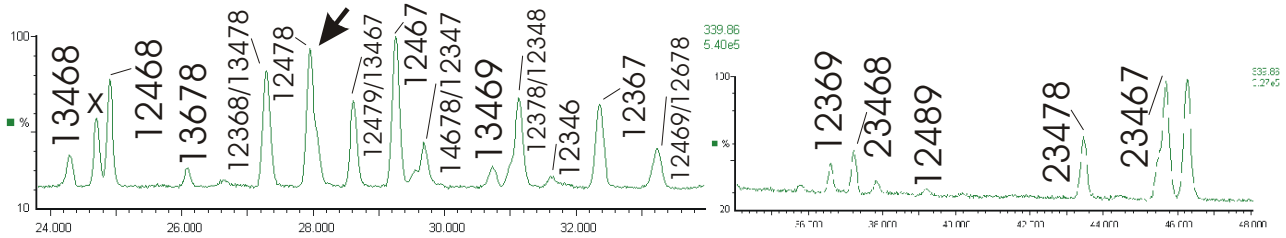


Bild 27 PeCDF-Chromatogramm mit einem überdurchschnittlichen Anteil von 1,2,4,7,8-PeCDF (hier: Probe WS 0-5)

Im **HxCDF**-Chromatogramm ist 1,2,4,6,7,8-HxCDF das Kongener mit den höchsten Gehalten (20 - 30 % der Homologengehalte). Eine Reihe von Kongeneren sind mit einem Gehalt von ca. 10 % des HxCDF-Homologengehaltes anzutreffen: 1,2,3,4,6,8-HxCDF, 1,3,4,6,7,8-/1,3,4,6,7,9-HxCDF, 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 1,2,4,6,8,9-HxCDF, 1,2,3,4,6,7-HxCDF, 2,3,4,6,7,8-HxCDF (vgl. Bild 184 auf S. 329 im Anhang). Auch für dieses Chromatogramm sind - wie beim PeCDF-Chromatogramm - große Übereinstimmungen mit dem Isomerenmuster von Müllverbrennungsaschen (Swerev 1988) festzustellen. Nur 1,2,4,6,8,9-HxCDF, das als Indikator für PCP gilt (Brunner 1990), ist in den Sedimentproben in größeren Anteilen als in der Flugasche enthalten. Der Anteil von 1,2,4,6,8,9-HxCDF am HxCDF-Homologengehalt ist in den oberen Schichten der TK- und WS-Proben mit über 10 % besonders hoch (vgl. Bild 28), während dieser Anteil in den Proben des Bugsinsees unter 3 % liegt. Damit dominiert auch für die HxCDF-Kongenere der Einfluss von Verbrennungsquellen, während für einzelne Probennahmeorte auch PCP-Einflüsse festzustellen sind.

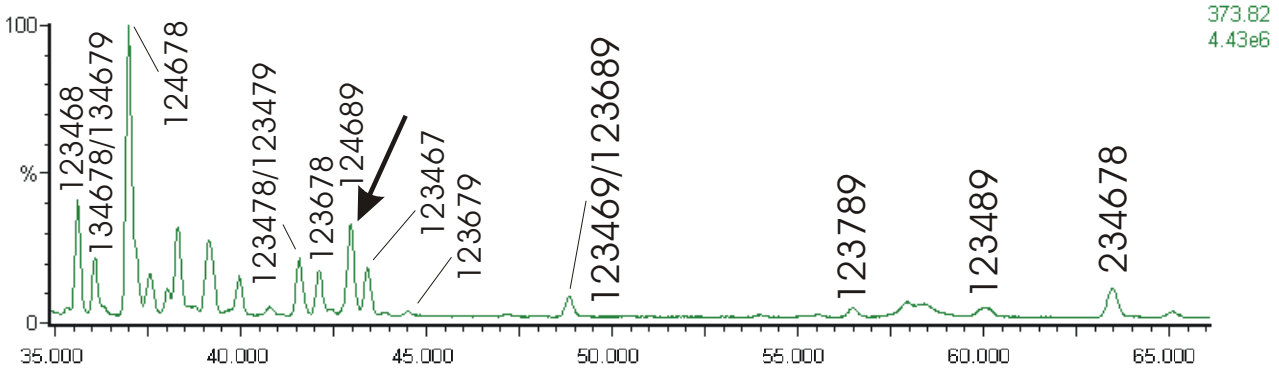


Bild 28 HxCDF-Chromatogramm mit einem überdurchschnittlichen Anteil von 1,2,4,6,8,9-HxCDF (hier: Probe TK 0-10), auf PCP-Einflüsse hinweisend

Im **HpCDF**-Chromatogramm der Sedimentproben ist 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF das Kongener mit den höchsten Gehalten (meist 50 - 70 % der Homologengehalte). 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF ist das Kongener mit den zweitgrößten Gehalten (10 - 40 % der Homologengehalte). Die Anteile der Kongenere 1,2,3,4,6,7,9-HpCDF und 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF liegen meist bei unter 10 % der Homologengehalte (vgl. Bild 185 auf S. 330 im Anhang). 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF gilt als Indikatorkongener für Verbrennungsquellen (Swerev 1988) und 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF für PCP (Brunner 1990). Damit überwiegt im HpCDF-Chromatogramm der Sedimentproben der Einfluss der Verbrennungsquellen, aber mit einem nicht unbedeutenden Einfluss von PCP. In den Proben des Teltowkanals, den oberen Schichten des Quenzsees und des Weißer Sees liegt der Anteil von 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF am Homologengehalt mit über 30 % vergleichsweise hoch (vgl. Bild 29). Hier erreicht der Einfluss von PCP eine ähnliche Größenordnung wie der von Verbrennungsquellen.

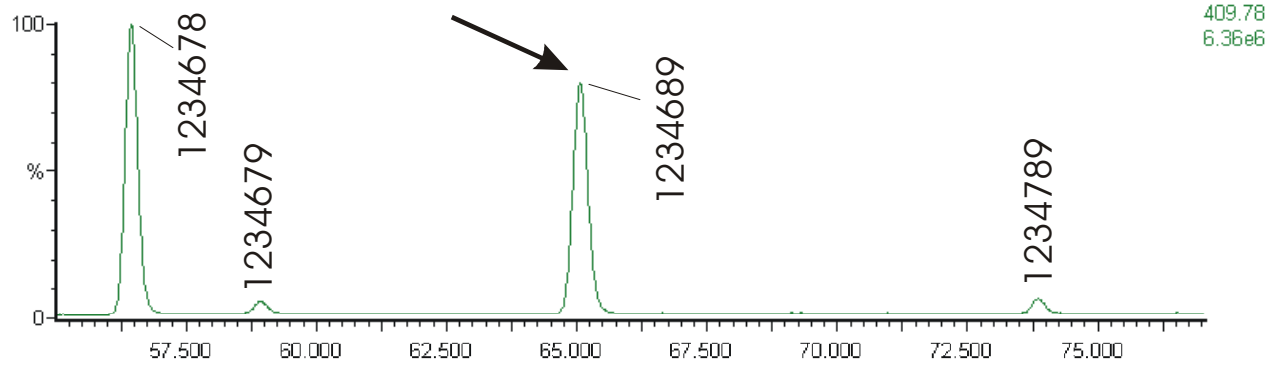


Bild 29 HpCDF-Chromatogramm mit einem überdurchschnittlichen Anteil von 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF (hier die Probe TK 0-10), auf PCP-Einflüsse hinweisend

Insgesamt zeigt die Auswertung der PCDD/F-Chromatogramme, dass nicht nur eine Quelle allein für die PCDD/F-Belastung der Sedimentkerne verantwortlich ist, sondern abhängig vom Chlorierungsgrad und der Verbindungsgruppe unterschiedliche Quellen hervortreten. Tabelle 21 zeigt, dass für die Mehrzahl der Chromatogramme die größte Ähnlichkeit mit den Chromatogrammen der Müllverbrennung bzw. von Verbrennungsquellen

besteht. Für einige Homologen ist allerdings auch ein bedeutender Einfluss von PCP, für einzelne Chromatogramme auch von anderen Quellen erkennbar. Dies weist auf gewisse Unterschiede im Vergleich zu den Homologenprofilen hin. Die Ergebnisse der verschiedenen Quellenermittlungsmethoden werden vertiefend in Abschnitt 4.1.5 auf S. 83 verglichen.

Tabelle 21 Zuordnung der PCDD/F-Homologen anhand der Ähnlichkeit mit Chromatogrammen von PCDD/F-Quellen

Homolog	wesentliche Quelle(n)
TeCDD	Verbrennung
PeCDD	Verbrennung bzw. PCP
HxCDD	Verbrennung
HpCDD	PCP bzw. Verbrennung
TeCDF	PCP, Verbrennung, PCB, Chlorbleiche
PeCDF	Verbrennung
HxCDF	meist Verbrennung
HpCDF	Verbrennung und PCP

4.1.3 Charakteristische Isomerenquotienten

Als eine weitere Methode der Quellenermittlung können die Quotienten von Isomeren verglichen werden. Der von Koch (1995) verwendete Ansatz wird hier erweitert und verfeinert. Da die Isomerenverteilungen wesentlich weniger durch physikalisch-chemische Prozesse beeinflusst werden, sind Isomerenquotienten besser als z.B. Kongenerenquotienten verschiedener Chlorierungsgrade für die Quellenzuordnung anzuwenden. Auch bieten die Isomerenquotienten Vorteile gegenüber Isomerenmustern, da diese weniger anfällig gegenüber analytischen Artefakten sind. Als wesentliche PCDD/F-Quellen werden hier betrachtet: Pentachlorphenol (PCP), Verbrennung (insbesondere Müllverbrennung), polychlorierte Biphenyle (PCB) und Hexachlorcyclohexan (HCH). Die Quellcharakterisierungen wurden den wenigen verfügbaren Studien[61] entnommen, bei denen die Isomerenverteilung der PCDD/F-Quellen als Chromatogramme zumindest qualitativ dargestellt wurde. Im Folgenden werden Unterschiede zwischen den Probennahmeorten und über die Tiefe an einem Probennahmeort betrachtet, um die Einflussfaktoren für die verschiedenen Orte und über die Zeit darzustellen.

Beim **Vergleich der Isomerenquotienten verschiedener Sedimentkerne** mit denen der Quellen ist in Tabelle 22 zu erkennen, dass grundsätzlich die größte Ähnlichkeit mit denen der Verbrennungsquellen besteht. Eine Vielzahl der Isomerenquotienten der Sedimentkerne liegt in dem für Verbrennungsquellen genannten Bereich. PCP erscheint hier als die zweitwichtigste Quelle. Mit PCB sind ebenfalls eine Reihe von

[61] vgl. Bacher (1992), Brunner (1990), Dawidowsky (1993), Oehme et al. (1991), Rotard et al. (1990), Swanson (1988), Swerev (1988), Wakimoto et al. (1988)

Überschneidungen erkennbar, HCH zeigt nur sehr geringe Ähnlichkeiten mit den Isomerenquotienten der Sedimentkerne.

Tabelle 22 Isomerenquotienten von PCDD/F-Quellen und von Sedimentkernen[62]

Charakteristische Isomerenquotienten	PCP	Verbr.	PCB	HCH	AK	BS	QS	TK	WS
D1378/D1234	**<< 1**	>= 1	> 1	> 1	2,6	1,7	1,4	2,3	1,8
D1368/D1379	< 1	**>= 1**	< 1	~= 1	1,3	1,7	1,4	2,2	1,6
D1236.1279/D1278.1469	>= 1	>= 1	**< 1**	-	0,62	0,72	1,11	0,53	0,85
D1378/D1247.1248.1369	> 1	>= 1	>= 1	**>> 1**	0,50	0,69	0,69	0,67	0,78
D12479.12468/D12379	**> 1**	>= 1	>= 1	>= 1	5,2	2,7	2,6	7,6	2,3
D12479.12468/D12478	> 1	> 1	**<< 1**	~= 1	4,3	5,5	3,7	9,6	5,1
D12478/D12379	>= 1	**<= 1**	> 1	> 1	1,2	0,5	0,7	0,8	0,5
D12347.12469/D12378	> 1	<> 1	< 1	**<< 1**	7,1	1,5	2,1	6,7	2,0
D123678/D123789	**> 1**	>= 1	> 1	> 1	0,9	1,1	1,5	1,7	1,6
D123468.124679.124689/D123678	<> 1	**> 1**	~= 1	= 1	23,1	8,4	5,8	6,5	6,1
D123468.124679.124689 /D123679.123689	<> 1	> 1	**< 1**	>= 1	3,4	1,7	1,7	1,7	1,7
D123679.123689/D123678	~= 1	> 1	> 1	**<= 1**	6,6	5,6	3,9	3,9	3,6
D1234679/D1234678	< 1	> 1	< 1	<< 1	1,8	0,9	1,0	0,9	1,0
F1368/F1678.1234	**<< 1**	> 1	~= 1	-	7,2	4,4	2,4	-	1,2
F1378.1379/F1468	< 1	**> 1**	> 1	-	3,4	1,9	0,6	0,4	1,0
F2467/F2378	<= 1	~= 1	**<< 1**	>= 1	0,96	0,81	0,31	0,54	0,69
F1278/F1267.1279	> 1	> 1	**>> 1**	>= 1	1,9	12,3	2,2	2,4	1,6
F2367/F3467	>= 1	>= 1	**>> 1**	-	3,6	1,0	-	-	10,6
F1248.1346/F1278	> 1	~= 1	<= 1	**>> 1**	0,7	0,7	2,2	-	0,9
F13468/F12468	**<< 1**	~= 1	= 1	<< 1	0,65	0,78	0,37	0,37	0,60
F13678/F12368.13478	~= 1	**> 1**	> 1	> 1	0,25	0,33	0,17	0,25	0,24
F14678.12347/F12378.12348	> 1	<= 1	**< 1**	~= 1	0,79	0,65	0,46	0,69	0,61
F14678.12347/F23478	> 1	>= 1	**< 1**	< 1	0,63	0,74	0,57	0,79	0,62
F23468/F12469.12678	< 1	~= 1	> 1	**> 1**	0,94	0,79	0,81	1,04	0,70
F124678/F124689	**< 1**	> 1	>= 1	> 1	5,8	11,0	3,1	2,9	4,3
F124678/F123478.123479	> 1	**> 1**	<=1	<< 1	5,0	8,8	1,8	3,4	1,7
F134678.134679/F124678	<< 1	**>> 1**	>> 1	>= 1	0,74	0,82	0,38	0,31	0,65
F123478.123479/F124689	<< 1	> 1	**> 1**	>> 1	1,4	1,3	1,6	0,9	4,2
F123678/F123478.123479	< 1	>= 1	<= 1	**<= 1**	2,5	6,2	0,81	0,67	0,74
F1234678/F1234689	**< 1**	> 1	>= 1	>= 1	17,9	8,6	2,9	1,4	3,2

Beim Vergleich der Isomerenquotienten der einzelnen Probennahmeorte mit denen der PCDD/F-Quellen fällt auf, dass der AK-Sedimentkern sich bei vielen Quotienten erheblich von den übrigen Sedimentkernen unterscheidet und am stärksten in Richtung der Muster der Verbrennungsquellen tendiert. Bei den höherchlorierten Dioxinen und Furanen ist dies

[62] Die fettgedruckten Quotienten der Quellen weisen auf den für diese Quelle charakteristischen Quotienten hin.

besonders auffällig. Als andere Extreme kristallisieren sich die QS- und TK-Sedimentkerne heraus. Hier ist häufig eine Tendenz in Richtung von Quellen der Chlorchemie, insbesondere PCP erkennbar. Der Sedimentkern des Weißer Sees ist ebenfalls deutlich von den chemischen Quellen beeinflusst, allerdings nicht in dem Maße wie die QS- und TK-Proben. Da die Quotienten von PCP, PCB und HCH in einigen Fällen große Ähnlichkeiten aufweisen, ist eine Trennung dieser Quellen anhand der Isomerenquotienten nicht einfach möglich. Der Sedimentkern des Bugsinsees ist hinsichtlich der Isomerenmuster nicht so extrem wie der des Arkonabeckens, es ist aber ebenfalls eine eindeutige Tendenz in Richtung Verbrennungsquellen zu erkennen. Es bleibt unklar, warum dieser Einfluss für den Sedimentkern des Arkonabeckens deutlicher ist als in den BS-Proben[63]. Aufgrund des fehlenden Zuflusses des Bugsinsees war dies so nicht zu erwarten.

In gleicher Weise wie der Vergleich der Probennahmeorte kann auch die **Veränderung der Isomerenquotienten über die Tiefe** und damit die Quelleinflüsse über die Zeit betrachtet werden[64]. In Abschnitt 9.9 auf S. 264 im Anhang sind die PCDD/F-Isomerenquotienten für die einzelnen Schichten der Sedimentkerne dokumentiert.

Für den Sedimentkern des **Arkonabeckens** sind im Wesentlichen zwei Gruppen zu unterscheiden: Die Schicht bis 20 cm Tiefe und die Schicht unterhalb von 20 cm Tiefe. Die Schicht unterhalb von 20 cm Tiefe ist am stärksten von Verbrennungsquellen beeinflusst, während die Schichten bis 20 cm Tiefe ebenfalls deutlich aber nicht so stark von Verbrennungsquellen geprägt sind. Dieser Effekt ist besonders bei einigen Isomerenquotienten der höherchlorierten Dioxine zu erkennen (z.B. 1,2,3,4,6,7,9-HpCDD ÷ 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD und 1,2,3,4,6,8-/1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-HxCDD ÷ 1,2,3,6,7,8-HxCDD).

Im Sedimentkern des **Bugsinsees** weisen einige Isomerenquotienten (z.B. 1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD ÷ 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,4,6,8-/1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-HxCDD ÷ 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF ÷ 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF) auf einen höheren Einfluss von Verbrennungsquellen in den Schichten ab 12 cm Tiefe hin. Da allerdings in den Schichten unterhalb von 18 cm Tiefe aufgrund von vielen Werten unterhalb der Nachweisgrenze nur wenige Isomerenquotienten ermittelt werden konnten, ist dieser Einfluss nicht immer eindeutig. Ein Erklärungsansatz ist hier, dass die tieferen Schichten vor dem großangelegten PCP-Einsatz dort abgelagert wurden und die PCP-bedingten Einträge daher nur in den oberen Schichten zu finden sind[65].

---

[63] Da der Schadstoffeintrag des Bugsinsees nur über die Atmosphäre und für das Arkonabecken allerdings auch durch Zuflüsse - insbesondere die Oder - erfolgt, wäre zu erwarten gewesen, dass die Verbrennung als Quelle insbesondere im Bugsinsee dominiert. Hier zeigt sich allerdings eine stärkere Dominanz von Verbrennungsquellen für das Arkonabecken. Durch den längeren Transportweg zum Arkonabecken ist diese Dominanz nicht erklärbar.

[64] Die hier beprobten Sedimentkerne repräsentieren die Belastungssituation etwa seit frühindustriellen Zeiten. Eine genaue Erläuterung der Datierung findet sich in Abschnitt 7.2 auf Seite 152.

[65] Dies ist auch aufgrund der zeitlichen Einordnung der Sedimentschichten plausibel mit dem zeitlichen Ablauf der kommerziellen Synthese und Verwendung von PCP.

Im Sedimentkern des **Quenzsees** sind die größten Unterschiede ab ca. 120 cm Tiefe erkennbar. Unterhalb von 120 cm Tiefe ist eine große Ähnlichkeit mit den Isomerenquotienten der Verbrennungsquellen erkennbar. So liegt der Isomerenquotient 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF ÷ 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF bis 120 cm Tiefe bei 1,2 – 2,7, darunter bei 5,1 – 8,4. Im Bereich bis 120 cm Tiefe zeigen einige Isomerenquotienten keine eindeutigen Veränderungen über die Tiefe, bei anderen sind Trends erkennbar. In diesem Abschnitt ist tendenziell eine Abnahme des Einflusses von PCP auszumachen.

Im Sedimentkern des **Teltowkanals** sind die Veränderungen der Isomerenquotienten über die Tiefe nicht einheitlich. Für einige Quotienten zeigen die Schichten bis 30 cm große Ähnlichkeiten. Dies weist mit der Tiefe auf eine starke Durchmischung und den möglichen Einfluss der Schifffahrt hin. Hiervon setzen sich die Schichten ab 55 cm Tiefe ab. Für die Probe aus 95 - 100 cm Tiefe ist die Abweichung für einzelne Quotienten besonders stark. Die Schichten bis 30 cm Tiefe zeigen tendenziell ein größerer Einfluss von PCP als die tieferen Schichten. Dies ist mit der PCP-Verwendung in den letzten Dekaden zu erklären.

Im Sedimentkern des **Weißer Sees** ist eine Veränderung der Muster bei 35 cm Tiefe erkennbar. Unterhalb von 35 cm Tiefe zeigt sich ein stärkerer Einfluss von Verbrennungsquellen. Oberhalb von 35 cm Tiefe verschieben sich die Quotienten in Richtung PCP-ähnliche Muster. Im Vergleich zu den anderen Probennahmeorten liegen die Isomerenquotienten der WS-Sedimentkerne zwischen den stark von Verbrennungsquellen beeinflussten AK- und BS-Proben auf der einen und den stärker von chemischen Quellen beeinflussten QS- und TK-Proben auf der anderen Seite.

Insgesamt zeigt damit der Vergleich der Isomerenquotienten, dass die AK- und BS-Proben stärker von thermischen Quellen beeinflusst sind als die übrigen Sedimentkerne. Bei den QS- und TK-Sedimentkernen und in eingeschränktem Maße beim WS-Sedimentkern ist ein größerer Einfluss der chlororganischen Quellen zu finden. Für die unteren Schichten aller Sedimentkerne sind die Verbrennungsquellen als PCDD/F-Quellen dominierend. Zur Oberfläche hin nimmt grundsätzlich der Einfluss von PCP auf die Isomerenquotienten deutlich zu. In einigen Fällen war ein Sprung in den Quotienten erkennbar. Dieser weist auf den Zeitpunkt hin, ab dem sich die PCP-Verwendung in den PCDD/F-Einträgen der Sedimente widerspiegelt. Für die Quellen PCB und HCH konnten keine eindeutigen Einflüsse nachgewiesen werden.

4.1.4 Chemometrische Auswertung der Isomerenmuster

In Ergänzung zur Quellenermittlung basierend auf Homologenprofilen, Isomerenmustern und deren Quotienten, werden hier ebenfalls chemometrische Verfahren angewendet. Diese bieten den Vorteil, systematische Ähnlichkeiten, Unterschiede und grundlegende Zusammenhänge für alle Proben und Verbindungen aufzuklären.

Ausgehend von den relativen Gehalten der Kongenere bezogen auf den jeweiligen Homologen wurden eine Reihe von Clusteranalysen und Faktorenanalysen durchgeführt. Diese beruhten auf einer unterschiedlichen Auswahl von Kongeneren, von allen Kongene-

ren bis hin zu weniger als 30 Kongeneren mit einer eindeutigen Quellzuordnung (vgl. Tabelle 13 auf S. 44). Eine Auswahl von 40 Kongeneren (vgl. Tabelle 24 auf S. 77) zeigte hier die aussagekräftigsten Ergebnisse und wird im Folgenden verwendet.

Clusteranalyse. Die Clusteranalyse wird eingesetzt, um die Ähnlichkeit von Proben bzw. Parametern in Form einer Baumstruktur darzustellen. Ausgehend von den Isomerenmustern für die 40 ausgewählten Kongenere wird im folgenden Bild 30 die Clusterung der Proben erläutert. Bei dieser Analyse bilden sich vier Cluster:

- Cluster 1: alle Proben des Teltowkanals,
- Cluster 2: die oberen Schichten des Weißer Sees (bis 35 cm Tiefe) und des Quenzsees (bis 65 cm Tiefe),
- Cluster 3: Proben des Arkonabeckens (> 15 cm Tiefe),
- Cluster 4: alle Proben des Bugsinsees sowie einige Proben des Arkonabeckens (< 15 cm Tiefe), des Weißer Sees (> 50 cm Tiefe) und des Quenzsees (> 85 cm Tiefe).

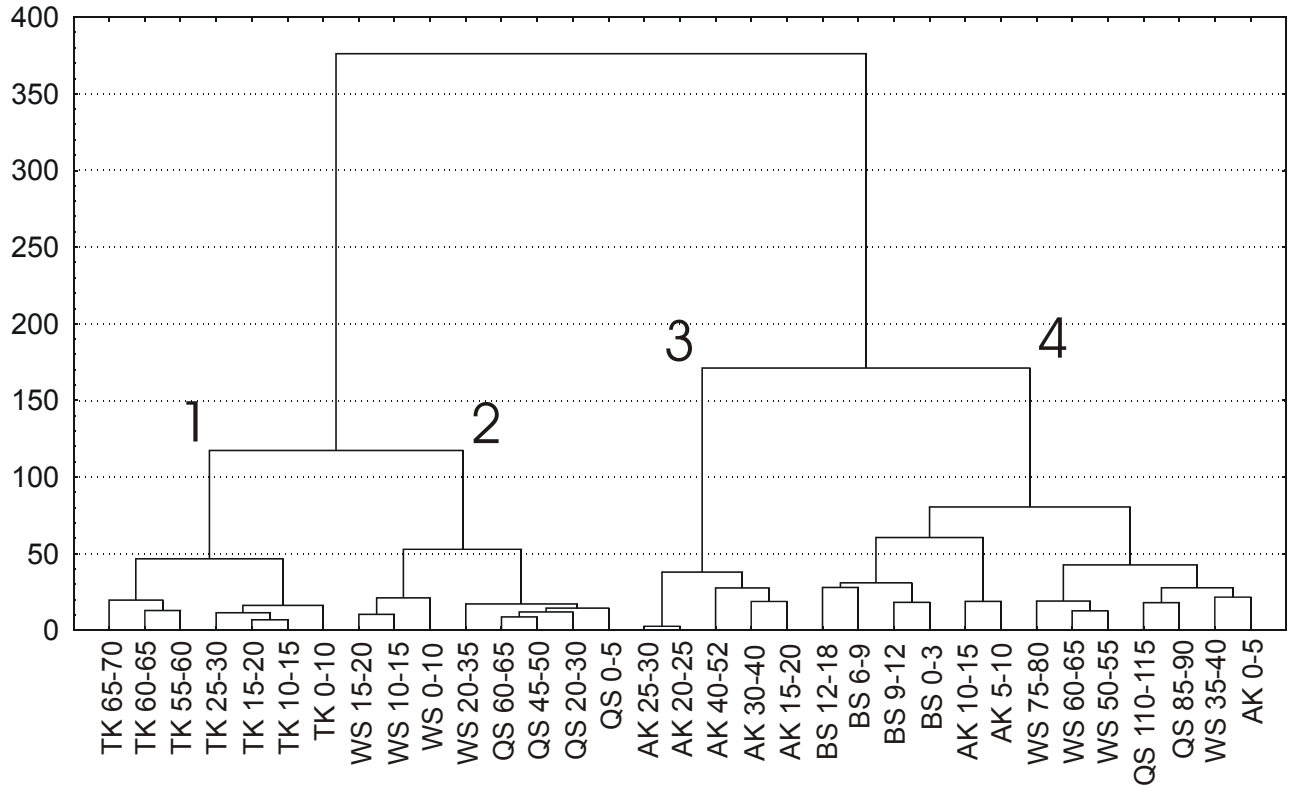


Bild 30 Clusterung der Proben ausgehend vom Isomerenmuster von 40 ausgewählten Kongeneren

Damit zeigt sich eine Kombination aus Musterunterschieden zwischen den Probennahmeorten und Veränderungen über die Tiefe eines Sedimentkerns als wesentlich für die Clusterung. Für die BS- und TK-Sedimentkerne ist nur eine unwesentliche Veränderung

der Muster über die Tiefe festzustellen. Bei den AK-, QS- und WS-Sedimentkernen sind deutliche Unterschiede in den Isomerenmustern zwischen "alten" und "jungen" Schichten erkennbar, da diese in unterschiedlichen Clustern anzutreffen sind. Damit haben sich für die AK-, QS- und WS-Sedimentkerne die PCDD/F-Quelleinträge über die Zeit stärker verändert als für die BS- und TK-Sedimentkerne.

Tabelle 23 gibt die Isomerenquotienten für die vier Cluster wieder. Cluster 3 (AK > 15 cm Tiefe) zeigt hier die größten Verbrennungsanteile. Für Cluster 4 (BS, AK < 15 cm Tiefe, QS > 85 cm Tiefe, WS > 35 cm Tiefe) sind ebenfalls deutliche Verbrennungseinflüsse erkennbar, diese sind allerdings nicht so stark wie für Cluster 3. Cluster 1 und 2 zeigen PCDD/F-Einträge aus chemischen Quellen.

Tabelle 23 Isomerenquotienten der vier Cluster

Charakteristische Isomerenquotienten	PCP	Verbr.	PCB	HCH	Cl1	Cl2	Cl3	Cl4
D1378/D1234	**<< 1**	>= 1	> 1	> 1	2,3	1,9	3,1	1,4
D1368/D1379	< 1	**>= 1**	< 1	~= 1	2,2	1,6	1,3	1,5
D1236.1279/D1278.1469	>= 1	>= 1	**< 1**	-	0,53	0,85	0,60	0,81
D1378/D1247.1248.1369	> 1	>= 1	>= 1	**>> 1**	0,67	0,75	0,48	0,68
D12479.12468/D12379	**> 1**	>= 1	>= 1	>= 1	8,2	2,7	6,2	2,6
D12479.12468/D12478	> 1	> 1	**<< 1**	~= 1	10,3	3,9	4,3	5,2
D12478/D12379	>= 1	**<= 1**	> 1	> 1	0,8	0,7	1,4	0,5
D12347.12469/D12378	> 1	<> 1	< 1	**<< 1**	6,7	2,0	9,9	2,0
D123678/D123789	**> 1**	>= 1	> 1	> 1	1,7	1,6	0,8	1,2
D123468.124679.124689/D123678	<> 1	**> 1**	~= 1	= 1	6,3	4,7	31,1	7,6
D123468.124679.124689/D123679.123689	<> 1	> 1	**< 1**	>= 1	1,6	1,2	4,4	1,9
D123679.123689/D123678	~= 1	> 1	> 1	**<= 1**	3,9	3,9	7,5	4,2
D1234679/D1234678	< 1	> 1	< 1	<< 1	0,9	0,8	2,1	1,1
F1368/F1678.1234	**<< 1**	> 1	~= 1	-	-	1,9	9,8	2,8
F1378.1379/F1468	< 1	**> 1**	> 1	-	0,4	0,6	4,1	1,6
F2467/F2378	<= 1	~= 1	**<< 1**	>= 1	0,57	0,39	0,88	0,78
F1278/F1267.1279	> 1	> 1	**>> 1**	>= 1	2,2	1,8	1,6	5,2
F2367/F3467	>= 1	>= 1	**>> 1**	-	-	10,6	1,3	3,1
F1248.1346/F1278	> 1	~= 1	<= 1	**>> 1**	-	2,3	0,6	0,9
F13468/F12468	**<< 1**	~= 1	= 1	<< 1	0,37	0,39	0,68	0,70
F13678/F12368.13478	~= 1	**> 1**	> 1	> 1	0,26	0,17	0,24	0,27
F14678.12347/F12378.12348	> 1	<= 1	**< 1**	~= 1	0,69	0,52	0,89	0,63
F14678.12347/F23478	> 1	>= 1	**< 1**	< 1	0,84	0,56	0,59	0,71
F23468/F12469.12678	< 1	~= 1	> 1	**> 1**	1,08	0,81	0,97	0,73
F124678/F124689	**< 1**	> 1	>= 1	> 1	3,0	2,7	8,7	7,1
F124678/F123478.123479	> 1	**> 1**	<=1	<< 1	3,6	2,5	5,7	4,2
F134678.134679/F124678	<< 1	**>> 1**	>> 1	>= 1	0,31	0,39	0,84	0,72
F123478.123479/F124689	<< 1	> 1	**> 1**	>> 1	0,9	1,1	1,2	3,2
F123678/F123478.123479	< 1	>= 1	<= 1	**<= 1**	0,69	0,80	3,42	2,60
F1234678/F1234689	**< 1**	> 1	>= 1	>= 1	1,4	1,3	19,3	98,7

Cluster 1 ist tendenziell stärker als Cluster 2 von PCP beeinflusst. Damit sind die TK-Proben, WS 0 - 35 cm Tiefe und QS 0 - 65 cm Tiefe überdurchschnittlich von PCP bzw. chemischen Quellen geprägt, während der Einfluss der Verbrennung bei den AK- und BS-Proben sowie WS > 35 cm und QS > 85 cm am stärksten ist.

Faktorenanalyse. Ausgehend von der Auswahl mit 40 Kongeneren wurde die Faktorenanalyse zur Identifizierung charakteristischer Muster und Quellen eingesetzt. Als Datenbasis wurde hier die Box-Cox transformierte Isomerenverteilung verwendet. Es werden die Varimax-rotierten Faktoren dargestellt. In Tabelle 24 sind die Faktoren mit einem Eigenwert größer 1 zusammengestellt. Die Kongenere mit einem Faktorwert größer 0,6 wurden hervorgehoben, um die für den jeweiligen Faktor wesentlichen Kongenere zu kennzeichnen.

Der Vergleich der wesentlichen Kongenere mit veröffentlichten Quellmustern[66] erlaubt die Zuordnung der Faktoren zu bestimmten Quellen. Faktor 1 (31 % der Gesamtvarianz) zeigt große Ähnlichkeit mit dem Isomerenmustern von PCP. Die Kongenere 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF, 1,2,4,6,7,8-HxCDF, 1,2,4,6,8,9-HxCDF, 1,2,4,6,8-PeCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,6,7,9-HxCDD und 1,2,4,7,9-PeCDD mit Faktor 1-Werten größer 0,6 sind bekannte Indikatorkongenere für PCP. Das ebenfalls hervortretende Kongener 1,3,6,8-TeCDD ist nicht als Indikatorkongener für PCP bekannt, sondern üblicherweise in bedeutenden Mengen in Verbrennungsproben zu finden. Beim Vergleich der PCP- und PCP-Na-Muster (Brunner 1990) deuten die HxCDD-Kongenere auf PCP statt PCP-Na als Kontaminationsquelle hin, für die PeCDD-Kongenere ist dies demgegenüber nicht eindeutig.

Faktor 2 (17 % der Gesamtvarianz) weist auf Verbrennungsquellen hin. 1,3,7,9-TeCDD, 1,2,3,6,8-PeCDD, 1,2,3,7,9-PeCDD, 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,7,8,9-HxCDD und 1,2,3,6,8-PeCDF gelten als Indikatorkongenere für die Müllverbrennung und für thermische Quellen. 1,2,3,7,8-PeCDD wird insbesondere von HCH, aber auch in relevanten Mengen von Verbrennungsquellen emittiert. Beim Vergleich zwischen 2,3-Chlorphenol geprägtem und 2,6-Chlorphenol geprägtem Verbrennungsmuster (Swerev 1988) ist für die PeCDD-Kongenere eine größere Ähnlichkeit zum 2,3-Chlorphenol geprägten Muster erkennbar. Bemerkenswert ist, dass hier schwerpunktmäßig die PCDD-Kongenere hervortreten, obwohl in Verbrennungsquellen die Furane dominieren.

[66] Bacher (1992), Brunner (1990), Dawidowsky (1993), Swerev (1988)

Tabelle 24 Komponentenmatrix der Faktorenanalyse

Faktor	1	2	3	4	5	6	7	8
Anteil der Gesamtvarianz:	**31%**	**17%**	**12%**	**8%**	**7%**	**5%**	**4%**	**3%**
D1368	**0,67**	0,20	0,53	0,12	0,04	-0,42	0,08	0,01
D1379	0,27	**0,65**	0,12	0,06	0,24	-0,43	0,23	0,25
D1378	0,07	0,14	0,01	-0,05	**0,81**	-0,05	0,11	0,12
D2378	-0,01	0,52	-0,42	-0,35	0,29	-0,02	-0,02	0,33
D1234/1246/1249/1238	-0,01	0,45	0,04	-0,19	0,19	**0,73**	0,12	0,19
D1236/1279	-0,48	-0,04	-0,32	-0,15	0,05	**0,70**	0,09	0,14
D1278/1469	-0,38	-0,27	-0,18	-0,11	-0,43	**0,65**	-0,05	-0,16
D12479/12468	**0,65**	-0,02	0,38	-0,04	-0,22	-0,33	-0,15	-0,08
D12368	0,29	**0,61**	0,56	0,00	0,03	-0,24	0,05	0,23
D12478	0,02	0,42	**-0,73**	-0,21	0,24	0,03	-0,05	-0,01
D12379	-0,17	**0,92**	0,16	-0,02	0,12	0,01	0,03	0,19
D12378	-0,14	**0,86**	-0,27	-0,06	0,19	0,09	0,06	0,10
D12469/12347	-0,09	**-0,83**	-0,24	-0,09	0,22	0,15	0,20	0,17
D124679/124689/123468	-0,42	**-0,77**	0,00	0,10	0,02	0,16	0,16	0,25
D123679/123689	**0,72**	0,54	-0,08	-0,04	-0,14	-0,14	-0,21	-0,11
D123678	**0,64**	**0,62**	0,13	-0,04	0,01	-0,18	-0,15	0,01
D123789	0,20	**0,83**	0,10	0,04	0,14	0,09	-0,06	-0,29
D1234678	**0,69**	0,51	0,21	-0,16	0,08	-0,32	-0,11	0,01
F1378/1379	**-0,63**	0,21	-0,19	**0,62**	0,02	0,02	-0,10	-0,14
F1468	0,45	0,35	**0,61**	0,02	0,26	0,12	-0,06	0,16
F2468/1238/1467/1236	0,22	**-0,88**	-0,03	-0,10	0,05	-0,22	0,05	-0,08
F1278	0,13	0,28	**0,77**	-0,17	0,02	-0,22	0,01	-0,04
F1267/1279	-0,07	-0,21	0,08	-0,14	-0,09	-0,02	**0,90**	0,02
F2467	-0,14	-0,05	0,04	-0,31	**-0,81**	0,02	0,26	0,10
F1239/2347	-0,33	0,22	0,32	0,33	**-0,65**	-0,18	0,15	-0,07
F2367	0,57	0,07	-0,13	0,08	-0,06	0,26	**0,66**	0,16
F13468	-0,07	-0,06	-0,13	**0,91**	-0,12	-0,12	-0,02	-0,04
F12468	**0,85**	-0,25	-0,10	0,35	0,07	-0,06	-0,03	0,09
F13678	-0,15	0,00	0,28	**0,84**	0,13	-0,17	-0,10	0,00
F12368/13478	0,20	**0,61**	-0,36	0,51	0,17	0,12	0,13	0,02
F14678/12348	-0,11	0,33	0,24	0,44	0,08	-0,04	0,03	**-0,65**
F12378/12348	-0,01	0,55	0,35	0,39	-0,15	0,08	0,06	0,37
F12369	0,50	0,55	-0,03	-0,18	0,43	0,26	-0,22	0,15
F23478	-0,50	0,24	-0,34	-0,43	-0,26	-0,07	0,31	0,14
F134678/134679	**-0,77**	-0,03	-0,20	0,20	-0,15	0,03	-0,01	-0,24
F124678	**0,88**	-0,17	-0,14	-0,02	-0,02	-0,16	0,07	-0,18
F123478/123479	0,17	0,27	0,26	0,09	0,38	0,16	0,23	**0,70**
F124689	**0,94**	0,08	-0,07	-0,02	0,13	0,04	0,16	0,05
F1234678	**-0,82**	-0,15	-0,17	0,21	-0,28	0,05	-0,05	-0,06
F1234689	**0,83**	0,13	0,20	-0,16	0,34	-0,06	0,02	0,07

Faktor 3 (12 % der Gesamtvarianz) beinhaltet 1,2,7,8-TeCDF und 1,4,6,8-TeCDF als ausgeprägte Kongenere. Von 1,2,7,8-TeCDF ist bekannt, dass es mit einer Reihe von chemischen Quellen, u.a. in der Chlorbleiche und PCB emittiert wird. Diese treten allerdings üblicherweise zusammen mit anderen Kongeneren auf, die hier nicht gleichzeitig hervortreten. Von 1,4,6,8-TeCDF ist keine bedeutende Quelle bekannt. Es ist daher zu erwarten, dass Faktor 3 auf eine chemische Quelle zurückzuführen ist, deren genaue Herkunft bisher noch nicht ermittelt werden konnte und die möglicherweise ein ostdeutsches bzw. osteuropäisches Spezifikum darstellt.

Faktor 4 (8 % der Gesamtvarianz) hat 1,3,7,8-TeCDF, 1,3,4,6,8-PeCDF und 1,3,6,7,8-PeCDF als herausragende Kongenere. Diese sind in bedeutenden Mengen in Verbrennungsquellen enthalten. Ein Teil dieser Kongenere ist in 2,3-Chlorphenol geprägter Verbrennung stärker vertreten als in 2,6-Chlorphenol geprägter Verbrennung. Auffällig ist hier die Trennung der Verbrennungsquellen in Faktor 2 und Faktor 4. Beim Vergleich mit den Faktordiagrammen in Bild 33 ist zu erkennen, dass Faktor 4 insbesondere in den AK-Proben auftritt. Diese sind wesentlich weiter von den Emissionsquellen entfernt als die übrigen Proben. Dies kann als Hinweis betrachtet werden, dass beim Ferntransport die niederchlorierten Furane in den Vordergrund treten, während Dioxine stärker in der Umgebung der Verbrennungsquellen verbleiben[67].

Die übrigen Faktoren 5-8 verfügen ebenfalls über Kongenere mit Eigenwerten von größer eins. Sie sind allerdings nicht eindeutig bestimmten Quellen zuzuordnen.

Bei der Betrachtung der Faktorplots in Bild 31, Bild 32 und Bild 33 ist eine Zuordnung der Proben hinsichtlich ihrer Quelleinflüsse möglich. Von PCP (Faktor 1) sind besonders die TK-Proben und die WS-Proben (bis 35 cm Tiefe) beeinflusst. Die geringsten PCP-Quellanteile zeigen die BS-Proben, die unteren Schichten der WS-Proben (> 50 cm Tiefe) und der AK-Proben (> 20 cm Tiefe).

Von Verbrennungsquellen (hier: Faktor 2) sind am stärksten die BS- und die WS-Proben beeinflusst. Demgegenüber zeigen die AK-Proben und TK-Proben nur geringe Anteile von Verbrennungsquellen. Die als Faktor 3 identifizierte chemische Quelle findet sich am stärksten in den WS-Proben (insbesondere > 50 cm Tiefe), aber auch in den TK-Proben und z.T. auch in den BS-Proben.

[67] vgl. Fußnote 68.

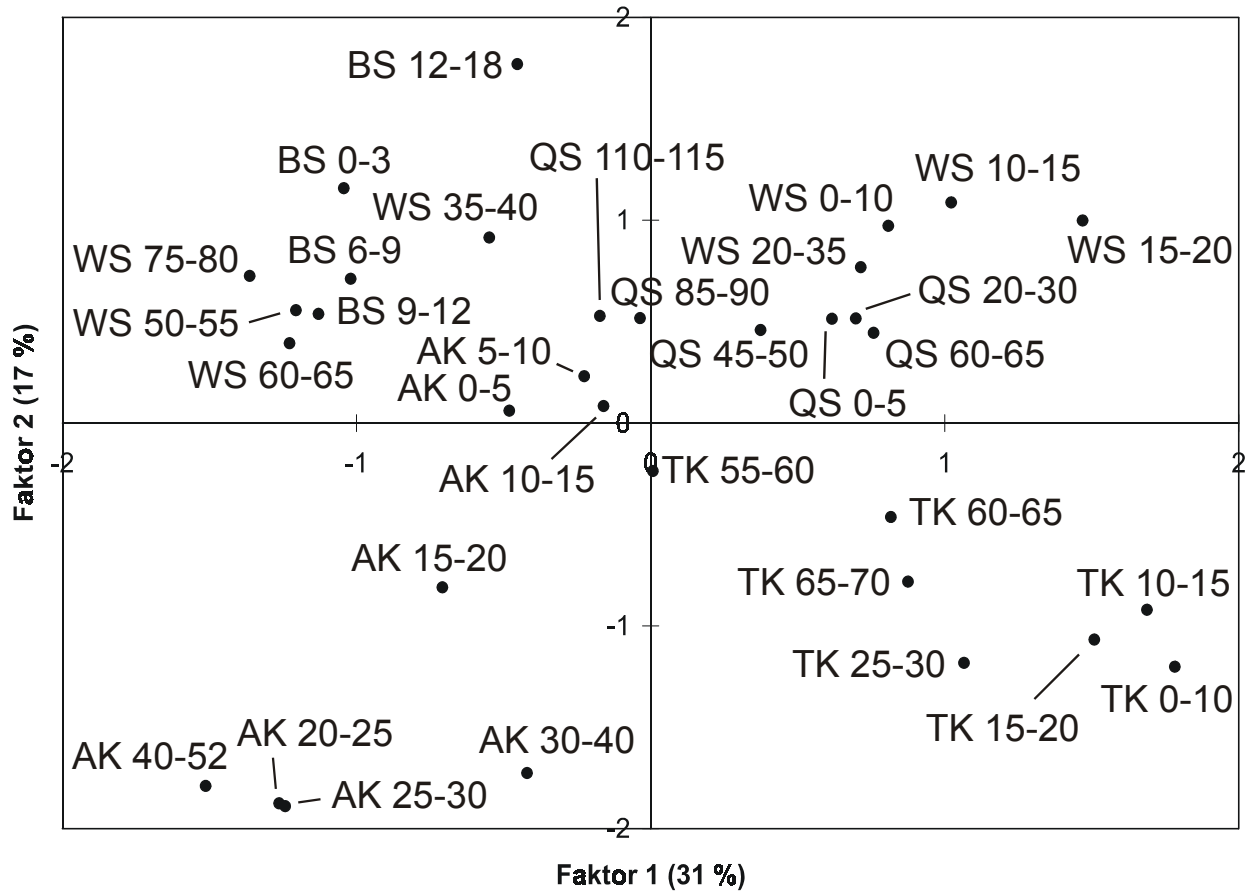


Bild 31 Faktorplot der Faktoren 1 und 2

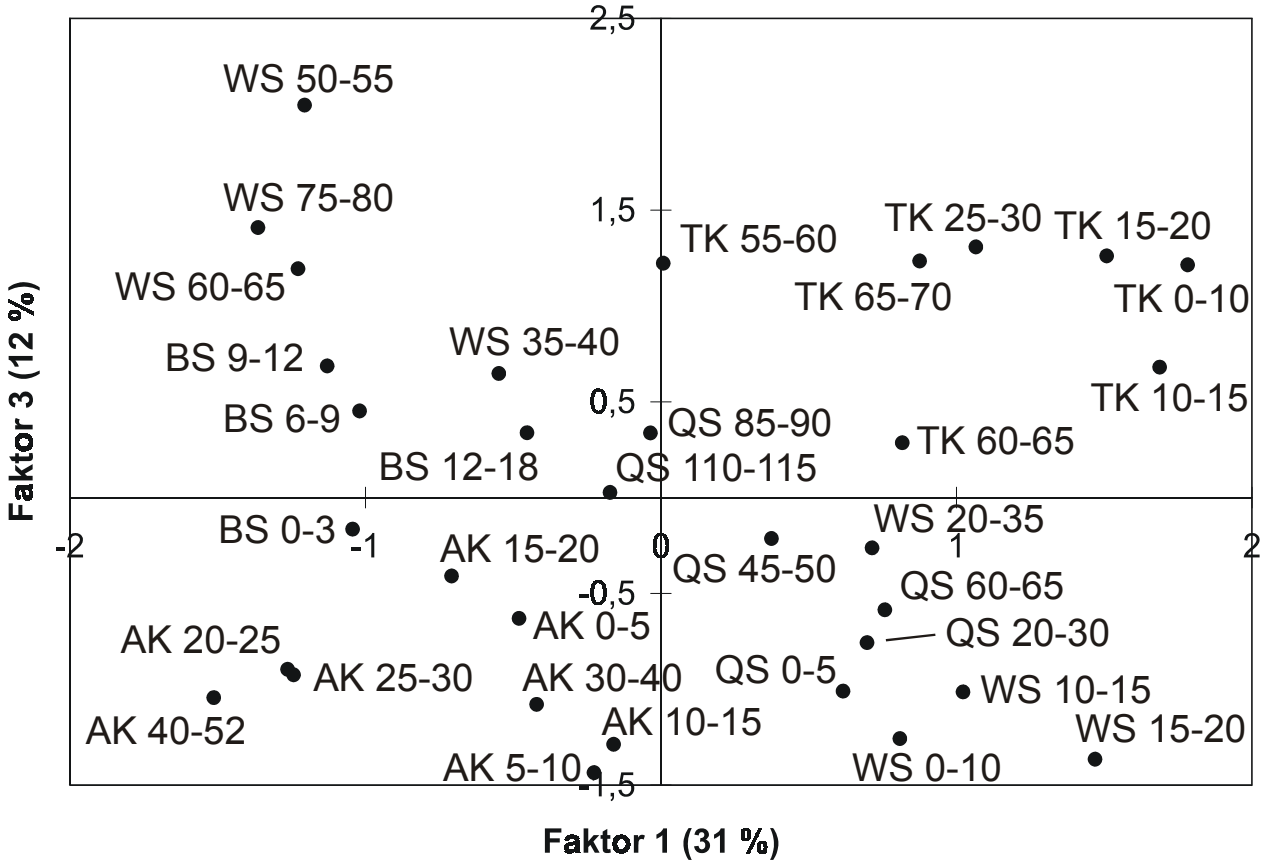


Bild 32 Faktorplot der Faktoren 1 und 3

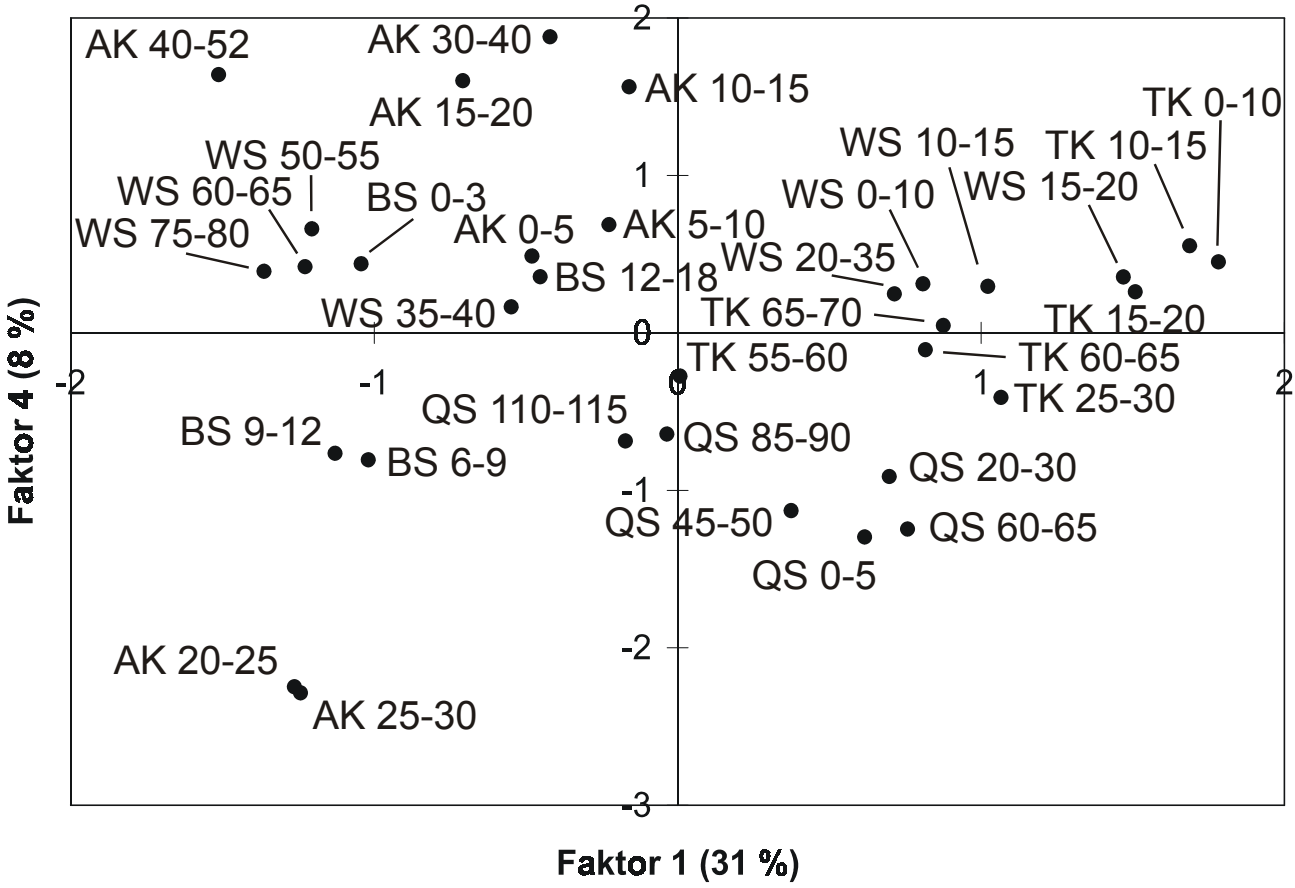


Bild 33 Faktorplot der Faktoren 1 und 4

Die als Faktor 4 identifizierten Komponenten von Verbrennungsquellen treten am stärksten in den AK-Proben auf. Da sich das Arkonabecken weit ab von den üblichen anthropogenen Emissionsquellen befindet, ist hier eher von Ferntransporteffekten als von einer weiteren Quelle auszugehen. Niederchlorierte Kongenere sind flüchtiger und gelten als die am weitesten transportierbaren Kongenere. Höherchlorierte Kongenere sind in größerem Maße partikulär gebunden und unterliegen daher stärker Sedimentations- und Auswaschungsprozessen[68]. Die folgende Tabelle 25 gibt eine **Übersicht über die Rolle der Quellen** ausgehend von den Ergebnissen der Faktorenanalyse.

Die **AK**-Proben sind von PCP und den Verbrennungsquellen (Faktor 2) nur in unterdurchschnittlichem Maße und von der chemischen Quelle (Faktor 3) nicht wesentlich beeinflusst. Von der Quelle „Verbrennung nach Ferntransport“ sind die AK-Proben wesentlich stärker als die übrigen Proben betroffen.

[68] Lohmann und Jones (1998) wiesen darauf hin, dass in Bezug auf die Gas-Partikel-Verteilung niederchlorierte Dioxine und Furane in größerem Maße in der Gasphase anzutreffen sind als höherchlorierte Homologe. Dioxine waren im Vergleich zu Furanen mit demselben Chlorierungsgrad stärker partikulär gebunden. Insgesamt können allerdings eine Reihe von Prozessen und chemisch-physikalische Effekten (u.a. Wasserlöslichkeit, Volatilität, Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient) für das atmosphärische Verhalten relevant. Die Gas-Partikel-Verteilung kann auch von anderen Effekten überlagert sein.

Tabelle 25 Übersicht über die Quelleinflüsse auf die Sedimentkerne[69]

Quelle	PCP	Verbrennung	Chemische Quelle	Verbrennung nach Ferntransport
Faktor	**1**	**2**	**3**	**4**
AK < 20 cm	+/-	+/-	-	+
AK 20 – 30 cm	-	-	-	-
AK > 30 cm	-	-	-	+
BS	-	+	+/-	+/-
QS	+/-	+	+/-	-
TK	+	-	+	+/-
WS < 35 cm	+	+	-	+/-
WS 35 – 50 cm	+/-	+	+	+/-
WS > 50 cm	-	+	+	+/-

Die **BS**-Proben zeigen sich überdurchschnittlich durch Verbrennungsquellen (Faktor 2) und unterdurchschnittlich durch PCP beeinflusst. Von der chemischen Quelle (Faktor 3) und der Verbrennungsquelle nach Ferntransport (Faktor 4) sind gewisse, aber keine bedeutenden Einträge erkennbar. Da der Bugsinsee über keinen direkten Zufluss verfügt, sollte die PCDD/F-Belastung allein auf atmosphärischen Einträgen beruhen.

In den Proben des **Quenzsees** ist der Einfluss von Verbrennungsquellen (Faktor 2) überdurchschnittlich und von Verbrennungsquellen nach Ferntransport (Faktor 4) unterdurchschnittlich. Dies lässt auf eine Verbrennungsquelle in der Umgebung schließen, wie z.B. in Form des benachbarten Stahlwerks. Von PCP und der chemischen Quelle sind ebenfalls gewisse, aber keine bedeutenden Effekte für die QS-Proben erkennbar[70].

Für die Proben des **Teltowkanals** treten PCP und die chemische Quelle (Faktor 3) hervor. Diese Verbindungen wurden möglicherweise durch die in der Nachbarschaft befindliche chemische Fabrik emittiert[71]. Von den beiden Faktoren, die auf Verbrennungsquellen hinweisen, sind nur geringe Einflüsse erkennbar.

Im **Weißer See**-Sedimentkern ist über die Tiefe eine Veränderung der Einflüsse erkennbar. Bis zu einer Tiefe von 35 cm dominieren PCP und Verbrennung (Faktor 2) und unterhalb von 50 cm die Verbrennung und die chemische Quelle (Faktor 3). Als Verbrennungsquellen kommen Haushaltsfeuerungen und Kleingewerbe in den

[69] Ein Pluszeichen weist darauf hin, dass ein bedeutender Eintrag dieser Quelle auf die jeweilige Probe festzustellen ist. Das Minuszeichen zeigt, dass keine oder nur ein geringer Einfluss zu erwarten ist. Das Zeichen +/- deutet an, dass gewisse, aber keine starken Effekte zu erkennen sind.

[70] Da der Quenzsee relativ geschützt ist, wäre eigentlich nicht zu erwarten gewesen, dass der atmosphärische Eintrag dominiert.

[71] Für eine Vielzahl anderer halogenorganischer Verbindungen erwies sich die benachbarte chemische Fabrik als wesentliche Quelle (Schwarzbauer et al. 2001).

umgebenden Wohnsiedlungen in Frage. PCP und die chemische Quelle sind möglicherweise durch oberflächennahe Einleitungen eingetragen worden[72].

Damit bestätigen sich PCDD/F-Einträge von bekannten Emissionsquellen aus der meist näheren Umgebung mit ihren spezifischen Quellmustern. Bei den AK-Proben tritt der Ferntransport von Verbrennungsemissionen in den Vordergrund. Die PCDD/F-Muster in den Proben des Bugsinsees, der über keinen oberflächlichen Zufluss verfügt, sind von Verbrennungsquellen dominiert. Die PCDD/F-Muster der Proben des Quenzsees weisen auf eine Verbrennungsquelle in der Umgebung, vermutlich das benachbarte Stahlwerk hin. Für die Proben des Teltowkanals dominieren PCP und eine chemische Quelle, möglicherweise emittiert von der benachbarten chemischen Fabrik. Die Muster in den Proben des Weißer Sees zeigen vielfältige Einflüsse, sowohl von chemischen als auch von Verbrennungsquellen als Mix benachbarter großstädtischer Quellen.

4.1.5 Vergleich der Quellenermittlungsmethoden

Die verschiedenen Quellenermittlungsmethoden kommen zu einem nicht immer einheitlichen Bild über die wesentlichen PCDD/F-Quellen. In den **Homologenprofilen** der Sedimente ist eine große Ähnlichkeit zu denen von PCP erkennbar. Nur eine begrenzte Zahl von Einzelproben zeigt zusätzliche Einträge von Verbrennungs- und/oder anderen Quellen. In den **Isomerenmustern** der Sedimente sind in vielen Fällen große Überschneidungen mit denen von thermischen Quellen, insbesondere der Müllverbrennung, erkennbar. Für einen Teil der Proben sind ebenfalls Einflüsse von PCP und anderen Proben festzustellen. Ähnliches gilt für die Isomerenquotienten. Hier dominieren ebenfalls Einträge aus Verbrennungsquellen.

In der **Clusteranalyse** kristallisieren sich PCP und Verbrennungsquellen als die beiden wesentlichen Quellgruppen heraus. In der **Faktorenanalyse** stellt PCP den ersten Faktor mit 31 % der Gesamtvarianz, die Verbrennungsquellen Faktor 2 (17 % der Varianz) und Faktor 4 (8 % der Varianz) sowie eine nicht genauer spezifizierbare chemische Quelle Faktor 3 mit 12 % der Varianz.

Insgesamt zeigen alle Quellenermittlungsmethoden Verbrennungsquellen und PCP als wesentliche PCDD/F-Quellen für die Sedimente. Deutliche Unterschiede sind allerdings erkennbar, welche von beiden grundsätzlich im Vordergrund steht. Isomerenmuster und Isomerenquotienten weisen hier auf Verbrennung als bedeutendste Quelle hin. Die Homologenprofile und in begrenztem Maße auch die Faktorenanalyse betonen hier die Rolle von PCP. Als Erklärungsansatz für die Dominanz der höherchlorierten Dioxine im Homologenprofil der Sediment ist die selektive Anreicherung höherchlorierter Dioxine und Furane in den Sedimenten aufgrund der größeren Mobilität der niederchlorierten Furane

[72] Unbestätigte Berichte weisen darauf hin, dass in der Nähe des Weißer Sees eine chemische Fabrik existierte (Ricking 2002). Dies könnte hier die chemische Quelle darstellen.

zu nennen. Dabei werden Sedimente zur globalen Senke insbesondere der höher-chlorierten PCDD/F.

4.2 PAKs IN SEDIMENTEN

In den fünf Sedimentkernen lagen die Gehalte polyzyklischer aromatischer Verbindungen[73] (PAKs) zwischen 560 und 59.000 ng ΣPAK/g TM[74]. Die höchsten Gehalte wurden im Sedimentkern des Weißer Sees (WS) mit bis zu 59.000 ng PAK/g TM gemessen. In den QS- und TK-Sedimentkernen lagen die mittleren PAK-Gehalte an der Sedimentoberfläche mit 10.000 und 30.000 ng PAK/g TM im mittleren Bereich. Vergleichsweise niedrige Gehalte wurden in den AK- und BS-Sedimentkernen mit Gehalten von 4.000 - 10.000 ng PAK/g TM an der Sedimentoberfläche gemessen[75]. Das Tiefenprofil und die Molekülmassenverteilung der Sedimentkerne sind in Bild 34 dargestellt.

In allen Sedimentkernen liegt die Schicht mit den höchsten Gehalten nicht an der Oberfläche, stattdessen weisen die Tiefenprofile auf eine bzw. zwei Kontaminationsspitzen in der Vergangenheit hin. Eine oberflächennahe Kontaminationsspitze in weniger als 10 cm Tiefe ist im AK- und BS-Sedimentkern zu finden. Im QS-Sedimentkern ist ebenfalls nur eine Kontaminationsspitze zu erkennen, diese ist aber nicht oberflächennah sondern in 85 - 90 cm Tiefe. Die TK- und WS-Sedimentkerne weisen auf zwei Kontaminationsspitzen hin, eine oberflächennahe bis 15 cm Tiefe und eine zweite in 50 - 60 cm Tiefe. Auf die möglichen Ursachen dieser PAK-Kontamination wird später im Detail eingegangen.

Ausgehend von den geschätzten Sedimentationsraten (vgl. Tabelle 47 auf Seite 156) und den Dichten wurden **PAK-Eintragsraten** berechnet. Die PAK-Depositionsraten variieren um mehr als 2 Zehnerpotenzen zwischen den Sedimentkernen mit den niedrigsten und höchsten geschätzten Einträgen: AK bis 680 ng PAK/cm^2/a, BS bis 41 ng PAK/cm^2/a, QS bis 25 µg PAK/cm^2/a, TK bis 34 µg PAK/cm^2/a und WS bis 17 µg PAK/cm^2/a. Während in urbanen und industriell geprägten Sedimenten Depositionsraten in einer Größenordnung von 10 µg PAK/cm^2/a und darüber gemessen werden, liegen die Depositionsraten in Hintergrundgebieten in einer Größenordnung von unter 1 µg PAK/cm^2/a. In tieferen

[73] Neben den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen wurden ebenfalls Thiophene analysiert, die im engeren Sinne nicht zu den Kohlenwasserstoffen zählen. Daher wurde hier der Begriff „polyzyklische aromatische Verbindungen“ gewählt.

[74] Insgesamt wurden 39 PAK-Verbindungen identifiziert und quantifiziert. Alle PAK-Summenwerte beziehen sich auf diese Verbindungen. Die PAK-Analysen sind im Detail in Abschnitt 11.5 auf S. 434 im Anhang dokumentiert.

[75] Als Vergleich für die PAK-Messungen im Sedimentkern des Arkonabeckens steht eine Probe des Gotlandsbeckens zur Verfügung (Ricking und Schulz 2002).

Sedimentschichten waren die PAK-Depositionsraten grundsätzlich um mindestens eine Zehnerpotenz niedriger[76].

Die **PAK-Molekülmassenverteilung** in den Sedimentkernen ist in Bild 34 dargestellt. Im Wesentlichen sind Überlagerungen von zwei dominierenden Profilen erkennbar:

- die von höhermolekularen PAKs (insbesondere der Molekülmasse 252) geprägten Profile, wie sie in den AK-Proben und in unteren Schichten des BS-Sedimentkerns zu finden sind,
- die stärker von niedermolekularen PAKs (insbesondere der Molekülmasse 192) geprägten Profile, wie sie am deutlichsten in den Proben QS85-90 und QS231-236 zu erkennen sind.

In vielen Proben sind Mischungen dieser beiden Extremata zu sehen.

Der Anteil der PAKs mit einer Molekülmasse von 192 (methylierte Phenanthrene und methylierte Anthracene) ist in den QS-Proben mit 20 - 37 % außergewöhnlich hoch. In den übrigen Proben beträgt der Anteil der PAKs mit der Molekülmasse 192 am PAK-Gesamtgehalt nur 2 - 18 %. Da diese PAK-Verbindungen hauptsächlich als petrogene Einträge auftreten, können hier die QS-Sedimente als überdurchschnittlich ölkontaminiert identifiziert werden[77]. Da die PAKs mit der Molekülmasse 252 sowohl Perylen als Diageneseprodukt als auch Verbrennungsprodukte abdecken, ist für diese Molekülmasse hiermit keine eindeutige Quellzuordnung möglich.

[76] Aufgrund von möglichen Metabolisierungsprozessen muß dieser Unterschied allerdings nicht nur auf niedrigeren Depositionsraten beruhen. Möglicherweise spielen hier auch Abbau- und Metabolisierungsprozesse ein Rolle.

[77] Insbesondere methylierte Phenanthrene weisen auf Ölkontaminationen hin. Da in Europa natürliche geogene Katageneseprozesse als PAK-Quelle nicht relevant sind, ist hier von einer Ölkontamination auszugehen.

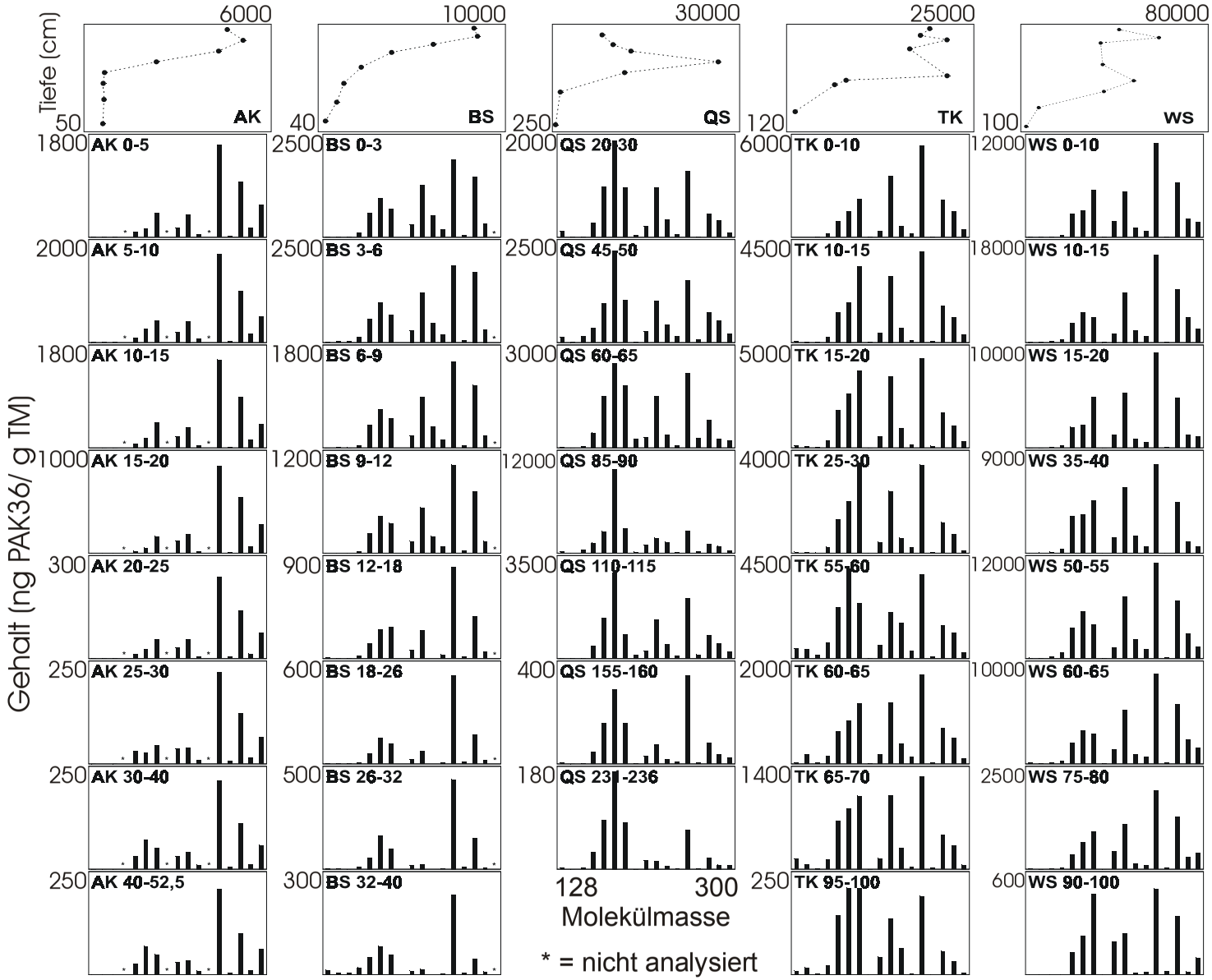


Bild 34 Tiefenprofile der PAK-Gesamtgehalte und deren jeweilige Molekülmassenverteilung; in ng/g TM

Ein weit verbreiteter Ansatz zur Quellenzuordnung von PAKs ist es, **Quotienten von PAK-Verbindungen** zu betrachten. Eine Reihe von Autoren[78] verwenden hier eine Vielzahl verschiedener PAK-Quotienten. Ihre Anwendung ist allerdings nicht immer einheitlich hinsichtlich der zugrundeliegenden Quellbeziehungen. Auch können chemisch-physikalische Prozesse und Abbau- bzw. Metabolisierungsprozesse zu einer Veränderung von PAK-Quotienten in der Umwelt führen und so die Quellzuordnung erschweren. Bei der Auswertung der PAK-Quellstudien haben sich die folgenden PAK-Quotienten als wesentlich für die Differenzierung von Diagenese, Ölkontaminationen, Verbrennung und photolytischem Abbau herauskristallisiert.

- Methylphenanthrene - Phenanthren (Gschwend und Hites 1981, Zeng und Vista 1997):

Das Verhältnis der Methylphenanthrene (MePhen) zu Phenanthren (Phen) wird als Indikator für Ölkontaminationen verwendet. Ein hohes Verhältnis deutet auf petrogene Einträge hin, ein niedriges Verhältnis auf einen geringen Anteil von Öl als PAK-Quelle. Der Quenzsee weist hier die höchsten MePhen/Phen-Verhältnisse auf, der Weißer See die niedrigsten MePhen/Phen-Verhältnisse und damit den niedrigsten Öleintrag. Insgesamt liegen diese MePhen/Phen-Verhältnisse aber wesentlich unter denen, die in Öl direkt bzw. in stark ölkontaminierten Sedimenten gemessen wurden. Daher ist zwar hiermit eine Differenzierung der Öleinträge für die fünf Probenahmeorte möglich, insgesamt erweist sich diese Quelle aber nur für den QS-Sedimentkern als wesentlich.

- Phenanthren - Anthracen (Benlachen et al. 1997, Simcik et al. 1999):

Das Verhältnis von Phenanthren (Phen) zu Anthracen (Anthr) wird für die Unterscheidung von Verbrennungs- und Öleinträgen verwendet. Ein niedriges Verhältnis ist in ölkontaminierten Sedimenten, ein hohes Verhältnis in stark von Verbrennung geprägten PAK-Mustern zu finden. Allerdings kann eine leichtere Abbaubarkeit von Anthracen in der Umwelt im Vergleich zu Phenanthren dieses Verhältnis überlagern. Daher wird in entlegenen Gebieten üblicherweise ein hohes Verhältnis, in stadtnahen Gebieten eher ein niedriges Verhältnis gemessen. Für den AK- und BS-Sedimentkern sind die höchsten Phen/Anthr-Verhältnisse zu finden. Dies bestätigt eher die Unterschiede in der Abbaubarkeit, als dass es auf verschiedene Quellen hinweist.

- Fluoranthen - Pyren (Lipiatou und Saliot 1991, Yunker et al. 1999, Zeng und Vista 1997):

Das Verhältnis von Fluoranthen (Flant) zu Pyren (Pyr) wird zur Differenzierung von petrogenen und pyrolytischen Quellen verwendet. Ein hohes Verhältnis (> 1) weist auf Verbrennungseinträge hin, ein niedriges Verhältnis (< 1) auf Ölkontaminationen. Die höchsten Flu/Pyr-Verhältnisse hat der Sedimentkern des Teltowkanals, hier ist damit ein

[78] Benlachen et al. (1997), Gogou et al. (2000), Gschwend und Hites (1981), Howsam und Jones (1998), Lipiatou und Saliot (1991), Schulz und Ricking (2001), Simcik et al. (1996), Simcik et al. (1999), Venkatesan (1988), Yunker et al. (1993), Yunker et al. (1999), Yunker et al. (2001), Yunker et al. (1996), Zeng und Vista (1997)

wesentlicher petrogener Einfluss festzustellen. Überdurchschnittlich hohe Flu/Pyr-Verhältnisse wurden ebenfalls für den QS-Sedimentkern unterhalb von 85 cm Tiefe und die AK-Sedimentschicht in 5 - 10 cm Tiefe gemessen.

- Benzo(e)pyren - Benzo(a)pyren (Gschwend und Hites 1981, Simcik et al. 1999):

Das Verhältnis von Benzo(e)pyren (BeP) zu Benzo(a)pyren (BaP) wird als Indikator für Photolyse und letztlich atmosphärischen Transport verwendet, da Benzo(a)pyren leichter als Benzo(e)pyren photolytisch abbaubar ist. Mit der atmosphärischen Transportstrecke steigt daher das BeP/BaP-Verhältnis. Diesen Zusammenhang bestätigen die hier untersuchten Sedimentkerne. Der AK-Sedimentkern weist das höchste BeP/BaP-Verhältnis auf und ist am weitesten von möglichen PAK-Quellen entfernt.

- Pyren - Perylen (Venkatesan 1988):

Perylen gilt als Indikator für eine diagenetische PAK-Herkunft. Hohe Perylengehalte weisen daher auf natürliche diagenetische Prozesse hin. Bei einem niedrigen Pyren/Perylen-Verhältnis ist daher der Einfluss von Diageneseprozessen zu erkennen. Im BS-Sedimentkern werden die niedrigsten Pyr/Per-Verhältnisse gemessen. Im AK-Sedimentkern lag dieses Verhältnis ebenfalls unter dem der übrigen Sedimente. Damit wurden für den BS-Sedimentkern der größte und für den AK-Sedimentkern ebenfalls eine bedeutende diagenetische PAK-Bildung im Vergleich zu den übrigen Sedimentkernen nachgewiesen.

Insgesamt erlaubt die Anwendung der PAK-Quotienten die Identifizierung der wesentlichen PAK-Quellen. Die AK-Sedimente ähneln im Wesentlichen den Mustern anderer Proben, allerdings konnte der atmosphärische Transport anhand photolytischer Prozesse nachgewiesen werden. Der BS-Sedimentkern zeigt den stärksten diagenetischen Einfluss. Im QS-Sedimentkern konnte der vergleichsweise größte petrogene Eintrag nachgewiesen werden. Im TK- und im WS-Sedimentkern waren i.d.R. keine extremen Einflüsse festzustellen. Tabelle 26 gibt eine Übersicht über die hier vorgestellten PAK-Verhältnisse in den untersuchten Sedimentkernen.

Tabelle 26 Verhältnisse von PAK-Verbindungen mit Quellbezug

	hoch	niedrig	AK	BS	QS	TK	WS
MePhen/Phen	viel Öl	wenig Öl	2,39±0,78	2,13±0,44	2,92±1,33	1,99±0,31	1,75±0,39
Phen/Anthr	Verbrennung, entlegen	Öleinträge, stadtnah	8,87±4,52	8,27±3,67	2,27±1,36	1,99±0,37	3,95±3,08
Flant/Pyr	> 1: Verbrennung	< 1: Ölkontamination	0,87±0,23	0,92±0,14	1,13±0,35	1,30±0,21	0,84±0,23
B-e-pyr/B-a-pyr	Ferntransport	kein Ferntransport	2,22±0,28	1,13±0,28	1,14±0,12	1,00±0,05	1,15±0,21
Pyr/Per	wenig Diagenese	Diagenese	0,99±0,55	0,54±0,39	2,23±1,53	2,72±0,68	2,90±1,14

Ausgehend von den von Yunker et al. (2001) vorgestellten **Isomerenverteilungen** können ebenfalls wesentliche PAK-Quellen ermittelt werden. Für den Anteil von Anthracen (Anthr)

an den Isomeren mit einer Masse von 178 (Anthr/(Phen+Anthr)) liegen alle Proben im Bereich der Verbrennung (>0,10). Die AK- und BS-Proben erscheinen hier weniger stark von Verbrennungsprozessen beeinflusst als die übrigen Proben. Für den Anteil von Fluoranthen (Flant) an den PAK-Verbindungen mit Masse 202 (Flant/(Flant+Pyr)) liegen alle Proben im Bereich der mobilen Verbrennung (0,4 - 0,5) bzw. im Bereich von Kohle- und Holzverbrennung (> 0,50). Die AK-, BS- und WS-Proben erscheinen stärker von mobilen Verbrennungsquellen beeinflusst, während die QS- und TK-Proben stärker von Kohle- bzw. Holzverbrennung geprägt sind[79]. Der Isomerenanteil von Benzo(a)anthracen (B-a-anthr) bezogen auf alle Verbindungen mit der Masse 228 (B-a-anthr/(B-a-anthr+Chry+Triphy)) liegt für alle Proben im Bereich der Verbrennung (>0,35). Das Verhältnis von Indeno(1,2,3-cd)pyren zur Summe von Indeno(1,2,3-cd)pyren und Benzo(g,h,i)perylen (In-123cd-pyr/(In-123cd-pyr+B-ghi-pe)) deutet für die BS- und WS-Proben auf Holz- und Kohleverbrennung (> 0,50) als wesentliche PAK-Quellen hin und liegt für die AK-, QS- und TK-Proben im Bereich der Verkehrs- und Ölverbrennungsprodukte (0,20 - 0,50).

Insgesamt ergibt sich damit kein einheitliches Bild der Quellzuordnung anhand von Isomerenverteilungen für die einzelnen Sedimentkerne. Es überwiegt für die Mehrzahl der Proben die Rolle von Verbrennungsquellen. Ölkontaminationen spielen meist nur eine untergeordnete Rolle. Die Zuordnung zu Holz- und Kohleverbrennung auf der einen und Verkehrs- und Ölverbrennung auf der anderen Seite ist nicht immer eindeutig. Tabelle 27 fasst die Isomerenverteilungen der Sedimentkerne zusammen.

Tabelle 27 Quellspezifische PAK-Isomerenverteilungen

PAK-Isomerenverteilung	AK	BS	QS	TK	WS
Anthr/(Phen+Anthr)	0,12±0,01	0,53±0,03	0,43±0,04	0,49±0,01	0,52±0,01
Flant/(Flant+Pyr)	0,46±0,06	0,48±0,04	0,52±0,08	0,56±0,04	0,45±0,06
B-a-anthr/(B-a-anthr+Chry+Triphy)	0,35±0,05	0,33±0,03	0,32±0,09	0,35±0,04	0,36±0,05
In-123cd-pyr/(In-123cd-pyr+B-ghi-pe)	0,44±0,01	0,53±0,03	0,43±0,04	0,49±0,01	0,52±0,01

Für PAK-Verbindungen, deren **Anteil mit der Tiefe zunimmt**, waren die PAK-Einträge zu vor- und frühindustriellen Zeiten größer als heutzutage. Demgegenüber hat die Bedeutung der zugrundeliegenden Quellen in den letzten Jahrzehnten für die PAK-Verbindungen zugenommen, deren PAK-Anteil mit der Tiefe abnimmt. Ob und in welchem Umfang sich die PAK-Anteile mit der Tiefe ändern, kann damit Hinweise auf historische Emissionsentwicklungen geben. Die Metabolisierung kann diesen grundsätzlichen

[79] Ggf. ist die Kategorie Verkehrsemissionen um die Schadstoffquellen mit geringen Staubfrachten zu erweitern und die Kategorie der Holz- und Kohleverbrennung um andere Quellen mit hohen Staubfrachten zu ergänzen (vgl. Abschnitt 4.6 auf Seite 115). Dann ist zumindest für die AK- und BS-Proben dieses Phänomen erklärbar, da die Quellen mit geringen Staubfrachten auch stärker dem Ferntransport unterliegen können.

Zusammenhang im Prinzip überlagern[80], ist aber in der Praxis oft nicht bedeutend. Tabelle 28 gibt eine Übersicht über die PAK-Verbindungen, deren Anteil am PAK-Gesamtgehalt mit der Tiefe zu- bzw. abnimmt.

Tabelle 28 Veränderung von PAK-Anteilen mit der Tiefe

Veränderung des PAK-Anteils mit der Tiefe	PAK-Verbindung
Zunahme	3-Methylphenanthren, 4/9-Methylphenanthren, 1-Methylphenanthren, Phenanthren, 7,12-Dimethylbenz(a)anthracen, Perylen
Abnahme	Benzo(e)pyren, Anthanthren, Benzo-b-chrysen, Picen, Phenantro(9,10-b)thiophen, Triphenylen, Indeno(1,2,3-cd)pyren, Benzo(g,h,i)perylen, Benzo(a)anthracen, Chrysen, 2-Methylphenanthren, Benzo(b,j)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Benzo(a)pyren

Die PAKs, deren Anteil mit der Tiefe zunimmt, können üblicherweise diagenetischen Prozessen bzw. Ölkontaminationen zugeordnet werden. Die PAKs, deren Anteil mit der Tiefe abnimmt, umfassen schwerpunktmäßig Verbrennungsprodukte. Damit hat der PAK-Anteil aus Verbrennungsquellen in den letzten Jahrzehnten tendenziell zugenommen, während der von Diagenese und petrogenen Einträgen tendenziell abgenommen hat.

Die **Clusteranalyse** wurde als weitere Quellenermittlungsmethode der PAKs angewendet. Sie wurde sowohl für die absoluten Gehalte als auch für die relativen Gehalte (bezogen auf den PAK-Gesamtgehalt) durchgeführt. In beiden Fällen wurde die Datenmatrix Box-Cox transformiert und autoskaliert. Bei der Analyse der absoluten Gehalte steht die Kontaminationshöhe der einzelnen Verbindungen im Vordergrund, bei den relativen Gehalten die Verteilungsmuster.

Die Dendrogramme der Proben und der PAK-Verbindungen für die **relativen Gehalte** sind in Bild 35 und Bild 36 dargestellt. Die Proben gruppieren sich in 3 Hauptgruppen: Cluster 1 mit den AK-Proben sowie den BS-Proben > 12 cm Tiefe; Cluster 2 mit den WS-Proben, den BS-Proben < 12 cm Tiefe und TK 0-10 cm; Cluster 3 mit den QS-Proben und den TK-Proben > 10 cm.

Bei der Betrachtung der zugrundeliegenden Gehalte für die jeweiligen Cluster sind folgende Quellzuordnungen möglich: In den Proben von Cluster 1 sind vergleichsweise viele Diageneseprodukte und photostabile Verbrennungsprodukte enthalten. In den Proben von Cluster 2 sind überdurchschnittlich viele photosensitive Verbrennungsprodukte. Der relative Anteil von Ölkontaminanten ist in Proben von Cluster 3 überdurchschnittlich hoch. Diese Struktur spiegelt sich auch in der Clusterung der PAK-Verteilungen in Bild 36 wieder[81]. Die Ölkontaminanten sind in Cluster 1 zusammengefasst. Cluster 2

[80] Für PAK-Verbindungen mit einer überdurchschnittlichen Metabolisierungsrate wäre bei gleichbleibenden Emissionsanteilen eine Abnahme der Anteile mit der Tiefe zu erwarten.

[81] Die Clusternummerierung des Baumdiagramms der Proben und des Baumdiagramms der Verbindungen beziehen sich nicht direkt aufeinander. D.h. im Cluster 1 der Proben sind nicht unbedingt hohe Gehalte von PAK-Verbindungen des Cluster 1 der Verbindungen enthalten.

umfasst die Diageneseprodukte und photostabilen Verbindungen. Die photosensitiven Verbrennungsprodukte sind in Cluster 3 zu finden.

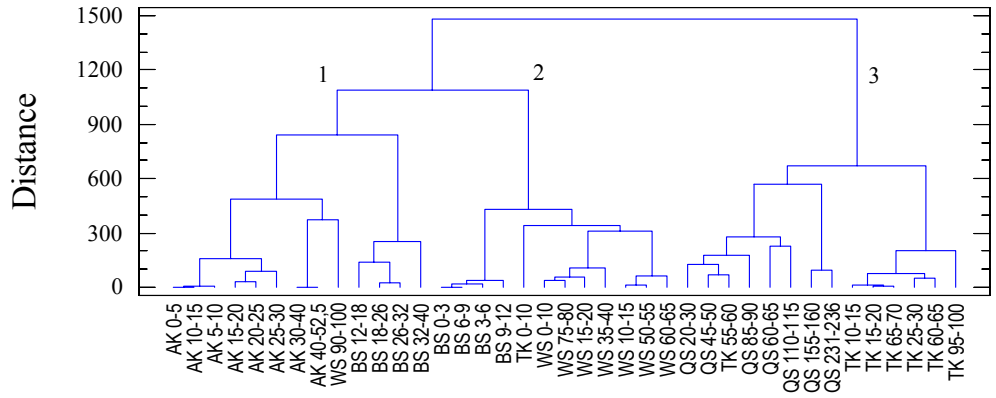


Bild 35 Clusteranalyse der relativen Gehalte: Baumdiagramm der Proben

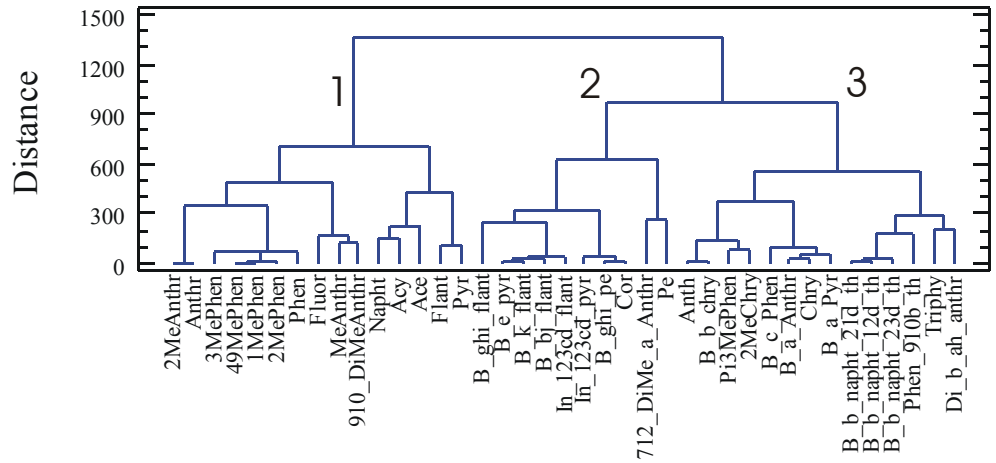


Bild 36 Clusteranalyse der relativen Gehalte: Baumdiagramm der PAK-Verbindungen

Bild 37 und Bild 38 stellt in der zweiten Clusteranalyse die Baumdiagramme für die **absoluten PAK-Gehalte** dar. Die Clusterung der Proben zeigt die Sedimente mit mittleren PAK-Gehalten in Cluster 1 (AK < 20 cm, BS < 18 cm, TK 60 – 70 cm, WS > 75 cm), mit niedrigen Gehalten in Cluster 2 (AK > 20 cm, BS > 18 cm, TK > 95 cm, QS > 155 cm) und mit hohen Gehalten in Cluster 3 (QS < 115 cm, TK < 60 cm, WS < 65 cm). Die Clusterung der PAK-Verbindungen ergibt die Ölkontaminanten und Diageneseprodukte in Cluster 1 und die Verbrennungsprodukte in Cluster 2 (photostabile Verbindungen im linken Teil, photosensitive im rechten Teil).

Damit werden mit Hilfe der Clusteranalyse photosensitive und photostabile Verbrennungsprodukte, Ölkontaminanten und Diageneseprodukte als wesentliche Quell-

gruppen für die PAK-Verbindungen in den untersuchten Sedimentkernen identifiziert und überdurchschnittliche Quelleinträge bestimmten Proben zugeordnet.

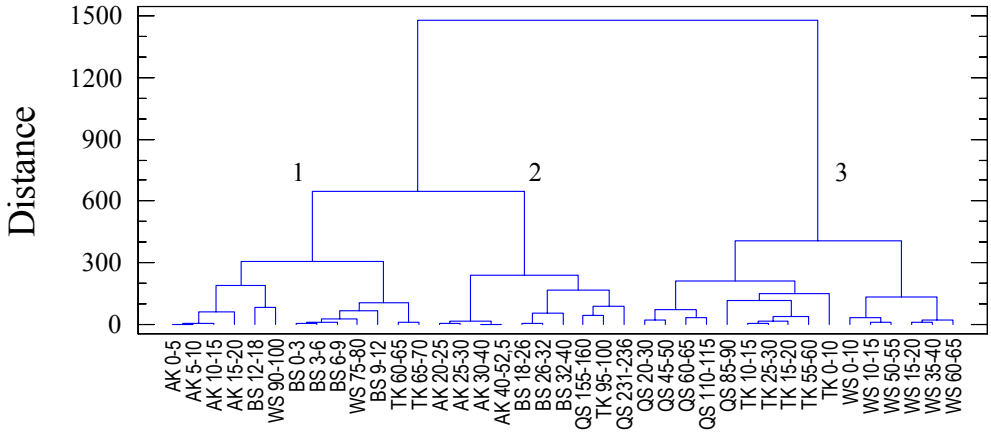


Bild 37 Clusteranalyse der absoluten Gehalte: Baumdiagramm der Proben

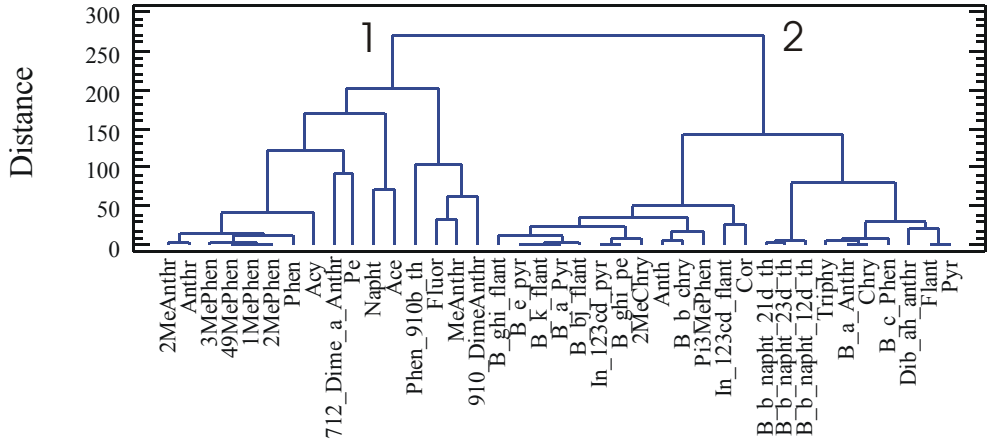


Bild 38 Clusteranalyse der absoluten Gehalte: Baumdiagramm der PAK-Verbindungen

Als weitere Quellenermittlungsmethode wird für die PAKs die **Faktorenanalyse** basierend auf dem Verteilungsmuster[82] eingesetzt. Ziel der Faktorenanalyse ist es, grundlegende Faktoren in Form wesentlicher Quellen zu extrahieren. Dabei werden einzelne PAK-Verbindungen entsprechend ihrer Bedeutung zu Faktoren zusammengefasst, deren Quellbezug dann zu interpretieren ist. In Tabelle 29 ist die rotierte Komponentenmatrix dargestellt. Faktorwerte > + 0,6 bzw. < - 0,6 wurden markiert, um deren signifikante Bedeutung für die Quellzuordnung hervorzuheben. Für die Faktoren 1 - 3 können zugrundeliegende Quellen identifiziert werden. Mit diesem Faktorenmodell werden

[82] Dabei wird der Quotient aus dem Gehalt der Einzelverbindungen und dem PAK-Gesamtgehalt gebildet.

folgende Anteile der Gesamtvarianz erklärt: Faktor 1 (36,7 %), Faktor 2 (25,7 %), Faktor 3 (9,0 %), Faktor 4 (7,4 %), Faktor 5 (3,8 %), Faktor 6 (3,6 %) und Faktor 7 (2,6 %).

Tabelle 29 Übersicht über die Faktorwerte des Faktormodells

Faktor	1	2	3	4	5	6	7
2-Methylanthracen	**0,79**	0,35	0,34	-0,10	0,22	-0,19	0,02
Benzo(ghi)fluoranthen	-0,52	-0,09	0,07	-0,01	0,00	**0,78**	-0,07
Benzo(e)pyren	**-0,92**	0,26	0,15	0,01	-0,07	0,20	-0,03
Anthanthren	-0,36	**0,73**	-0,10	0,21	0,38	-0,23	-0,14
Indeno(1,2,3-cd)fluoranthen	**-0,87**	-0,02	-0,12	0,20	-0,13	0,26	0,01
Benzo(b)chrysen	-0,26	**0,83**	0,06	0,25	0,21	-0,27	-0,05
Picen	-0,50	0,47	-0,06	0,44	0,40	-0,16	-0,10
3-Methylphenanthren	**0,85**	0,15	0,22	-0,09	-0,13	0,10	0,03
4/9-Methylphenanthren	**0,93**	-0,25	0,09	0,10	0,03	0,04	-0,08
1-Methylphenanthren	**0,96**	-0,12	0,13	0,05	0,04	0,04	-0,12
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	0,33	**0,82**	0,20	0,00	0,08	0,21	0,29
Phenanthro(9,10-b)thiophen	0,19	0,59	0,39	0,31	-0,11	0,00	0,19
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen	0,14	**0,84**	0,14	0,28	-0,06	0,15	0,24
Triphenylen	-0,14	**0,72**	0,15	-0,13	-0,30	-0,23	-0,11
Benzo(c)phenanthren	0,01	**0,79**	-0,41	-0,17	0,15	0,14	0,02
Indeno(1,2,3-cd)pyren	**-0,70**	0,03	-0,49	0,39	0,00	0,17	-0,21
Benzo(ghi)perylen	**-0,83**	-0,12	-0,26	0,39	-0,11	0,16	-0,17
Dibenzo(a,h)anthracen	0,15	**0,64**	0,34	-0,17	0,00	-0,36	0,42
Naphthalen	**0,66**	-0,13	0,02	-0,18	0,46	-0,07	0,24
Acenaphthylen	0,44	0,24	0,09	-0,15	**0,79**	0,06	0,01
Acenaphthen	0,25	0,13	-0,51	-0,15	0,52	-0,06	0,35
Fluoren	0,43	-0,25	**0,72**	0,20	0,10	-0,13	0,27
Phenanthren	**0,88**	-0,06	-0,05	-0,16	-0,04	0,06	0,05
Anthracen	**0,70**	0,50	0,35	-0,22	0,16	-0,11	0,12
2-Methylphenanthren	**0,91**	-0,05	0,13	0,03	0,06	0,10	0,13
Methylanthracen	0,38	0,34	**0,76**	0,03	0,03	0,14	-0,02
Fluoranthen	0,32	0,08	0,07	**-0,82**	-0,03	-0,11	0,14
Pyren	0,16	-0,03	-0,08	**-0,85**	0,17	0,10	0,00
9,10-Dimethylanthracen	-0,03	-0,11	**0,94**	-0,13	-0,05	0,01	-0,08
Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen	0,18	**0,84**	0,02	0,17	0,00	0,21	0,38
Benz(a)anthracen	-0,22	**0,84**	-0,18	-0,31	-0,01	-0,12	0,07
Chrysen	-0,06	**0,91**	-0,20	-0,22	0,07	-0,07	-0,12
2-Methylchrysen	-0,36	0,59	-0,29	0,45	0,20	0,22	-0,05
7,12-Dimethylbenz(a)anthracen	0,05	-0,37	0,07	0,43	-0,14	0,07	**-0,60**
Benzo(b,j)fluoranthen	**-0,94**	0,01	0,11	0,01	-0,14	0,07	-0,03
Benzo(k)fluoranthen	**-0,90**	0,32	0,02	0,24	-0,01	0,07	0,00
Benzo(a)pyren	-0,53	**0,76**	-0,03	-0,19	0,18	-0,11	-0,08
Perylen	-0,02	**-0,64**	-0,45	0,40	-0,28	-0,16	0,09
Coronen	**-0,73**	-0,36	-0,10	0,46	-0,07	0,15	-0,24

PAK-Verbindungen, die in Bild 40 hohe positive Faktor1-Werte zeigen, umfassen viele methylierte Phenanthrene und Anthracene sowie Naphthalen, Phenanthren und

Anthracen. Diese lassen sich auf Ölkontaminationen zurückführen. Negative Faktor1-Werte umfassen hauptsächlich Benzopyrene, -fluoranthene und -perylen sowie Coronen. Diese werden schwerpunktmäßig von Verbrennungsprozessen emittiert und gelten als stabil gegenüber photolytischen Prozessen. PAK-Verbindungen mit positiven Faktor2-Werten umfassen Benzonaphthothiophene, Benzo(a)pyren, Benzo(a)anthracen, Benzo(c)phenanthren und Benzo(b)chrysen. Diese werden schwerpunktmäßig von Verbrennungsprozessen emittiert und gelten als sensitiv gegenüber photolytischen Reaktionen in der Atmosphäre. Thiophene gelten als Indikator für Braunkohle und Dieselemissionen. PAK-Verbindungen mit negativem Faktor2-Wert (insbesondere Perylen) weisen auf Diageneseprodukte hin. Die in Bild 42 erkennbaren Verbindungen mit positivem Faktor3-Wert (9,10-Dimethylanthracen, Methylanthracen und Fluoren) werden mit Ölkontaminationen in Verbindung gebracht.

In Bild 39 und Bild 41 sind die korrespondierenden Faktorplots dargestellt. Hohe positive Faktor1-Werte zeigen QS-Proben, hohe negative Faktor1-Werte insbesondere AK-Proben. Proben mit hohen positiven Faktor2-Werten sind TK-, WS- und BS-(< 12 cm)-Proben und mit hohen negativen Faktor2-Werten die BS-Proben >12 cm. Positive Faktor3-Werte sind für QS-Proben und ebenfalls für AK-Proben in eingeschränktem Maße zu finden.

Damit ergeben sich mit Hilfe der Faktorenanalyse folgende Schwerpunkte in der Quellzuordnung:

- AK-Proben: photostabile Verbrennungsprodukte sowie in geringerem Umfang petrogene Einträge und Diagenese
- BS-Proben: Diagenese bzw. photosensitive Verbrennungsprodukte
- QS-Proben: Ölkontamination
- TK-Proben: photosensitive Verbrennungsprodukte
- WS-Proben: photosensitive Verbrennungsprodukte

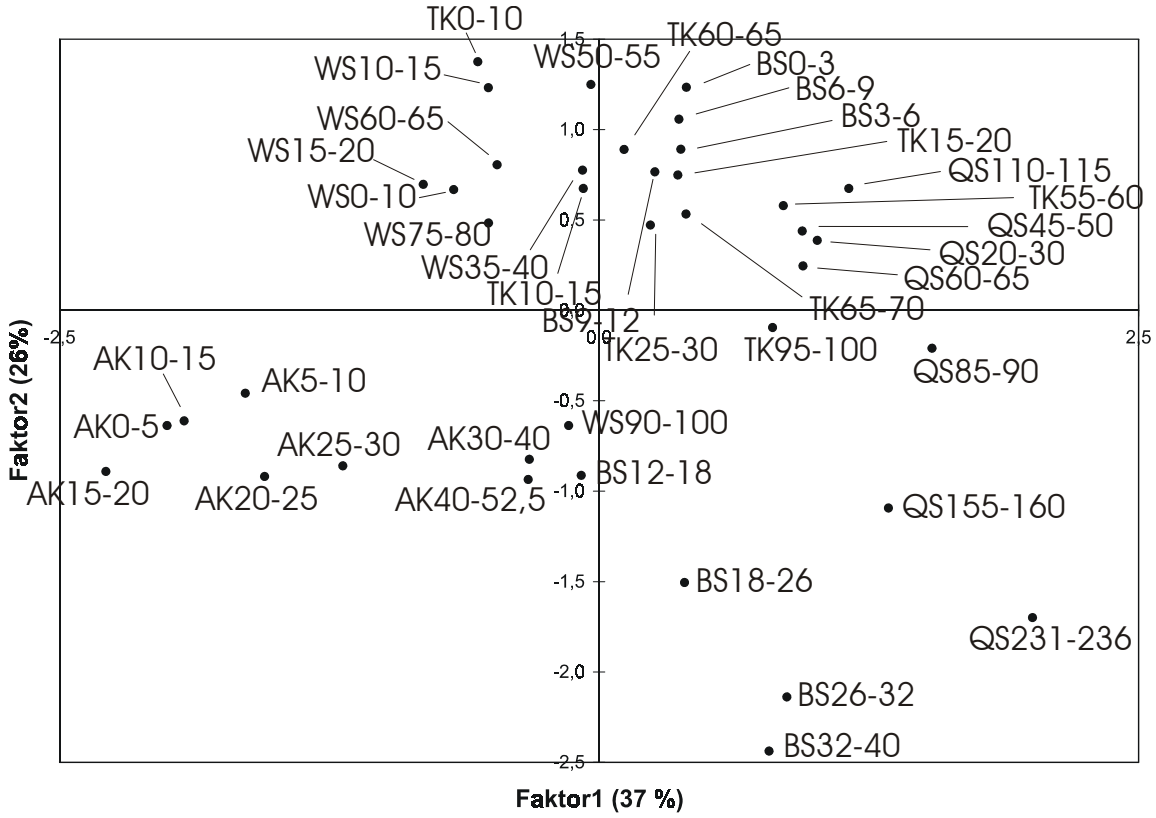


Bild 39 Faktorplot der Faktoren 1 und 2: Faktorenmodell des PAK-Verteilungsmusters, mit Box-Cox-Transformation

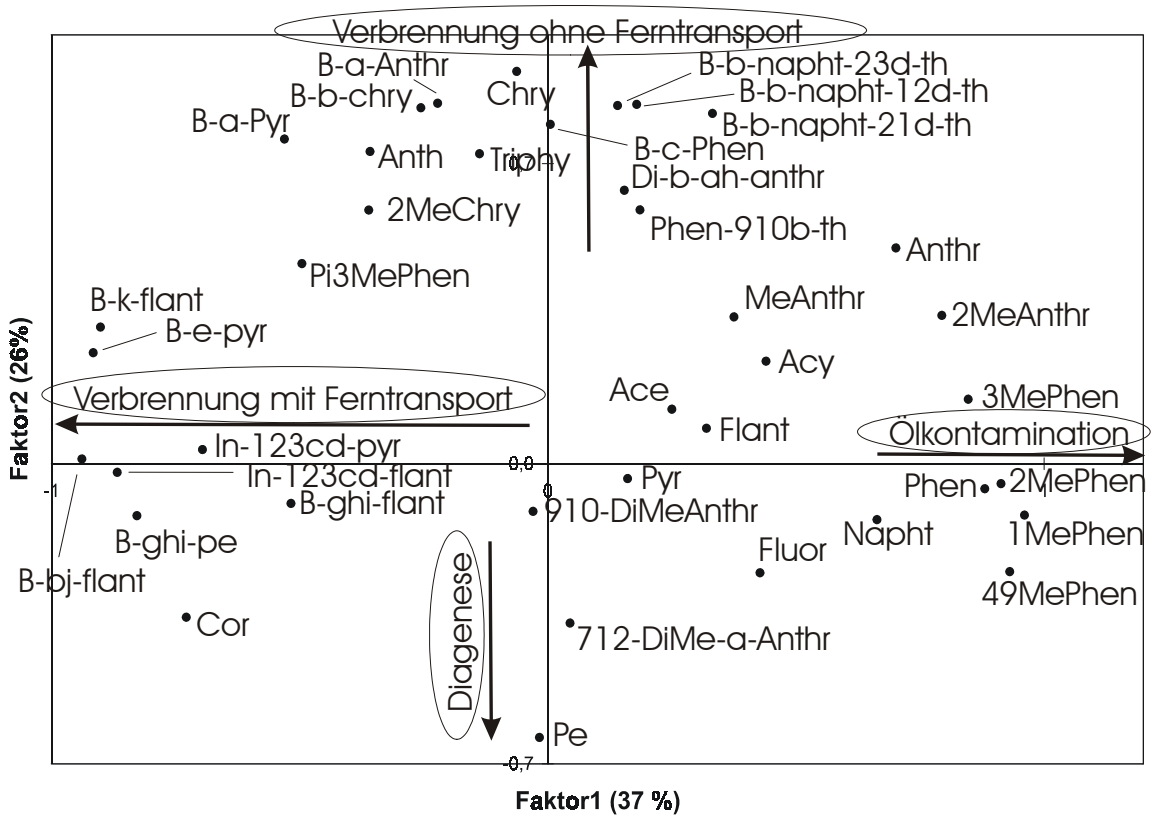


Bild 40 Ladungsplot der Faktoren 1 und 2: Faktorenmodell des PAK-Verteilungsmusters, mit Box-Cox-Transformation

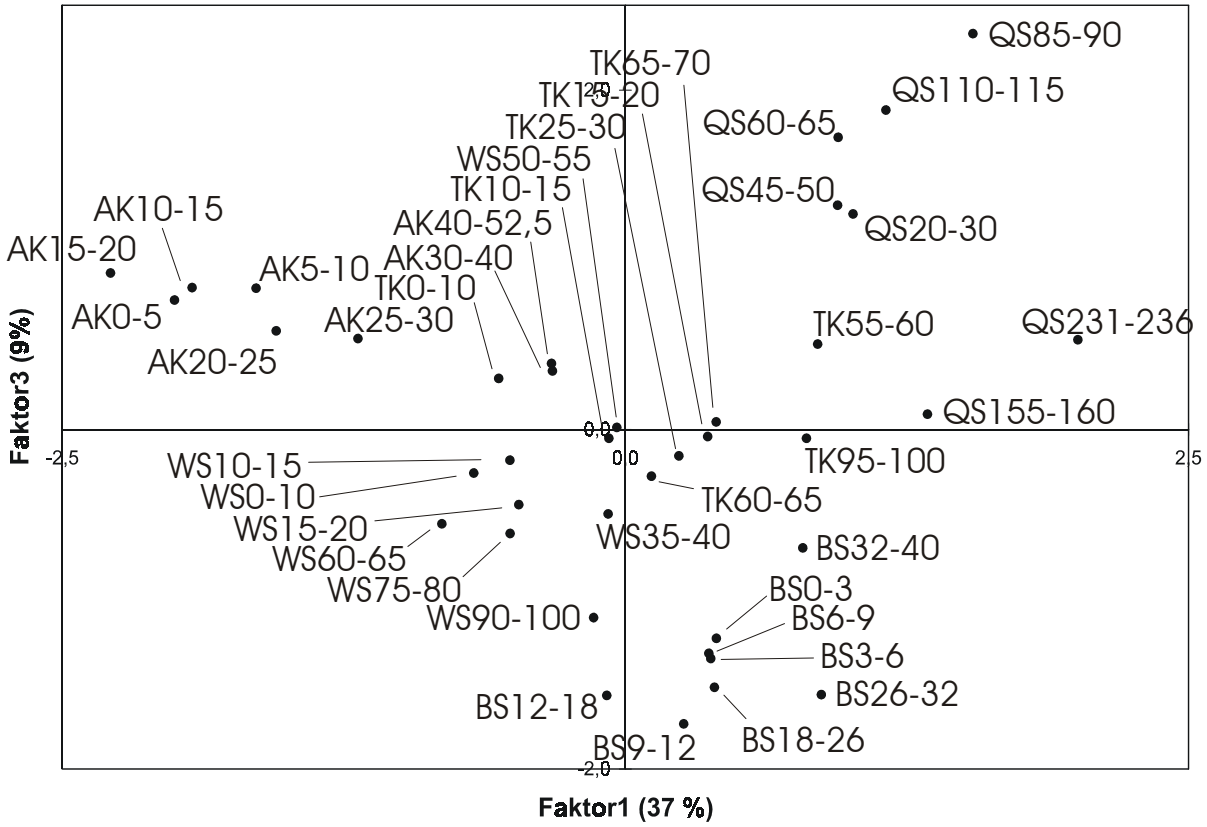


Bild 41 Faktorplot der Faktoren 1 und 3: Faktorenmodell des PAK-Verteilungsmusters, mit Box-Cox-Transformation

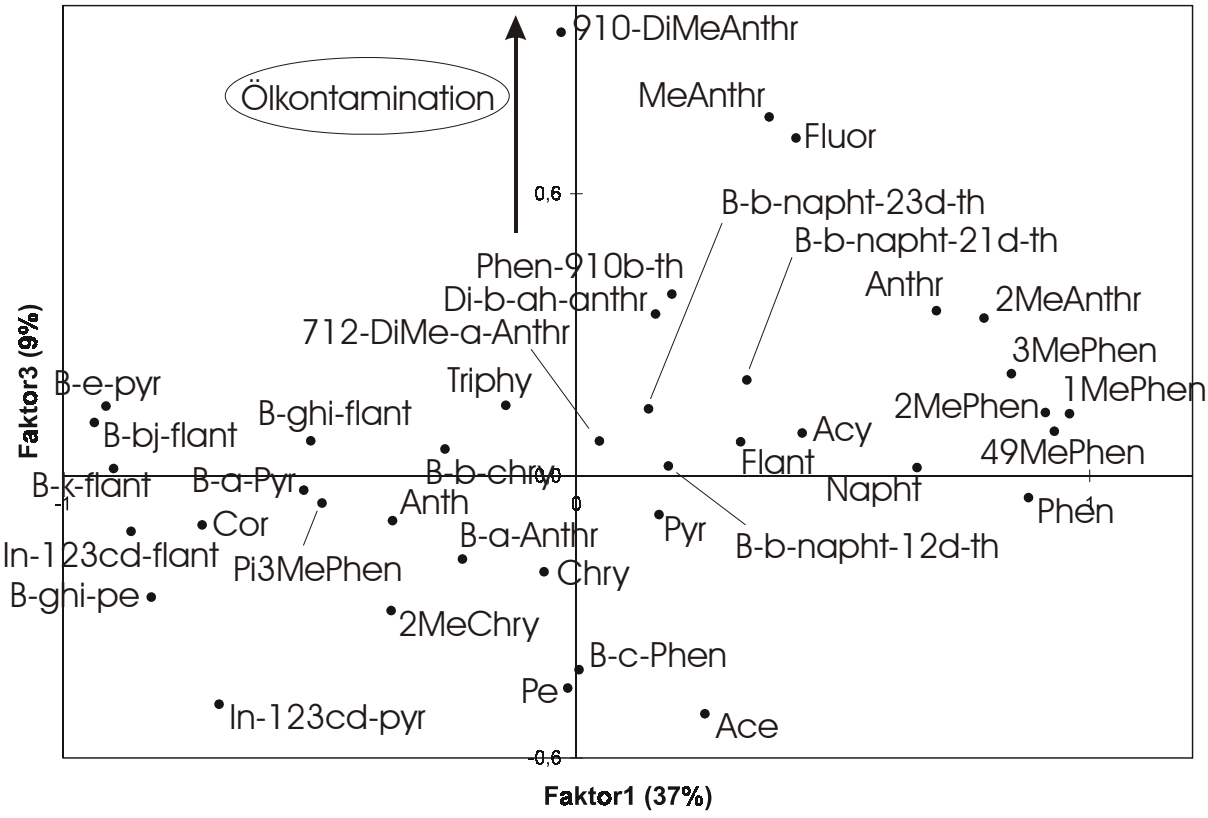


Bild 42 Ladungsplot der Faktoren 1 und 3: Faktorenmodell des PAK-Verteilungsmusters, mit Box-Cox-Transformation

Im Rahmen von PAK-Quellstudien werden für die **Differenzierung von Verbrennungsquellen** ebenfalls eine Reihe von PAK-Verhältnissen angewendet. Als wesentliche Gruppen werden hier zwischen Kohleverbrennung und mobilen Quellen (Verkehr) unterschieden. So ist in Kohleverbrennung das Verhältnis von Benzo(a)pyren zu Benzo(g,h,i)perylen größer als in anderen Verbrennungsproben (Simcik et al. 1999). Das Verhältnis von Benzo(e)pyren zu Benzo(a)pyren ist in Verkehrsemissionen höher als in anderen Verbrennungsquellen (Simcik et al. 1999). Indeno-(1,2,3-c,d)perylen und Benzo(g,h,i)perylen sind Indikatorverbindungen für Verkehr (Howsam und Jones 1998). Da Benzo(e)pyren, Indeno(1,2,3-cd)perylen und Benzo(g,h,i)-perylen sich in der Gruppe von PAK-Verbindungen befinden, die in der Faktorenanalyse mit negativem Faktor 1 belegt sind, ist davon auszugehen, dass diese Gruppe von Verbindungen schwerpunktmäßig vom Verkehr emittiert wird. Die PAKs, die einen positiven Faktor 2 aufweisen (u.a. Benzo(a)pyren), sind eher der Kohleverbrennung zuzuordnen. Die AK-Proben würden damit einen überdurchschnittlich hohen Anteil von Verkehrsemissionen aufweisen, während die TK- und WS-Proben stärker von Kohleverbrennung beeinflusst sind.

Da allerdings der AK-Sedimentkern weit von anthropogenen Aktivitäten entfernt ist, können neben den unterschiedlichen Quellen noch andere Effekte eine Rolle spielen. So werden an grobe Partikel angelagerte PAKs in der Atmosphäre weniger weit transportiert als solche, die mehr in der Gasphase vorliegen bzw. an feine Partikel adsorbiert sind. Die an grobe Partikel angelagerten PAKs könnten dabei den PAKs mit positiven Faktor2-Werten entsprechen und die eher in der Gasphase vorliegenden PAKs denjenigen mit negativen Faktor1-Werten[83]. Letztlich kann hier nicht geklärt werden, ob tatsächlich Verkehr und Kohleverbrennung die jeweils dominierenden Quellen sind oder die Differenzierung basierend auf den verwendeten Brennstoffen (gasförmig und flüssig bzw. fest) beruht oder eher eine gröbere Aufteilung in Quellen mit niedriger bzw. hoher Staubfracht angemessen ist[84].

Insgesamt erweisen sich Verbrennungsprodukte als die größte PAK-Quelle der hier untersuchten Sedimentkerne, insbesondere in den oberen Sedimentschichten. Am stärksten sind photosensitive Verbrennungsprodukte in den TK- und WS-Proben anzutreffen. Darüber hinaus sind noch Ölkontaminationen für die QS-Proben und Diageneseprodukte für die BS-Proben von Bedeutung. Im AK-Sedimentkern sind schwerpunktmäßig photostabile Verbrennungsprodukte mit gewissen Anteilen von Ölkontaminationen und Diageneseprodukten anzutreffen.

Alle Quellenermittlungsmethoden kommen grundsätzlich zu nachvollziehbaren, aber nicht immer identischen Ergebnissen. Unterschiede beruhen weniger auf Unstimmigkeiten als

---

[83] Im Prinzip könnten unterschiedliche Molekulargewichte zu dieser Differenzierung beitragen. Da sowohl zu den PAKs mit positiven Faktor2-Werten als auch zu den PAKs mit negativen Faktor1-Werten nieder- und höhermolekulare Verbindungen gehören, ist es unwahrscheinlich, dass beide von denselben Quellen emittiert werden und die Differenzierung nur über das Molekulargewicht erfolgt.

[84] Die Aufteilung der Quellen könnte sich hier auch auf Brennstoffarten beziehen: Quellen mit flüssigen und gasförmigen Brennstoffen verursachen i.d.R. eine niedrige Staubfracht, während Quellen mit Festbrennstoffen (Kohle, Müll) eine hohe Staubfracht verursachen können.

vielmehr auf anderen Schwerpunktsetzungen der Quellenermittlungsmethoden. Während sich z.B. der Vergleich der Isomerenverteilungen der absolut bedeutendsten Quellen widmet, geht es in der Interpretation der Faktorenanalyse mehr um die Frage der Differenzierung von relativen Quellbeiträgen im Vergleich zu den übrigen Proben. So werden z.B. in der Faktorenanalyse die Diageneseprodukte für die BS-Proben als überdurchschnittlich bedeutend im Vergleich zu anderen Sedimentkernen ermittelt, deshalb kann trotzdem der absolut größte Quellbeitrag von Verbrennungsprodukten ausgehen.

4.3 PCBs IN SEDIMENTEN

In vier der fünf Sedimentkerne waren PCBs in relevanten Mengen nachweisbar. Im Bugsinsee lagen die PCB-Gehalte außer in einer Probe unterhalb der Nachweisgrenze von ca. 0,05 ng PCB/g TM[85]. Die PCB-Gesamtgehalte[86] betrugen in den übrigen vier Sedimentkernen zwischen 0,6 und 1400 ng PCB/g TM. Die höchsten PCB-Gehalte waren im WS-Sedimentkern festzustellen. Im Sedimentkern des Teltowkanals betrugen die PCB-Gehalte bis 660 ng PCB/g TM und im QS-Sedimentkern bis 410 ng PCB/g TM. Im Sedimentkern des Arkonabeckens lagen die PCB-Gehalte mit bis zu 5,7 ng PCB/g TM erheblich darunter[87].

Die höchsten Gehalte waren für die QS-, TK- und WS-Proben nicht in der obersten Schicht, sondern im Bereich von 10 - 65 cm Tiefe anzutreffen. Im AK-Sedimentkern wurden die höchsten Gehalte in der obersten Schicht des Sedimentkerns gemessen. Da die oberste Schicht des Arkonabeckens mehr als ein Jahrzehnt repräsentiert, wäre hier eine feinere Auflösung erforderlich, um die Entwicklung der Schadstoffeinträge in den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten besser wiederzugeben. Damit bestätigt sich, dass – noch deutlicher als für die PCDD/Fs – die PCB-Einträge in die Umwelt vor einigen Jahren bzw. Jahrzehnten am höchsten waren und in den letzten Jahren abgenommen haben (EMEP 2002c). In Bild 43 ist die Entwicklung der PCB-Gehalte über die Tiefe zu erkennen, außerdem wird für jede Schicht das jeweilige PCB-Homologenprofil dargestellt.

In den Sedimentkernen sind üblicherweise di- bis octachlorierte PCB-Kongenere anzutreffen[88]. In den Homologenprofilen dominiert für einen Großteil der Proben das hexa-

---

[85] Nur in der obersten Schicht des Bugsinsees von 0 – 3 cm Tiefe waren die hexachlorierten PCB-Kongenere PCB #138, PCB #149 und PCB #153 jeweils mit Gehalten von 0,2 ng/g TM nachweisbar.

[86] Die PCB-Summengehalte beziehen sich jeweils auf die folgenden 31 analysierten Kongenere: # 8, # 18, # 20, # 28, # 31, # 35, # 44, # 49, # 52, # 66, # 70, # 79, # 90/101, # 105, # 110, # 114, # 118, # 123, # 128, # 138, # 149, # 153, # 156, # 157, # 167, # 170, # 180, # 187, # 189, # 194. Die PCB-Messwerte sind in Abschnitt 11.6 auf S. 440 im Anhang dokumentiert.

[87] Ähnliche PCB Gehalte wurden in der Ostsee im Arkonabecken mit 2,2 - 8,5 ng ΣPCB/g TM (Dannenberger et al. 1997) und 2 - 14 ng ΣPCB/g TM im Botnischen Becken (Bavel et al. 1995) gemessen.

[88] Es ist zu erwarten, dass monochlorierte PCBs ebenfalls zu finden sind. Deren Gehalte können allerdings aufgrund ihrer Flüchtigkeit nicht bestimmt werden.

chlorierte PCB-Homolog. Im AK-Sedimentkern beträgt der Anteil der HxCB-Homologen 33 – 44 % des gesamten PCB-Gehaltes. Im Quenzsee und im Weißer See war in der Mehrzahl der Proben HxCB das PCB-Homolog mit den höchsten Gehalten[89]. Im Teltowkanal bis 60 cm Tiefe war stattdessen oft das trichlorierte Homolog dasjenige mit den höchsten Gehalten. Die im Durchschnitt sechsfach chlorierten PCB-Formulierungen (z.B. Clophen A60) gelten damit als Hauptquelle für PCBs in den Sedimenten. Darüber hinaus sind in vielen Proben bedeutende Einträge von im Durchschnitt dreifach chlorierten PCB-Formulierungen (u.a. Clophen A30) gefunden[90].

Die **Isomerenmuster** der PCBs sind im Gegensatz zu denen der PCDD/Fs für alle Proben sehr ähnlich. Hintergrund ist hier, dass PCBs kommerziell synthetisiert wurden und diese über weitgehend einheitliche Isomerenmuster verfügen. Nur wenige andere Quellen sind bekannt, diese sind meist von untergeordneter Bedeutung[91]. In Abschnitt 10.3 auf S. 331 im Anhang ist beispielhaft das PCB-Isomerenmuster eines Sedimentkerns dargestellt.

Anhand der geschätzten Depositionsraten und Dichten der Sedimentkerne wurden die **PCB-Einträge** ermittelt. Im AK-Sedimentkern betrugen die PCB-Gesamteinträge 0,7 ng PCB/cm^2/a an der Oberfläche und 0,1 - 0,14 ng PCB/cm^2/a in 30 – 50 cm Tiefe. Diese Eintragsraten liegen um ein Vielfaches unter denen für den QS- und den TK-Sedimentkern ermittelten Werten. Im QS-Sedimentkern betrugen die PCB-Einträge bis 390 ng PCB/cm^2/a (in 60 - 65 cm Tiefe), im TK-Sedimentkern bis 1100 ng PCB/cm^2/a (in 65 - 70 cm Tiefe) und im WS-Sedimentkern bis 430 ng PCB/cm^2/a (in 35 - 40 cm Tiefe).

[89] Die niederchlorierten PCBs im Teltowkanal werden auf den Einsatz PCB-haltiger Altöle als Verschalungsmittel eines benachbarten Betonplattenwerkes zurückgeführt (Ricking 2002).

[90] PCBs wurden weltweit unter vielfältigen Markennamen hergestellt und vertrieben (N.N. 2002): In Westdeutschland als Clophen, in den USA als Arochlor und in Osteuropa als Soval, Sovol bzw. Sovtal.

[91] So werden PCBs auch in Verbrennungsprozessen gebildet und emittiert (Akai et al. 2001).

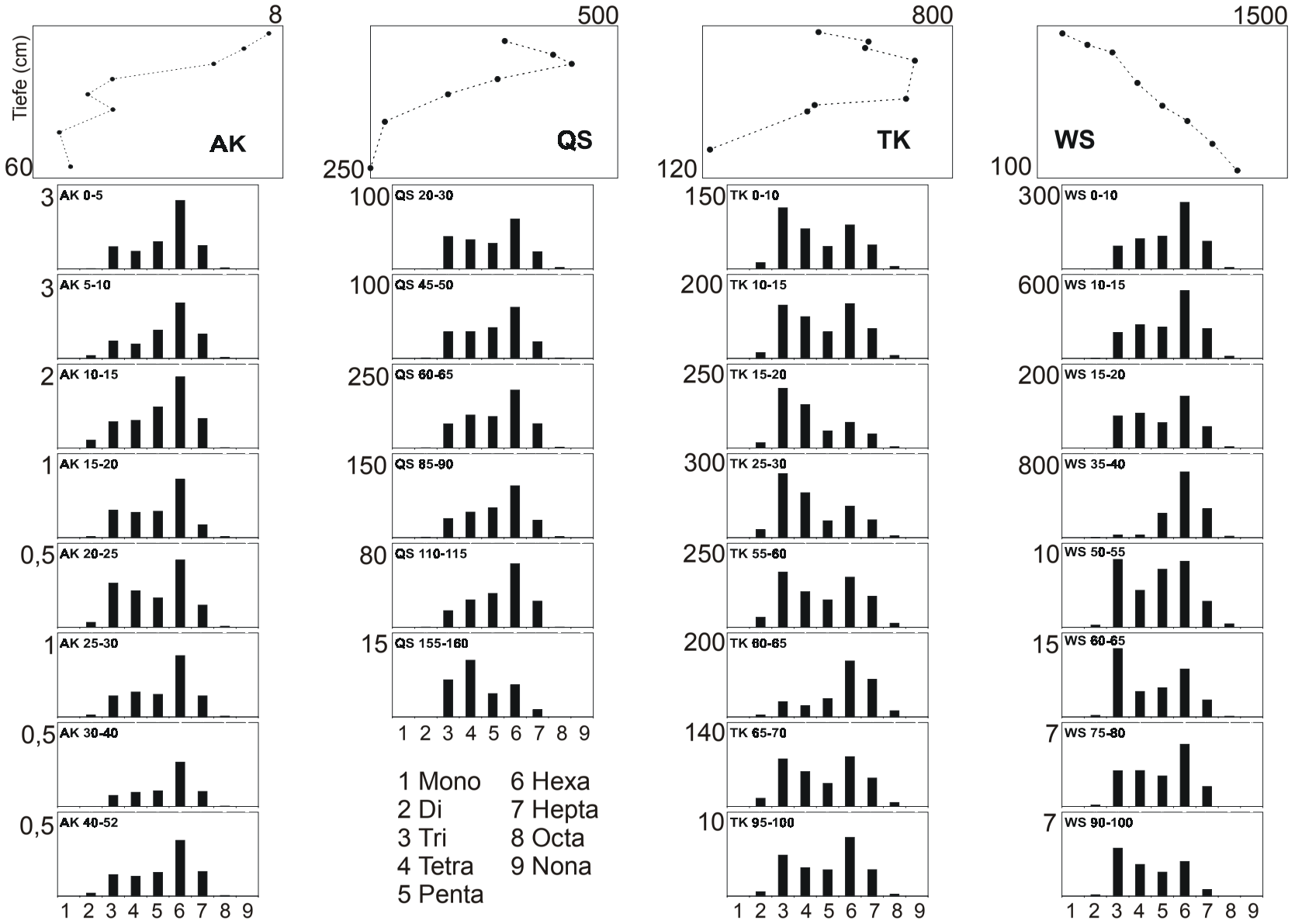


Bild 43 PCB-Tiefenprofile und Homologenprofile der Sedimentkerne, Gehalte in ng PCB/g TM

PCBs gelten als weitgehend stabile, persistente Schadstoffe, die nur in geringem Umfang **Abbauprozessen** unterliegen. Es kann allerdings nicht davon ausgegangen werden, dass PCBs zwischen Emission und Immission keinen Veränderungen ausgesetzt sind. Für Sedimente wird insbesondere die anaerobe mikrobielle Dechlorierung als relevanter Abbauprozess diskutiert[92]. Hier findet vorzugsweise eine Dechlorierung in meta- und para-Position statt, während ortho-substituiertes Cl akkumuliert[93].Eine signifikante Veränderung ist hier insbesondere für den WS-Sedimentkern in Bild 44 festzustellen. Bis 55 cm Tiefe beträgt das Verhältnis der Chloratome in meta- und para-Position geteilt durch die Anzahl der Cl-Atome in ortho-Position 1,96 - 1,98. In tieferen Schichten nimmt dieses Verhältnis auf 1,62 ab. Im QS-Sedimentkern zeigt die unterste Schicht in 155 – 160 cm Tiefe das niedrigste meta+para/ortho Verhältnis mit 1,60, für die übrigen Schichten wurde 1,81 – 1,93 ermittelt. Keine signifikante Veränderung dieses Verhältnisses über die Tiefe war für den AK- und TK-Sedimentkern zu erkennen.

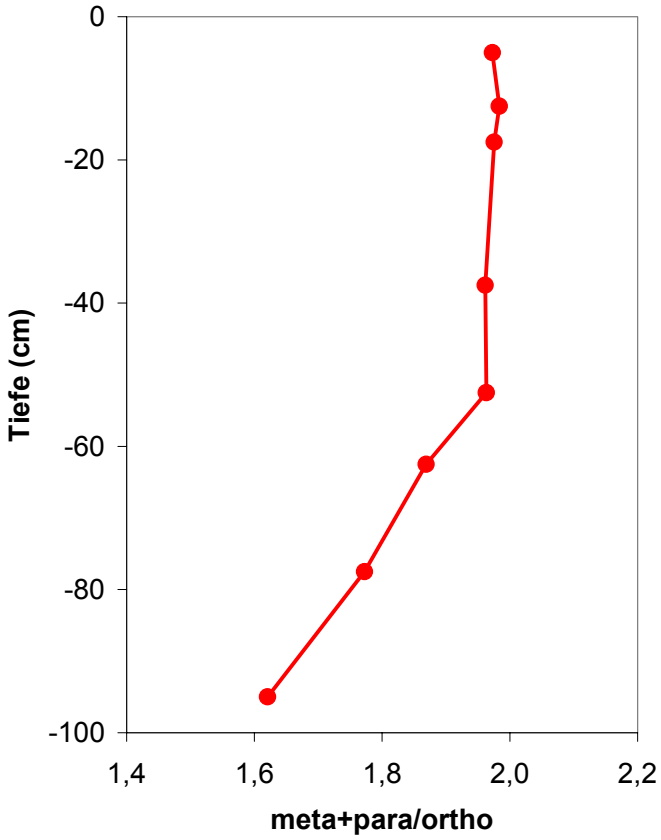


Bild 44 Tiefenprofil des Quotienten der Anzahl Chloratome in meta+para und der Anzahl Chloratome in ortho-Position für den WS-Sedimentkern

[92] vgl. Brown et al. (1984), Brown et al. (1987), Quensen et al. (1988), Rhee et al. (1993)

[93] Darüber hinaus ist noch die aerobe Metabolisierung zu Hydroxy-Verbindungen relevant (Chang et al. 2002). Diese wurden in 2 Proben analysiert, waren aber nicht nachweisbar.

Die Abnahme des meta+para/ortho-Verhältnisses beruht hauptsächlich auf Veränderungen in der Verteilung der hexachlorierten PCB-Kongenere. Der Anteil von PCB #149[94] beträgt meist 23 – 30 % des hexachlorierten PCB-Homologen. In den WS 95-100 und QS 155-160 Proben steigt dieser auf 46 %. Demgegenüber sinkt der Anteil der geringer ortho-chlorierten PCBs in dieser Schicht, z.B. für PCB #138 von 31 % in WS 0-10 auf 18,5 % in WS 90-100. Beispielhaft sind im folgenden Bild 45 und Bild 46 die Chromatogramme der hexachlorierten PCBs für die Proben WS 0-10 und WS 90-100 dargestellt.

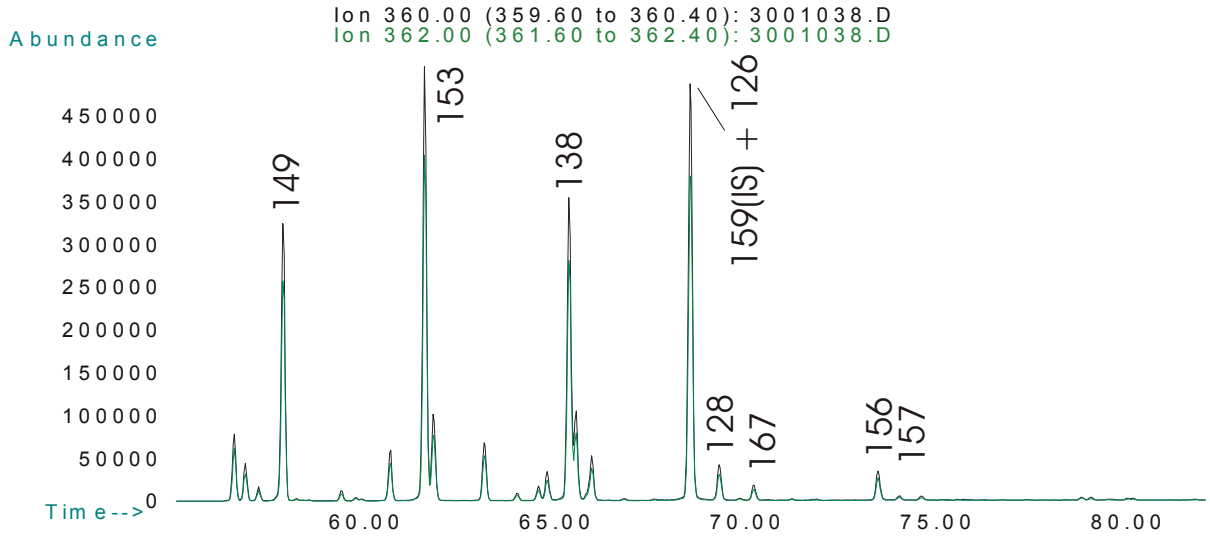


Bild 45 Hexa-PCB Chromatogramm der Probe WS 0-10 mit niedrigem PCB149-Anteil

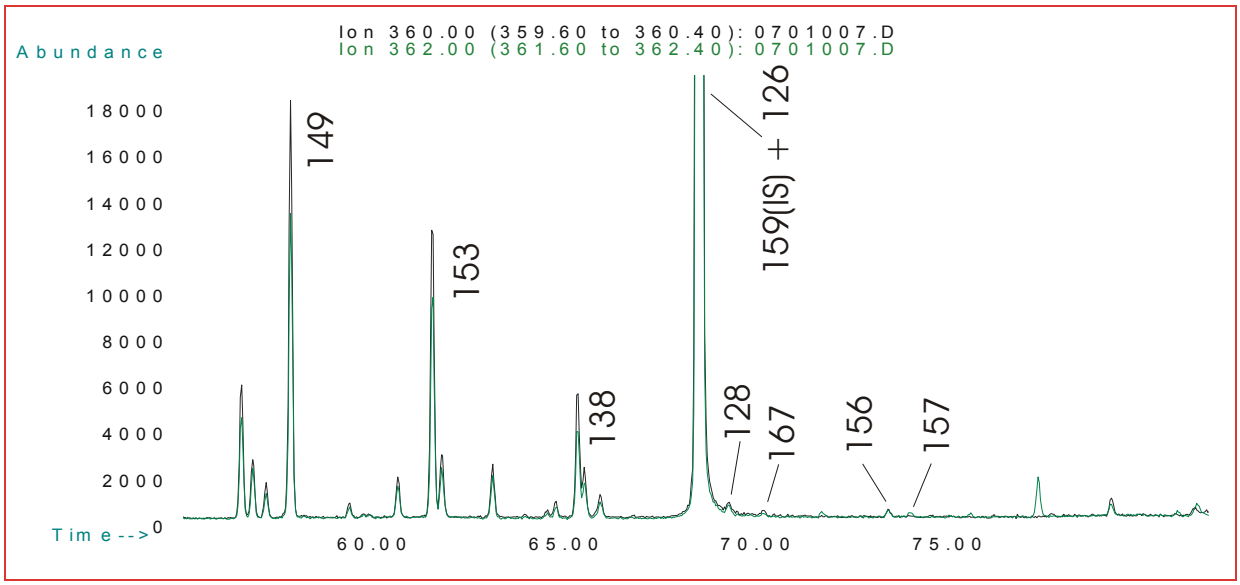


Bild 46 Hexa-PCB Chromatogramm der Probe WS 90-100 mit hohem PCB149-Anteil

[94] PCB #149 verfügt über besonders viele Cl-Atome in ortho-Position: drei in ortho-Position, zwei in

Mit Hilfe der **Clusteranalyse** wird die Kongenerenverteilung der Sedimentproben verglichen. Als Datenbasis dienen hier die Kongenerengehalte relativ zum PCB-Gesamtgehalt. Damit spielt nicht nur die Isomerenverteilung sondern auch der relative Anteil der Homologen am PCB-Gesamtgehalt eine Rolle. Bild 47 zeigt das Ergebnis der Clusteranalyse als Baumdiagramm bezogen auf die Sedimentproben. Dabei kann zwischen vier verschiedenen Clustern differenziert werden.

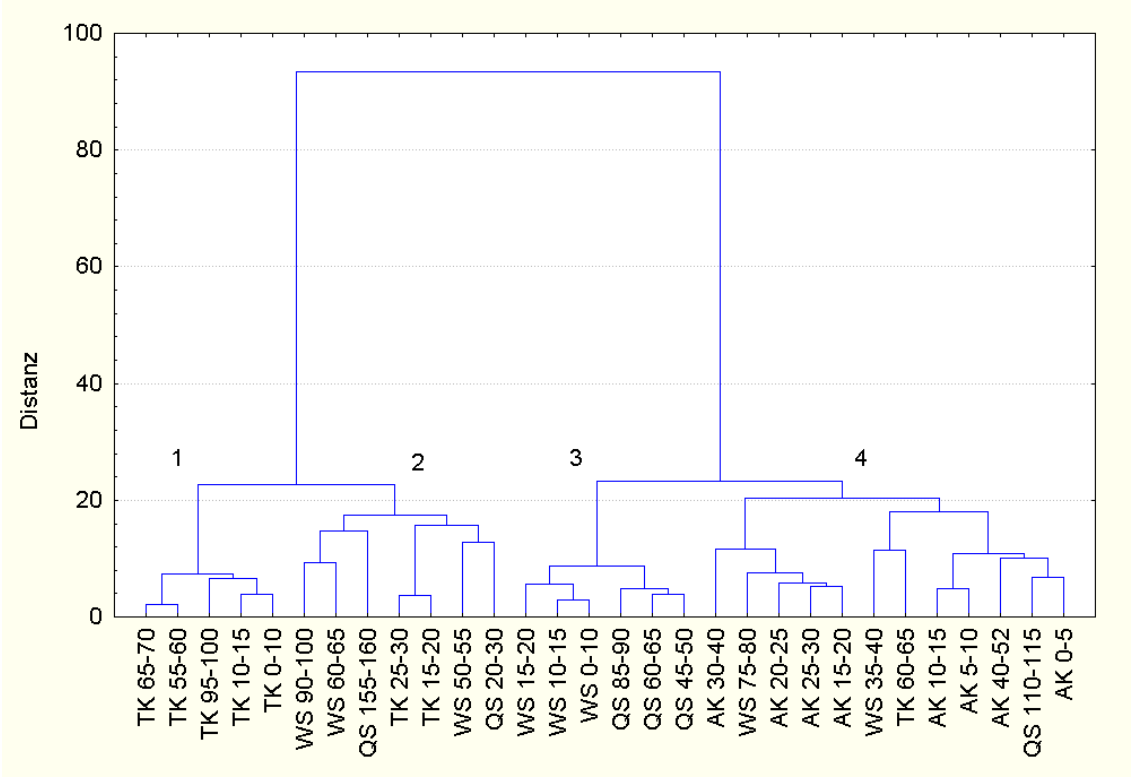


Bild 47 Clusteranalyse der PCB-Kongenerenverteilung

Im Cluster 1 befinden sich nur TK-Proben. Diese zeichnen sich durch einen hohen Anteil von niederchlorierten PCBs, insbesondere trichlorierten PCBs aus. Im Cluster 2 befinden sich einige WS-, TK- und QS-Proben. Hier ist ein sehr hoher Anteil von niederchlorierten PCBs, insbesondere des trichlorierten Homologen, anzutreffen. Die Proben von Cluster 3 haben hohe Anteile von hexachlorierten PCBs. Hier sind einige Proben des QS- und WS-Standortes zu finden. Cluster 4 (mit AK-Proben, aber auch WS- und QS-Proben) hat die höchsten Anteile von hexachlorierten PCBs. Damit bleibt festzuhalten, dass niederchlorierte PCBs in überdurchschnittlichem Maße in TK- und z.T. in WS- und QS-Proben zu finden sind. Hexachlorierte PCBs dominieren alle AK- sowie einige WS- und QS-Proben.

Insgesamt zeigt sich, dass die PCB-Einträge in industrienahen und großstädtischen Standorten wesentlich höher sind als in Sedimentkernen fern ab von anthropogenen Einflüssen. Da im nur über die Atmosphäre beeinflussten Sedimentkern des Bugsinsees praktisch keine PCBs nachweisbar sind, ist der PCB-Eintrag über die Gewässer als wesentlicher Eintragspfad für Sedimente anzusehen. Die höchsten Eintragsraten sind nicht an der

---

meta-Position und ein Cl-Atom in para-Position.

Oberfläche, sondern in tieferen Schichten festzustellen. Damit hat die Emission von PCBs in die Umwelt in den letzten Jahren und Jahrzehnten abgenommen. Als Quelle dominieren synthetische PCB-Formulierungen. Clophen A60 bzw. andere schwerpunktmäßig hexachlorierte PCB-Gemische überwiegen oft gegenüber den niederchlorierten PCB-Formulierungen, z.B. Clophen A30. Die anaerobe Dechlorierung konnte als mikrobieller Abbauprozess in den unteren Schichten des WS- und QS-Sedimentkerns nachgewiesen werden.

4.4 PESTIZIDE IN SEDIMENTEN

In den fünf untersuchten Sedimentkernen wurden auch mehrere Pestizide und ihre Metabolite analysiert: DDT, Hexachlorcyclohexan (HCH) und Chlorbenzene (CBz)[95].

Von **DDT[96] und seinen Metaboliten** (DDX) wurden folgende Verbindungen analysiert: 4,4'-DDT als dominierendes Isomer des eingesetzten Pestizids sowie die Metabolite 2,4'-DDD, 4,4'-DDD, 2,4'-DDMS, 4,4'-DDMS, 2,4'-DDE, 4,4'-DDE und 4,4'-DDMU. 2,4'-DDT als weiteres synthetisiertes DDT-Isomer war in diesen Proben nicht nachweisbar. DDD und DDMS gelten als anaerobe Metabolite (Zook und Feng 2002). DDE und DDMU entstehen schwerpunktmäßig in aeroben Metabolisierungsprozessen, werden aber auch anaerob gebildet (Zook und Feng 2001).

DDX wurde in Gehalten zwischen n.n. und 4200 ng/g TM gemessen (vgl. Bild 48). Die höchsten DDX-Gehalte wurden im TK-Sedimentkern mit 68 - 4200 ng DDX/g TM analysiert[97]. Ebenfalls hohe Gehalte waren im WS-Sedimentkern zu finden: bis 1600 ng DDX/g TM. Mittlere DDX-Gehalte wurden im BS-Sedimentkern mit bis zu 270 ng DDX/g TM und im QS-Sedimentkern mit bis zu 170 ng DDX/g TM gemessen. Die niedrigsten DDX-Gehalte wurden im AK-Sedimentkern analysiert: bis zu 25 ng DDX/g TM.

Außer für den Bugsinsee waren die Belastungsspitzen nicht an der Sedimentoberfläche, sondern in tieferen Sedimentschichten: AK 10-15 cm, QS 60-65 cm, TK 25-30 cm und WS 10-15 cm. In diesen Kernen liegt die DDX-Kontamination an der Oberfläche um den Faktor 2 - 24 unterhalb vom jeweils höchsten Gehalt. Da DDT in der DDR in großen Mengen noch in den 80er Jahren eingesetzt wurde, sind die Kontaminationsspitzen des AK- und WS-Sedimentkerns möglicherweise auf die massive Anwendung in diesem Zeitraum zurückzuführen. Diese Tiefenprofile belegen, dass die DDX-Einträge in den letzten Jahren und Jahrzehnten deutlich abgenommen haben. Für den BS-Sedimentkern wäre grundsätzlich eine ähnliche Entwicklung zu erwarten, aufgrund der niedrigen Sedimentationsraten ist die Schichtdicke allerdings zu groß, um diese zeitliche Auflösung zu erreichen.

---

[95] Die Pestizid-Messwerte sind im Detail in Abschnitt 11.7 auf S. 446 im Anhang dokumentiert.

[96] Die genaue chemische Bezeichnung lautet: 1,1,1-Trichlor-2,2-bis-(4'-chlorphenyl)ethan.

[97] Die DDX-Messungen im Teltowkanal-Sediment wurden teilweise bereits in Publikationen (Schwarzbauer et al. 2003, Wetterauer et al. 2003) erwähnt.

Von den analysierten DDX-Verbindungen macht 4,4'-DDD als anaerober Metabolit von 4,4'-DDT oft den größten Anteil aus: 37 ± 24 % der Σ DDX. Nur in den unteren Schichten des AK-, QS- und WS-Sedimentkerns war 4,4'-DDD unterhalb der Nachweisgrenze. 4,4'-DDE macht ebenfalls einen bedeutenden Anteil der DDX-Verbindungen (33 ± 35 %) aus. In den AK-Proben, im QS-Sedimentkern > 155 cm Tiefe und im WS-Sedimentkern ist 4,4'-DDE der größte DDX-Peak. Da 4,4'-DDE sich insbesondere in den "ältesten" Sedimentschichten anreichert, gilt es daher als der stabilste DDT-Metabolit[98]. Die übrigen DDT-Metabolite sind meist für weniger als 10 % der DDX-Gesamtgehalte verantwortlich. DDT als Ursprungsverbindung ist nur in den TK-Proben nachweisbar. Bild 48 gibt eine Übersicht über die DDX-Tiefenprofile und die Verteilung der DDX-Verbindungen.

Die 2,4'-substituierten DDT-Metabolite sind durchweg in geringeren Mengen enthalten als die entsprechenden 4,4'-substituierten Verbindungen. 2,4'-DDT war in keiner Probe nachweisbar. Damit bestätigt sich, dass in kommerziellem DDT der 4,4'-DDT-Anteil überwiegt und dass von 2,4'-DDT und seinen Metaboliten eine geringere Kontamination als von 4,4'-DDT und seinen Metaboliten ausgeht.

Im AK-Sedimentkern ist im Gegensatz zu den übrigen Proben 4,4'-DDE als wichtigster DDT-Metabolit akkumuliert. In den BS-, QS- und WS-Proben ist 4,4'-DDD das dominierende DDT-Metabolit. Bedeutende Mengen von 4,4'-DDMS und 4,4'-DDE sind ebenfalls zu finden. Im TK-Sedimentkern sind neben DDT überwiegend anaerobe Metabolite (DDD und DDMS) festzustellen. Die aeroben DDT-Metabolite spielen hier nur eine untergeordnete Rolle. Die hohen Gehalte des TK-Sedimentkerns und der große DDT-Anteil sind mit einer bekannten Emissionsquelle in der Umgebung, einer chemischen Fabrik, zu erklären.

Chlorbenzene (CBz) waren in allen fünf Sedimentkernen nachweisbar. Neben Hexachlorbenzen (HCB) wurden Pentachlorbenzen (PeCBz), 1,2,4,5-TeCBz und 1,2,3,4-TeCBz analysiert[99]. Die Tiefenprofile der Summe aller analysierten Chlorbenzene (Σ CBz) ist in Bild 49 dargestellt. Die höchsten CBz-Gehalte wurden im Sedimentkern des Teltowkanals gemessen: bis 15 ng CBz/g TM. Mittlere Gehalte wurden im BS-Sedimentkern (bis 6,8 ng CBz/g TM), im WS-Sedimentkern (bis 4,2 ng CBz/g TM) und im QS-Sedimentkern (bis 3,1 ng CBz/g TM) gemessen. Wesentlich niedrigere Gehalte wurden im AK-Sedimentkern mit bis zu 0,07 ng CBz/g TM ermittelt.

---

[98] Hier spielt der Wechsel der Redoxverhältnisse eine große Rolle.

[99] Darüber hinaus konnten im TK-Sedimentkern mono-, di- und trichlorierte Chlorbenzene festgestellt werden. Diese wurden von der im Einzugsbereich liegenden chemischen Fabrik in der Synthese verwendet (Ricking 2002).

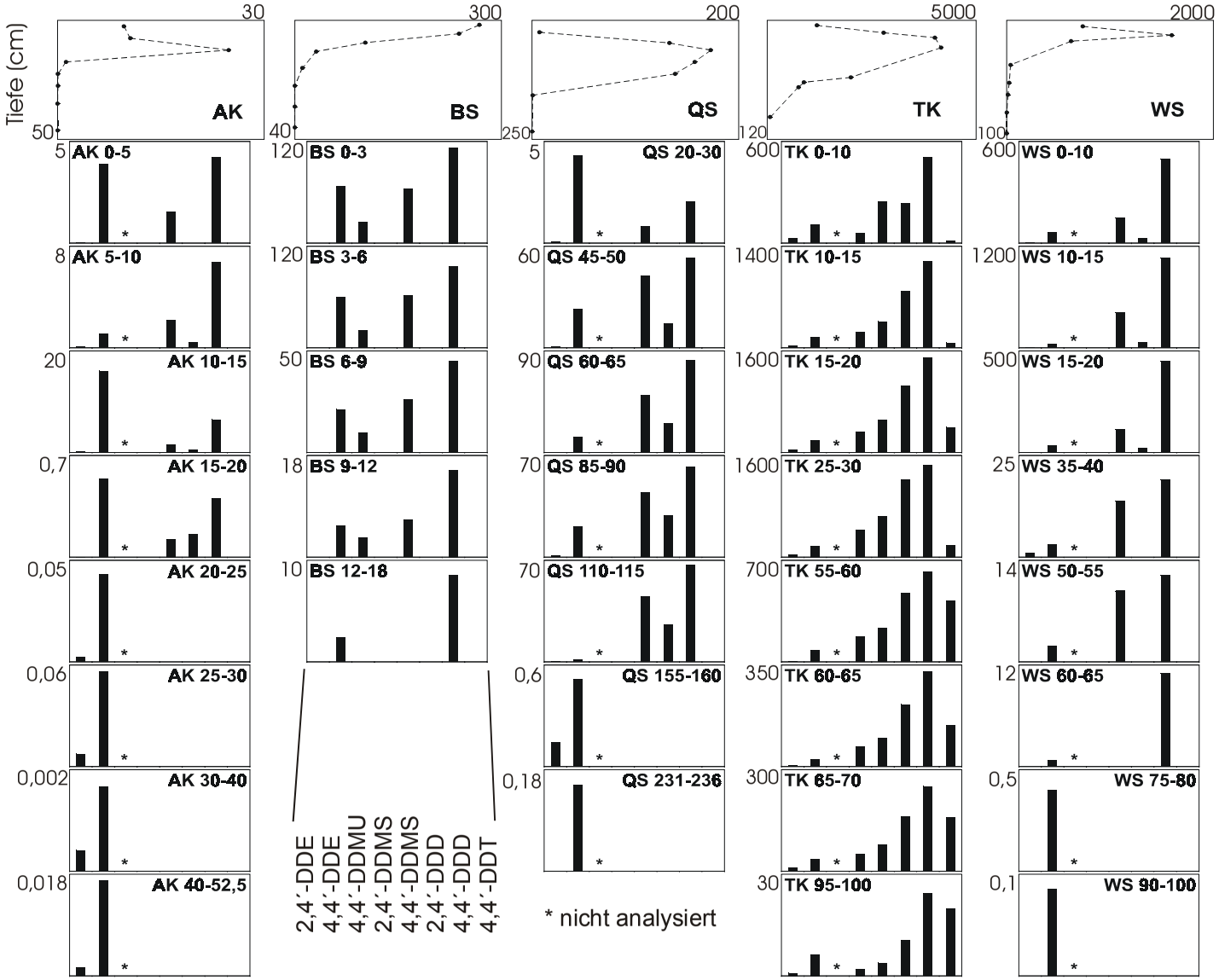


Bild 48 Tiefenprofil und Verteilung der DDX-Verbindungen, in ng/g TM

Für das CBz-Tiefenprofil in Bild 49 ist für alle Proben mindestens eine Belastungsspitze in der Vergangenheit erkennbar. Für die AK- und BS-Sedimentkerne liegen die höchsten Gehalte an der Oberfläche, für die übrigen Proben in tieferen Schichten. Im WS-Sedimentkern konnten für den Bereich von 10 - 40 cm Tiefe hohe Einträge ermittelt werden. Zur Oberfläche hin nimmt die Belastung deutlich ab, unterhalb von 50 cm Tiefe sind die Chlorbenzene nicht mehr nachweisbar. Für den QS-Sedimentkern konnten zwei Kontaminationsspitzen in ca. 60 und 110 cm Tiefe festgestellt werden. Zur Oberfläche hin nehmen die CBz-Gehalte deutlich ab, unterhalb von 155 cm Tiefe sind CBz-Verbindungen nicht mehr nachweisbar. Der TK-Sedimentkern zeigt einen unstetigen Verlauf mit den höchsten CBz-Gehalten in 55 - 60 cm Tiefe und weitere Maxima an der Oberfläche und in 65 - 70 cm Tiefe. Da in der benachbarten chemischen Fabrik große Mengen von Pestiziden produziert wurden, sind die hohen Gehalte in den TK-Proben ebenfalls mit dieser Quelle zu erklären. Der unstetige Verlauf beruht auf stark variierenden Produktionsmengen, kann aber auch mit der Verlagerung von Sedimenten durch die Schifffahrt zusammenhängen.

Hexachlorbenzen (HCB) ist i.d.R. die am häufigsten auftretende CBz-Verbindung. Pentachlorbenzen (PeCBz) ist das zweithäufigste Chlorbenzen, das als Metabolit von HCB auftritt, aber auch synthetisiert und direkt als Fungizid eingesetzt wurde. PeCBz-Gehalte liegen oft im Bereich von 20 - 30 % der ΣCBz-Gehalte. Tetrachlorierte Chlorbenzene liegen als 1,2,3,4-TeCBz oft in Gehalten von 10 - 20 % der ΣCBz-Gehalte bzw. als 1,2,4,5-TeCBz in Gehalten von 5 - 15 % der ΣCBz-Gehalte vor.

Insgesamt bestätigen sich mit den CBz-Messungen erneut die hohen Einträge von Pestiziden und auch von Chlorbenzenen im Bereich des Teltowkanals, wahrscheinlich emittiert von der benachbarten chemischen Fabrik. Die Abnahme der Belastung in den QS- und WS-Proben zur Oberfläche hin verdeutlicht die Abnahme der CBz-Einträge in die Umwelt in den letzten Jahren und Jahrzehnten. In den AK- und BS-Sedimentkernen ist dieser Effekt aufgrund der niedrigeren Sedimentationsraten noch nicht erkennbar. Von den HCB-Metaboliten ist PeCBz die Verbindung mit den höchsten Gehalten, 1,2,3,4-TeCBz und 1,2,4,5-TeCBz sind aber oft auch nachweisbar.

γ-**HCH** wurde als Pestizid synthetisiert und als Lindan vertrieben. Die Isomere α-HCH, β-HCH und δ-HCH fielen als Nebenprodukt der Synthese an, verfügen aber nicht über die biozide Wirksamkeit von γ-HCH. In der ersten Zeit der Anwendung wurde γ-HCH als technisches Gemisch verunreinigt mit α-HCH, β-HCH und δ-HCH verwendet. Später wurden diese Isomere abgetrennt und γ-HCH wurde weitgehend befreit von Verunreinigungen eingesetzt. Aufgrund von Unterschieden in den Abbauraten ist es möglich, dass die HCH-Verteilung basierend auf technischem HCH nicht die ursprüngliche Isomerenverteilung zeigt, sondern γ-HCH aufgrund einer schnelleren Metabolisierung nur noch in reduziertem Umfang anzutreffen ist. HCH gilt als mobil und vergleichsweise wasserlöslich.

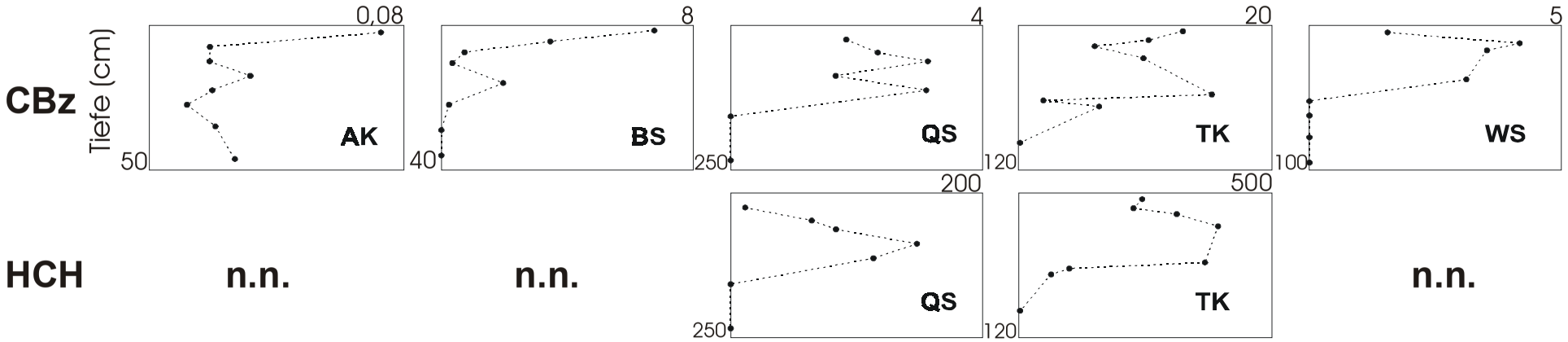


Bild 49 Tiefenprofile von Chlorbenzenen (CBz) und Hexachlorcyclohexan (HCH), in ng/g TM

HCH war nur in den QS- und TK-Sedimentkernen nachweisbar (vgl. Bild 49). Die Gehalte betragen bis zu 390 ng HCH/g TM im TK-Sedimentkern und bis zu 150 ng HCH/g TM im QS-Sedimentkern. Der Anteil von γ-HCH an allen HCH-Verbindungen beträgt nur 6 - 17 %. Dies spiegelt die Zusammensetzung von technischem HCH mit etwa 85 % α-HCH, β-HCH und δ-HCH wieder (Middeldorp und McLeish 2001). Da für β-HCH von keinem relevanten aeroben Abbau auszugehen ist und das HCH-Muster weitgehend unverändert vorliegt, ist von keinem bedeutendem aeroben Abbau auszugehen. Dieses HCH-Muster weist damit auf eine Emissionsquelle ohne längeren Transport in der Umwelt hin. Für den Teltowkanal ist die benachbarte chemische Fabrik bekannt, für den Quenzsee ist die Emissionsquelle in der näheren Umgebung bisher noch nicht identifiziert.

Im TK-Sedimentkern, der vollständig anaerob ist, nimmt der Anteil von β-HCH mit der Tiefe ab und der Anteil von δ-HCH mit der Tiefe zu. Ein gleichbleibendes HCH-Eintragsmuster voraussetzend, bestätigt dies den anaeroben Abbau von β-HCH (Middeldorp et al. 1996), während δ-HCH unter diesen Bedingungen wesentlich persistenter ist.

In den AK-, BS- und WS-Sedimentkernen lagen die Gehalte unterhalb der Nachweisgrenze von 0,05 ng HCH/g TM. Da HCH wesentlich wasserlöslicher ist als viele andere Pestizide, ist es möglich, dass früher relevante HCH-Einträge vorlagen, diese aber von der Sedimentoberfläche in die Wasserphase rückgelöst wurden und daher jetzt nicht mehr nachweisbar sind.

Für die HCH-Belastung bleibt damit festzuhalten, dass in den QS- und TK-Sedimentkernen aufgrund von hohen Einträgen sehr hohe Gehalte nachzuweisen sind, während für die übrigen Sedimentkerne aufgrund niedriger Einträge und einer möglichen Rücklösung in die Wasserphase diese unterhalb der Nachweisgrenze blieben. Die Isomerenverteilung bestätigt z.T. den anaeroben HCH-Abbau, aber keine aeroben Abbauprozesse.

Zum Vergleich der Pestizidmuster und -gehalte in den Sedimentkernen wurde die **Clusteranalyse** angewendet (vgl. Bild 50 und Bild 51). Diese wurde basierend auf den absoluten Gehalten durchgeführt. Es wurden nur die Verbindungen ausgeschlossen, bei denen für einen Großteil der Proben die Gehalte nicht nachweisbar waren bzw. nicht analysiert wurden. Die Strukturierung der Proben erfolgte in drei Cluster: Cluster 1 mit niedrigen Gehalten, Cluster 2 mit mittleren Gehalten und Cluster 3 mit hohen Gehalten. Zu den Proben mit niedrigen Pestizidgehalten (Cluster 1) gehören der AK-Sedimentkern und die unteren Schichten des BS-, QS- und WS-Sedimentkerns. In Cluster 2 (mittlere Gehalte) sind hauptsächlich BS- und WS-Proben zu finden. Proben mit hohen Gehalten (Cluster 3) sind die TK-Proben und ein Teil der QS-Proben.

Die Clusterung der Verbindungen erfolgt entsprechend der Schadstoffgruppen: In Cluster 1 die Chlorbenzene, in Cluster 2 HCH und in Cluster 3 DDX. Damit erfolgt die Strukturierung der Proben weniger an Prozessen und Umweltverhalten orientiert (z.B. anaerober bzw. aerober Abbau) als vielmehr an Verbindungsgruppen ausgerichtet.

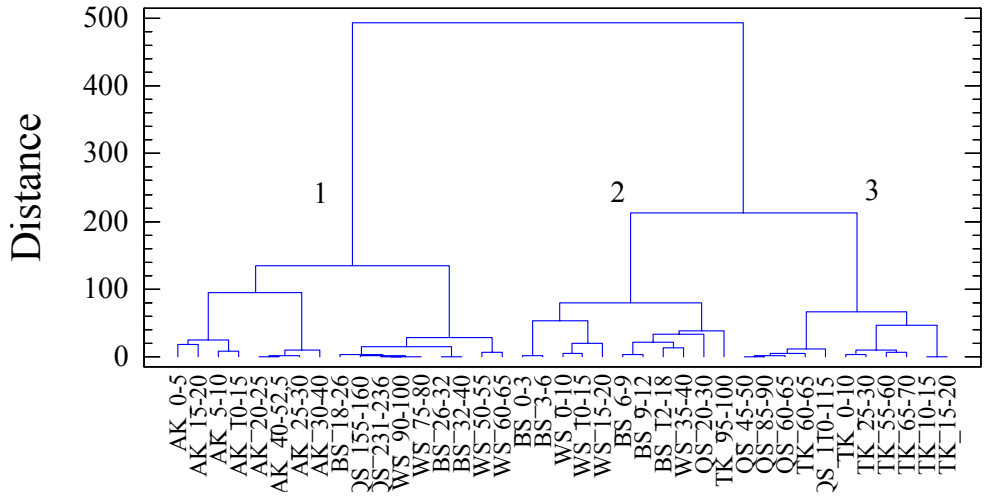


Bild 50 Clusteranalyse der Proben

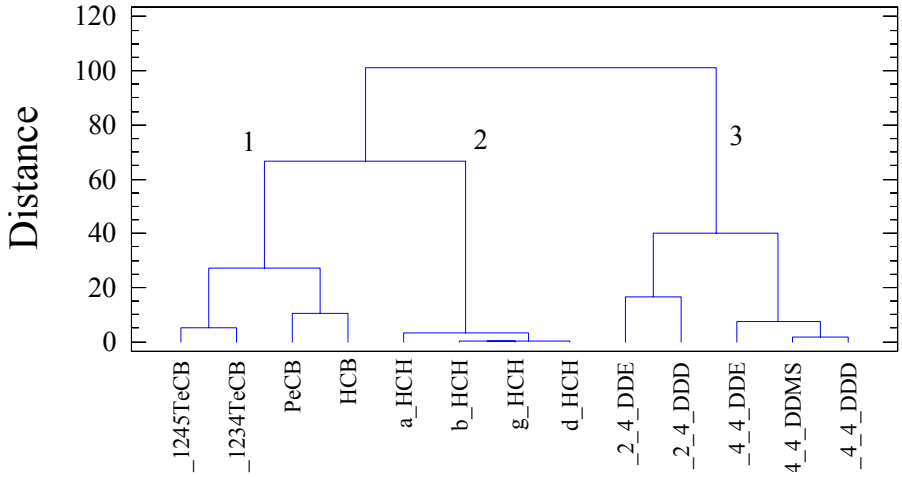


Bild 51 Clusteranalyse der Verbindungen

Insgesamt bestätigen sich mit diesen Messungen die sehr hohen Pestizideinträge in Teltowkanal-Sedimenten, verursacht durch die benachbarte chemische Fabrik. In den BS-, QS- und WS-Sedimenten sind z.T. hohe Gehalte festzustellen, i.d.R. verursacht durch Pestizidanwendungen in der Umgebung. Durchweg niedrige Pestizidgehalte wurden im Sedimentkern des Arkonabeckens aufgrund fehlender lokaler Biozidanwendungen gemessen. Der Einsatz auf dem Festland hat sich weniger stark als für andere Schadstoffe bis dorthin bemerkbar gemacht. Die abnehmenden Pestizidgehalte zur Sedimentoberfläche hin spiegeln den massiven Pestizideinsatz in der DDR und den drastischen Rückgang seitdem wieder. Die emittierten Pestizide sind nicht unverändert in den Sedimenten anzutreffen, aerober und anaerobe Metabolisierungsprozesse spiegeln sich in Musterveränderungen wieder.

4.5 ELEMENTE IN SEDIMENTEN

Es wurden eine Reihe von Schwermetallen (Cd, Cr, Cu, Pb, Zn) und einige andere Elemente (Fe, Mn, S, P) analysiert[100]. In Bild 52 sind die Tiefenprofile dieser Elemente für alle Sedimentkerne dargestellt.

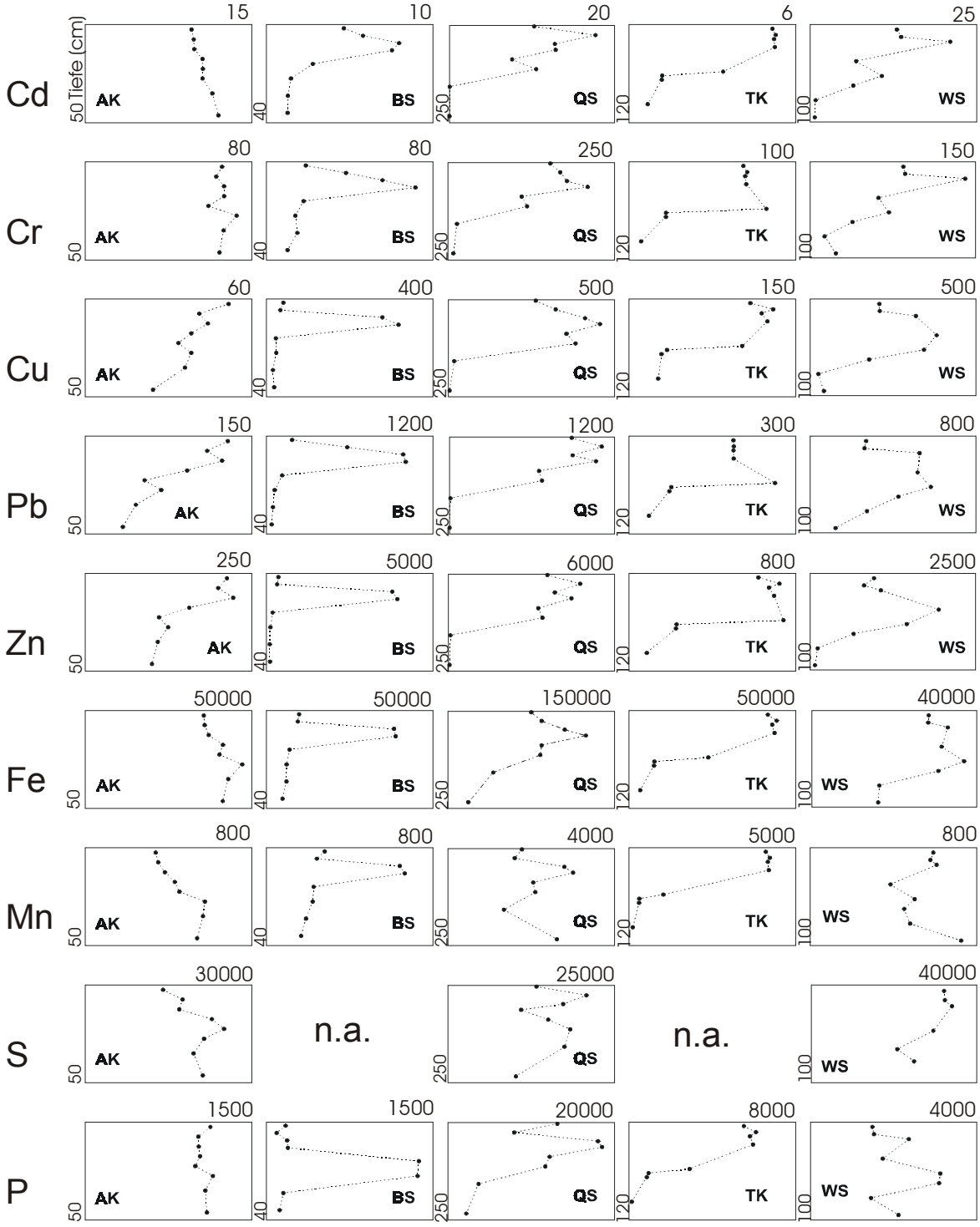


Bild 52 Tiefenprofile der Elementgehalte (µg/g TM)

[100] Die Messwerte sind in Abschnitt 11.7 auf S. 446 im Anhang dokumentiert.

Im Quenzsee waren die höchsten Schwermetall- bzw. Elementgehalte festzustellen: bis 18 µg Cd/g TM, bis 210 µg Cr/g TM, bis 460 µg Cu/g TM, bis 1100 µg Pb/g TM und bis 4800 µg Zn/g TM. Im Weißer See waren auch hohe Gehalte festzustellen, diese waren aber meist etwas niedriger als im Sedimentkern des Quenzsees. Im Sedimentkern des Teltowkanals waren mittlere Schwermetallgehalte anzutreffen. Niedrige Gehalte fanden sich meist in den Proben des Arkonabeckens und des Bugsinsees.

Im Sedimentkern des Quenzsees ist die Kontamination von Eisen, Blei und Zink besonders hoch. Dies weist auf Einträge des benachbarten Stahlwerks hin. Da für den Quenzsee unterhalb von 155 cm Tiefe die Schwermetallgehalte auf Hintergrundwerte zurückgehen, ist davon auszugehen, dass die Einträge ab dieser Tiefe aus einer Zeit stammen, als diese Punktquelle noch nicht existierte und keine Emissionen verursacht hat. Beim Weißer See deuten sich eher unspezifische Einträge über die Luft bzw. über Einleitungen an[101].

Die geschätzten **Elementeintragsraten** unterscheiden sich erheblich zwischen den industrienahen urbanen Standorten auf der einen Seite und den wenig anthropogen beeinflussten Sedimentkernen auf der anderen Seite. Die maximalen Elementeintragsraten eines Sedimentkerns sind in Tabelle 30 angegeben. So liegt die maximale Pb-Depositionsrate für das Arkonabecken und für den Bugsinsee bei 18 µg Pb/cm^2/a bzw. 5,1 µg Pb/cm^2/a, während diese für den Quenzsee, Teltowkanal bzw. Weißer See bei 1000 µg Pb/cm^2/a, 420 µg Pb/cm^2/a bzw. 200 µg Pb/cm^2/a liegen[102]. Ähnliche Unterschiede sind für andere Elemente festzustellen. Die Elementeintragsraten am Quenzsee liegen z.T. um den Faktor 100 und mehr über denen des Arkonabeckens und des Bugsinsees.

Tabelle 30 Geschätzte maximale Elementeintragsraten (Angaben in µg/cm^2/a)

Element	AK	BS	QS	TK	WS
Cd	1,9	0,04	12	5,4	7,3
Cr	11	0,3	200	130	50
Cu	6,6	1,4	430	160	140
Pb	18	5,1	1000	420	200
Zn	33	20	4200	1200	700
Fe	7400	200	120000	38000	13000
Mn	90	3,3	3500	2100	210
S	4000	n.a.	17000	n.a.	12000
P	180	11	17000	4600	1100

Die **Elementtiefenprofile** in Bild 52 unterschieden sich deutlich zwischen den Sedimentkernen. Im Tiefenprofil ist tendenziell eine Abnahme der Gehalte mit der Tiefe in

[101] Während heute oberflächliche Zuflüsse weitgehend ausgeschlossen werden können, ist es in der Vergangenheit durch Zuleitungen zu Schadstoffeinträgen gekommen (vgl. Abschnitt 7.2 auf S. 152).

[102] Beim Vergleich der Elementeintragsraten mit den Gehalten ist zu berücksichtigen, dass die Depositionsraten und Sedimentschichten sich erheblich unterscheiden können (vgl. Tabelle 47 auf S. 156).

den Sedimentkernen des Quenzsees, des Teltowkanals, des Weißer Sees und z.T. des Arkonabeckens erkennbar.

Im Sedimentkern des Teltowkanals sind bis ca. 60 cm Tiefe ähnliche Gehalte festzustellen, unterhalb dieser Tiefe zeigt sich eine starke Abnahme. Dieser Verlauf unterstützt die in der Datierung festgestellte starke Durchmischung der oberen Schichten (vgl. Abschnitt 7.2 auf Seite 152). In den Sedimentkernen des Quenzsees und des Weißer Sees liegt die höchste Belastung meist nicht an der Oberfläche sondern in 20 - 65 cm Tiefe bzw. 15 - 55 cm Tiefe. Dies weist darauf hin, dass die Schwermetalleinträge vor einigen Jahren bzw. Jahrzehnten am höchsten waren und diese in letzter Zeit abgenommen haben.

Im Sedimentkern des Arkonabeckens ist für die Elemente Cu, Pb und Zn eine deutliche Abnahme der Gehalte mit der Tiefe erkennbar. Für die Elemente Cd und Cr zeigt sich keine wesentliche Veränderung über die Tiefe. Neumann et al. (1997) berichteten über die Elementgehalte eines Sedimentkerns des Gotlandbeckens bis 30 cm Tiefe. Hier entspricht die Entwicklung bis 10 cm Tiefe etwa der des Arkonabeckens bis 50 cm Tiefe. Die Gehalte sind im Arkonabecken für Cd und Cr um den Faktor 2 höher und für Cu, Pb und Zn um den Faktor 2 niedriger. Da im Gotlandbecken unterhalb von 15 cm für Cd und Pb eine weitere Abnahme des Gehaltes zu erkennen ist, reicht der Kern des Arkonabeckens vermutlich nicht bis in präindustrielle Zeiten zurück.

Der Sedimentkern des Bugsinsees zeigt eine extreme Kontaminationsspitze im Bereich von 6 - 12 cm Tiefe. Für Cu, Pb und Zn ist der Gehalt in 9 - 12 cm Tiefe ca. um den Faktor 10 über dem Gehalt in 12 - 18 cm Tiefe, für Chrom und Eisen ca. um den Faktor 5. Mit Hilfe der Datierung können diese Einträge etwa für Mitte des 20. Jahrhunderts identifiziert werden. Möglicherweise ist diese Kontamination auf eine Kriegseinwirkung des 2. Weltkriegs zurückzuführen. Da vom Bugsinsee nur ein Sedimentkern vorhanden ist und analysiert wurde, bleibt allerdings unklar, ob es sich um einen lokal sehr begrenzten Effekt (z.B. durch eine kleine Menge Munition) handelt oder ob der gesamte See betroffen ist.

Mit Hilfe der **Clusteranalyse** wird die Ähnlichkeit der Proben bzw. Parameter verglichen. Ausgangspunkt bilden hier die absoluten Gehalte nach Anwendung der Box-Cox-Transformation. In Bild 53 ist das Baumdiagramm einzelner Sedimentschichten dargestellt. Im linken Bereich sind eher Proben mit niedrigen Elementgehalten, weiter rechts Proben mit hohen Elementgehalten zu finden. Grundsätzlich kann zwischen vier verschiedenen Clustern unterschieden werden. Cluster 1 umfasst die Proben des Arkonabeckens. Diese zeigen einen minimalen anthropogenen und einen überwiegend geogenen Einfluss. In Cluster 2 sind schwerpunktmäßig Proben des Bugsinsees und andere weniger belastete Proben zu finden. Diese verfügen über eine geringe anthropogene Einwirkung und spiegeln im Wesentlichen die Hintergrundkontamination wieder. Im Cluster 3 sind stärker kontaminierte Proben hauptsächlich vom Sedimentkern des Teltowkanals und des Weißer Sees zu finden. Diese zeigen einen deutlichen anthropogenen Einfluss mit vielfältigen urbanen und industriellen Beiträgen. Cluster 4

umfasst die Proben des Quenzsee-Sedimentkerns. Hier sind sehr hohe anthropogene Einträge einer Punktquelle, vermutlich des benachbarten Stahlwerks, festzustellen.

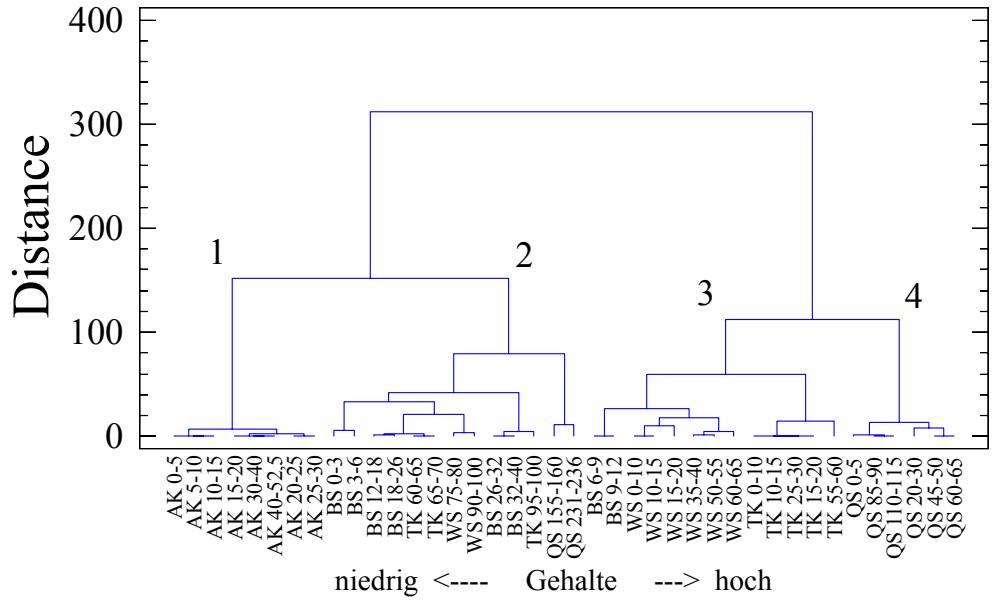


Bild 53 Clusteranalyse der Proben

In Bild 54 ist das korrespondierende Baumdiagramm mit drei Clustern für die Elemente dargestellt. In Cluster 1 sind die Elemente Cd, Cr und Fe zu finden, für die mittelmäßige Unterschiede zwischen Probenahmeorten und über die Tiefe festzustellen sind und insgesamt ein mittlerer anthropogener Einfluss zu erkennen ist. Cluster 2 fasst die Elemente Cu, Zn und Pb zusammen, die erhebliche Unterschiede zwischen Probennahmeorten und über die Tiefe aufweisen und für die von großen anthropogenen Effekten auszugehen ist. Cluster 3 umfasst die Element Mn und P, die sich nur gering über die Tiefe verändern, deren Gehalte für unterschiedliche Probenahmeorte nicht wesentlich variieren und die insgesamt nur wenig anthropogen beeinflusst erscheinen.

Insgesamt können bei den Elementen für die verschiedenen Sedimentkerne deutliche Unterschiede in der Belastungshöhe, dem zeitlichen Trend und der Eintragsquelle festgestellt werden. Der Sedimentkern des Arkonabeckens zeichnet sich durch vergleichsweise niedrige Gehalte und geringe Veränderungen über die Tiefe aus. Im Sedimentkern des Bugsinsees sind atmosphärisch geprägte Hintergrundeinträge mit einer starken Kontamination etwa aus der Mitte des 20. Jahrhunderts festzustellen. Im Quenzsee sind bis 115 cm Tiefe sehr hohe Schwermetallgehalte zu erkennen, die vermutlich vom benachbarten Stahlwerk emittiert wurden. Im Sedimentkern des Teltowkanals überwiegen bis 60 cm Tiefe mittlere Schwermetallgehalte. Der Sedimentkern des Weißer Sees repräsentiert diffuse urbane Einträge mit hohen Gehalten, einer

Belastungsspitze in 15 - 55 cm Tiefe und einem Rückgang der Gehalte in den letzten Jahren bzw. Jahrzehnten hin zur Sedimentoberfläche.

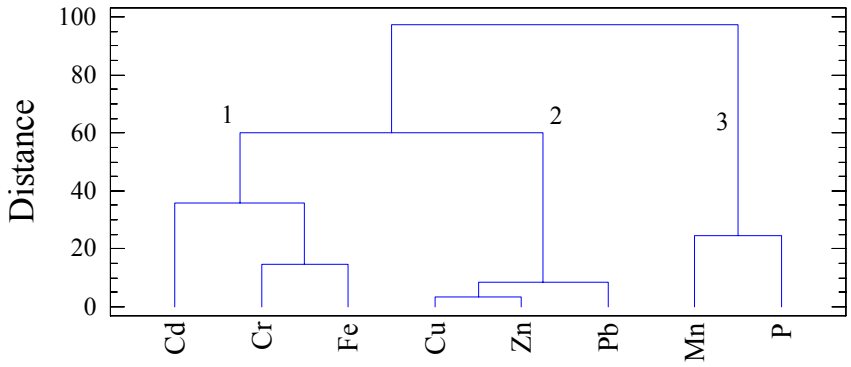


Bild 54 Clusteranalyse der Elemente

4.6 SCHADSTOFFÜBERSICHT

Nach der Betrachtung einzelner Schadstoffgruppen ist das Ziel im folgenden Abschnitt, eine Gesamtübersicht über die Kontamination der Sedimentkerne zu geben, Querbezüge zwischen den verschiedenen Schadstoffgruppen herzustellen und gemeinsame Quellen herauszuarbeiten. Anfangs werden die Gehalte verschiedener Schadstoffe zusammenfassend vorgestellt, jährliche Schadstoffeintragsraten abgeschätzt und die pro Fläche eingetragenen Schadstoffe angegeben. Anschließend wird anhand von Ergebnissen verschiedener Korrelationsanalysen erläutert, welche Verbindungen auf gemeinsame Verursacher zurückzuführen sind. Zum Schluss werden diese Ergebnisse mit denen der Clusteranalyse und der Faktorenanalyse verglichen.

Tabelle 31 fasst die **Spannweiten der Gehalte** für verschiedene Schadstoffgruppen in den Sedimentkernen zusammen. Für alle Verbindungen gilt das bekannte Phänomen der anthropogenen Schadstoffemissionen: In tieferen Sedimentschichten werden wesentlich niedrigere Schadstoffgehalte gemessen als an der Sedimentoberfläche. Die Gehalte an der Oberfläche liegen oft mehrere Zehnerpotenzen über den Gehalten der tiefsten beprobten Schicht. Für die rein anthropogen synthetisierten Verbindungen PCBs, DDX, CBz und HCH sind die Gehaltsunterschiede am größten. Für die ebenfalls in natürlichen Prozessen in Spuren gebildeten Verbindungen PCDD/Fs und PAKs sind diese Unterschiede nicht so extrem. Für die Elemente (hier: Pb), die ebenfalls Gehaltsabnahmen mit der Tiefe zeigen, liegen diese aber z.T. bei weniger als einer Zehnerpotenz.

Für den Quenzsee, der bis zu 236 cm Tiefe beprobt wurde, ist die Spannweite zwischen unterster und oberster Sedimentschicht am größten. Der AK-Sedimentkern zeigt die im Vergleich zu den übrigen Proben geringsten Unterschiede zwischen unterster beprobter

Schicht und Sedimentoberfläche. Die BS-, TK- und WS-Sedimentkerne liegen für die Zunahme der Gehalte zur Sedimentoberfläche im mittleren Bereich, können aber für verschiedene Schadstoffe stark variieren.

Die QS-, TK- und WS-Sedimentkerne zeigen hohe Schadstoffkontaminationen. Die Schwermetallgehalte sind im QS-Sedimentkern am höchsten. Der TK-Sedimentkern ist am stärksten mit den Bioziden DDX, HCH und CBz kontaminiert. Im WS-Sedimentkern wurden die höchsten Gehalte von PCDD/Fs, PAKs und PCBs gemessen. Im AK- und BS-Sedimentkern liegen die Schadstoffgehalte i.d.R. niedriger. Für den Bugsinsee fallen Pestizidanwendungen in der Umgebung und ein massiver kurzzeitiger Schwermetalleintrag unbekannter Herkunft sowie sehr niedrige PCB-Gehalte aufgrund des fehlenden oberflächlichen Zuflusses auf. Der AK-Sedimentkern repräsentiert das finale Sammelbecken (Schulz und Ricking 2001) einer Vielzahl von Einträgen und Quellen mit meist niedrigeren Gehalten als in den übrigen Proben, da anthropogene Aktivitäten am weitesten entfernt sind. Insgesamt bestätigen sich damit relevante Schadstoffemissionen durch ein Stahlwerk für den Quenzsee, eine chemische Fabrik für den Teltowkanal und urbane Aktivitäten für den Weißer See.

Tabelle 31 Schadstoffgehalte in den fünf untersuchten Sedimentkernen

Schadstoff	Einheit	AK	BS	QS	TK	WS
PCDD/F	pg/g TM	220 - 4800	19 - 2400	78 - 4100	160 - 11000	97 - 20000
PCB	ng/g TM	0,6 - 5,7	n.n. - 0,6	n.n. - 410	22 - 660	12 - 1400
PAK	ng/g TM	460 - 3700	490 - 6100	470 - 23000	970 - 18000	1700 - 45000
DDX	ng/g TM	0,002 - 25	n.n. - 270	0,15 - 170	68 - 4200	0,09 - 1600
CBz	ng/g TM	0,01 - 0,07	n.n. - 6,8	n.n. - 3,1	0,13 - 15	n.n. - 4,2
HCH	ng/g TM	n.n.	n.n.	n.n. - 150	2,9 - 390	n.n.
Pb	µg/g TM	34 - 130	36 - 1000	1,1 - 1100	36 - 260	120 - 580

Ausgehend von den geschätzten Depositionsraten und Dichten wurden die **Schadstoffeintragsraten** pro Fläche und Jahr in Tabelle 32 berechnet. Dass die Schadstoffeinträge zwischen den verschiedenen Sedimentkernen stark variieren wird hier noch deutlicher als allein mit den Gehaltsangaben. Die Eintragsraten des Bugsinsees liegen oft um 1-2 Zehnerpotenzen unter denen der übrigen Proben. Dies dürfte an dem fehlenden oberflächlichen Zufluss und der großen Entfernung zu anthropogenen Aktivitäten liegen. Die BS-Probe ist der Sedimentkern mit den durchweg niedrigsten Eintragsraten. Die höchsten Eintragsraten (außer für Schwermetalle) wurden hier im Teltowkanal gefunden. Ebenfalls hohe Einträge betreffen den Quenzsee und den Weißer See sowie mittlere Einträge das Arkonabecken. Ansonsten gelten grundsätzlich ähnliche Schlussfolgerungen, wie sie schon für die Schadstoffgehalte dargelegt wurden.

Wenn die enthaltenen Schadstoffe über die gesamte beprobte Tiefe aufsummiert werden, können die in der Vergangenheit **bis heute eingetragenen Schadstoffmengen**

quantifiziert werden[103]. Tabelle 33 gibt hier eine Übersicht. Im BS-Sedimentkern sind die weitaus niedrigsten Gesamtschadstoffeinträge festzustellen. Diese liegen erheblich unter denen des Arkonabeckens. Der QS-, TK- und WS-Sedimentkern zeigt für viele Schadstoffe ähnlich hohe Gesamteintragsmengen. Die Biozideinträge sind allerdings im Teltowkanal und die Schwermetalleinträge im Quenzsee am höchsten.

Tabelle 32 Spannweite der jährlichen Schadstoffeintragsraten

Schadstoff	AK	BS	QS	TK	WS
PCDD/F (pg/cm^2/a)	35 - 580	0,15 - 12	100 - 3900	670 - 5400	28 - 6900
PCB (ng/cm^2/a)	0,10 - 0,72	≤ 0,01	< 2 - 390	91 - 1100	3,5 - 430
PAK (ng/cm^2/a)	100 - 680	4,7 - 41	810 - 25000	4700 - 34000	650 - 14000
DDX (ng/cm^2/a)	0,0003 - 15	< 0,003 - 1,3	0,4 - 160	280 - 3200	0,02 - 390
CBz (ng/cm^2/a)	0,002 - 0,009	< 0,001 - 0,03	< 0,3 - 2,9	0,5 - 24	< 0,6 - 1,2
HCH (ng/cm^2/a)	< 0,003	< 0,002	< 0,3 - 140	12 - 580	< 0,07
Pb (µg/cm^2/a)	5,5 - 18	0,3 - 5,1	1,5 - 1000	75 - 420	120 - 580

Tabelle 33 Pro Fläche abgelagerte Schadstoffmengen

Schadstoff	AK	BS	QS	TK	WS
PCDD/F (ng/cm^2)	21,4	0,9	130	130	140
PCB (ng/cm^2)	57	0,09	7200	19000	10000
PAK (µg/cm^2)	48	5,3	360	500	840
DDX (µg/cm^2)	0,1	0,08	3,1	59	5,2
CBz (ng/cm^2)	0,7	2	62	340	34
HCH (ng/cm^2)	< 0,1	< 0,1	2200	6200	< 1
Pb (mg/cm^2)	1,9	0,4	23	6,4	11,1

Zusammenhänge zwischen den Schadstoffgruppen und grundlegende Ursachen. Bei der hier untersuchten Breite der Schadstoffgruppen ist ebenfalls von Interesse, ob gemeinsame Quellen sich in den Schadstoffmustern wiederspiegeln, ob ähnliche Strukturen in der Verteilung zu erkennen sind, und ob bekannte Kontaminationen eines untersuchten Schadstoffs in anderen Schadstoffgruppen zu finden sind. Hierfür wurde schwerpunktmäßig die Korrelationsanalyse - in begrenztem Maße ergänzt durch die Clusteranalyse und die Faktorenanalyse - angewendet.

Mit Hilfe der Korrelationsanalyse wird untersucht, welcher Zusammenhang zwischen zwei Einzelverbindungen besteht. Dieser kann sich als linearer Zusammenhang entsprechend der Korrelationsanalyse nach Pearson und als Rangkorrelation nach Spearman-Rho

[103] Es ist zu bedenken, dass die Sedimentkerne unterschiedlich weit in die Vergangenheit zurückreichen (vgl. Abschnitt 7.2 auf Seite 152). Da alle die Eintragsspitzen der letzen Dekaden abdecken, sollte deshalb die grundlegende Vergleichbarkeit gewährleistet sein.

darstellen[104]. Beide Arten der Korrelationsanalyse wurden hier verwendet. Dabei wurde schwerpunktmäßig die Korrelation der Verteilungsmuster untersucht. Die Gehalte der Einzelverbindungen wurden durch den Gehalt des jeweiligen PCDD/F-Homologen bzw. des Gesamtgehaltes der Schadstoffgruppen (PAKs, Elemente usw.) dividiert.

Aufgrund der Vielzahl der Einzelverbindungen bieten die Schadstoffe PCDD/F, PAK und Schwermetalle die größten Potentiale zur Quellenidentifizierung anhand von Verteilungsmustern. Auf den möglichen Einfluss von PCDD/F-Kontaminationen im Zusammenhang mit PCBs und Pestiziden sowie die Korrelation der Pestizide untereinander wird ebenfalls eingegangen. Die umfangreichen Ergebnisse der Korrelationsanalysen sind in Abschnitt 9.10 auf S. 269 im Anhang dokumentiert. Im Folgenden werden nur die signifikant positiven Korrelationen im Detail vorgestellt.

PCDD/Fs vs. PAKs. Die signifikant positiven Korrelationen zwischen PCDD/Fs und PAKs sind in Tabelle 34 dargestellt. Hier sind die vier PAK-Quellgruppen zusammengefasst: Verkehr, Kohleverbrennung, Ölkontamination, Diagenese. Dabei fällt auf, dass PAKs, die als Verbrennungsprodukte gelten, signifikant mit solchen PCDD/F-Kongeneren korreliert sind, die ebenfalls schwerpunktmäßig von Verbrennungsquellen emittiert werden. Hier sind die beiden PAK-Gruppen, die zum einen dem Verkehr (bzw. der Verbrennung von flüssigen und gasförmigen Brennstoffen) und zum anderen der Kohleverbrennung (bzw. der Verbrennung von festen Brennstoffen) zugeordnet sind, mit weitgehend unterschiedlichen PCDD/F-Verbrennungskongeneren signifikant positiv korreliert.

So sind z.B. 1,3,6,8-TeCDD und 1,3,7,9-TeCDD signifikant mit Antanthren, Benzo(b)naphto(21d)thiophen und Benzo(a)anthracen korreliert. Diese PAKs sind in der Faktorenanalyse der PAKs (vgl. Tabelle 29 auf S. 93) in Faktor 2 als Verbrennungsprodukte ohne Ferntransport zusammengefasst. Andere PCDD/F-Kongenere (z.B. 1,2,6,7-/1,2,7,9-TeCDF, 2,4,6,7-TeCDF) sind mit anderen Verbrennungs-PAKs (z.B. Benzo(e)pyren, Indeno(1,2,3-cd)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen) signifikant korreliert. Diese wurden als Verbrennungsprodukte nach Ferntransport zusammengefasst. Auffällig ist, dass die Korrelation nur zwischen einigen PCDD/F-Verbrennungskongeneren und den Verbrennungs-PAKs ohne Ferntransport auf der einen und anderen PCDD/F-Verbrennungskongeneren und den Verbrennungs-PAKs mit Ferntransport auf der anderen Seite signifikant positiv ist.

---

[104] Die erste Variante setzt eine Normalverteilung des Datensatzes voraus, letztere kann unabhängig von der zugrundeliegenden Verteilung verwendet werden. Die relativen Gehalte sind zwar im wesentlichen der Normalverteilung angenähert, dies ist aber nicht immer vollständig gesichert. Zum Vergleich mit den im Detail erläuterten Korrelationsanalysen - meist basierend auf den relativen Gehalten - wurden ebenfalls Korrelationsanalysen basierend auf den absoluten Gehalten durchgeführt. Die Gehalte eines Großteils der hier analysierten Verbindungen sind allerdings signifikant positiv korreliert. D.h. vereinfacht ausgedrückt: Wenn ein Schadstoff enthalten ist, steigt die Wahrscheinlichkeit, dass ein anderer Schadstoff ebenfalls enthalten ist. Da diese Aussage für die Quellenermittlung nicht wirklich von Nutzen ist, wird auf diese Korrelationsanalysen hier nicht weiter eingegangen. Die Methodik der Korrelationsanalyse ist im Detail in Abschnitt 7.4.3 auf S. 168 erläutert.

Tabelle 34 Signifikant positive Korrelationen zwischen PAK-Quellgruppen und PCDD/F-Kongeneren

Quellgruppe	Signifikant positiv korrelierte PCDD/F-Kongenere
Quellgruppe 1: Verkehr, Verbrennung flüssiger und gasförmiger Brennstoffe, Verbrennung mit geringer Staubfracht, Verbrennung mit Ferntransport	1,2,6,8-TeCDD, 1,2,4,6,7-PeCDD, 1,2,4,8,9-PeCDD, 1,2,3,4,6,7,9-HpCDD, 1,3,6,8-TeCDF, 1,3,7,8-/1,3,7,9-TeCDF, 1,3,4,7-TeCDF, 1,2,6,7-/1,2,7,9-TeCDF, 2,4,6,7-TeCDF, 1,2,3,9-/2,3,4,7-TeCDF, 1,2,6,7,9-PeCDF, 2,3,4,7,8-PeCDF, 2,3,4,6,7-PeCDF, 1,3,4,6,7,8-/1,3,4,6,7,9-HxCDF, 1,2,3,7,8,9-HxCDF, 1,2,3,4,8,9-HxCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDF
Quellgruppe 2: Kohleverbrennung, Verbrennung fester Brennstoffe, Verbrennung mit hoher Staubfracht, Verbrennung ohne Ferntransport	1,3,6,8-TeCDD, 1,3,7,9-TeCDD, 1,2,3,6,8-PeCDD, 1,6,7,8-/1,2,3,4-TeCDF, 1,2,7,8-TeCDF, 1,4,6,9-TeCDF, 1,2,6,9-TeCDF, 1,2,4,7,8-PeCDF, 1,2,4,6,7,8-HxCDF, 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF
Quellgruppe 3: Ölkontamination	1,2,3,4-/1,2,4,6-/1,2,4,9-/1,2,3,8-TeCDD, 1,2,3,6,9-PeCDD, 1,2,3,4,6-PeCDD, 1,3,4,6-/1,2,4,8-TeCDF, 2,3,7,8-TeCDF, 1,2,4,7,8-PeCDF, 1,2,4,6,7-PeCDF, 1,2,3,6,7-PeCDF, 1,2,3,6,9-PeCDF
Quellgruppe 4: Diagenese	1,2,3,9-TeCDD, 1,2,4,7-TeCDF, 1,3,6,7,8-PeCDF, 1,2,3,7,9-PeCDF, 1,2,3,8,9-PeCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF, 1,2,3,6,7,9-HxCDF, 1,2,3,4,6,7,9-HpCDF, 1,2,3,4,7,8,9-HpCDF

Die beiden weitgehend getrennten Gruppen von PCDD/F-Kongeneren können teilweise der 2,3-Chlorphenol und 2,6-Chlorphenol geprägten Verbrennung zugeordnet werden. So sind 1,3,6,8-TeCDF und 1,3,7,8-/1,3,7,9-TeCDF Indikatorkongenere für 2,3-Chlorphenol geprägten Verbrennung. 1,3,6,8-TeCDD und 1,3,7,9-TeCDD gelten als Indikatorkongenere für die 2,6-Chlorphenol geprägte Verbrennung. Diese Zuordnung ist allerdings nicht für alle Kongenere eindeutig.

Für die unter Ölkontamination zusammengefassten PAKs weisen die PCDD/F-Kongenere eher auf chemische Quellen hin. So gelten 1,2,3,4,-/1,2,4,6-/1,2,4,9-/1,2,3,8-TeCDD als Indikatorkongenere von PCP. 2,3,7,8-TeCDF und 1,2,4,7,8-PeCDF sind in substantiellen Mengen in PCB enthalten. Dies deutet an, dass eine gemeinsame Kontaminationsquelle verantwortlich ist, oder eine Mischung verschiedener Substanzen vorliegt. Diese müsste sowohl das für die PAKs verantwortliche Öl als auch die mit PCDD/F kontaminierten Chloraromaten enthalten. Von kontaminiertem Altöl wäre z.B. zu erwarten, dass es dieses Spektrum an Verbindungen abdecken könnte. Letztlich kann aber hier nicht geklärt werden, ob dies tatsächlich der Fall ist.

Die mit den Diagenese-PAKs (Perylen und 7,12-Dimethyl(a)anthracen) in Verbindung gebrachten PCDD/F-Kongenere sind keiner Quelle direkt zuzuordnen. Diese gelten eher als "Hintergrundkongenere", die häufig nur mit geringen Gehalten auftreten und eher als Indikator diffuser PCDD/F-Einträge unspezifischer Quellen einzuordnen sind.

Insgesamt sind für PCDD/Fs und PAKs vier wesentliche gemeinsame Quellen erkennbar[105]:

- Quelle 1: mit wesentlichen Beiträgen des Verkehrs und anderen Verbrennungsemissionen, die flüssige und gasförmige Brennstoffe verwenden bzw. nur eine geringe Staubfracht verursachen; in der Dioxinforschung eher dem 2,3-Chlorphenol geprägtem Verbrennungstyp zuzuordnen;
- Quelle 2: mit wesentlichen Beiträgen der Kohleverbrennung und evtl. anderen Festbrennstoffen, mit hoher Staubfracht, eher vom 2,6-Chlorphenol geprägten PCDD/F-Verbrennungstyp;
- Quelle 3: chemische Quelle, die sowohl Öl als auch Chloraromaten enthält;
- Quelle 4: Hintergrundkontamination aus unspezifischen Quellen und Diagenese-produkten.

Damit ist festzustellen, dass PCDD/Fs und PAKs nicht grundsätzlich von getrennten Quellen emittiert werden, sondern deutliche Überschneidungen festzustellen sind. Es zeigte sich, dass vier gemeinsame Quellen für spezifische Einzelverbindungen innerhalb dieser beiden Gruppen verantwortlich sind.

Korrelationen von PCDD/Fs und PAKs mit Schwermetallen. Beim Vergleich der Korrelationen von PCDD/Fs und Elementen können den beiden Verbrennungsquellgruppen unterschiedliche Elemente zugeordnet werden. Die Korrelationsanalyse der PAKs und der Schwermetalle unterscheidet ebenfalls zwischen den Verbrennungsquellgruppen 1 und 2 (vgl. Tabelle 35). Die PAKs der Quellgruppe 2 sind meist signifikant positiv mit Cu, Pb und Zn korreliert. Die PAKs der Quellgruppe 1 sind signifikant positiv mit Fe und Cd korreliert. Für die PAKs der Quellgruppe 3 wurden signifikant positive Korrelationen mit Mn und P festgestellt.

Tabelle 35 Signifikant positive Korrelationen zwischen PAK-Quellgruppen und Elementen

Quellgruppe	Zuordnung	signifikant positiv korrelierte Elemente
1	Verkehr, flüssige/gasförmige Brennstoffe, geringe Staubfracht, mit Ferntransport	Cd, Fe
2	Kohleverbrennung, feste Brennstoffe, hohe Staubfracht, ohne Ferntransport	Cu, Pb, Zn
3	Ölkontamination	Mn, P
4	Diagenese	

Interessant anzumerken bleibt, dass Cu als Katalysator für die Dioxinentstehung in der Verbrennung gilt. Inwieweit dies für die Verbrennungsquellgruppe 1 (Verkehr, flüssige/gas-

[105] Die Zuordnung der 2,3-Chlorphenol geprägten Verbrennung zum Verkehr und nicht der 2,6-Chlorphenol geprägten Verbrennung steht im Widerspruch zur Zuordnung von Ballschmiter und Bacher (1996).

förmige Brennstoffe, geringe Staubfracht, mit Ferntransport) in direktem Zusammenhang steht, kann hier allerdings nicht geklärt werden. Von Blei ist bekannt, dass es in den letzten Jahrzehnten in substantiellen Mengen vom Verkehr emittiert wurde. Kohleverbrennung gilt ebenfalls als bedeutende Bleiquelle. Da die Verkehrsemissionen "nur" die letzten Jahrzehnte dominierten, kann dies erklären, dass über den gesamten abgedeckten Zeitraum Blei in der Quellgruppe 2 (Kohleverbrennung, feste Brennstoffe, hohe Staubfracht, ohne Ferntransport) auftaucht und damit eher der Kohleverbrennung zugeordnet wird.

PCDD/Fs vs. PCBs und Pestizide. Es ist bekannt, dass PCBs und eine Reihe von Bioziden (Chlorphenole, Chlorbenzole, HCH) eine substantielle PCDD/F-Kontamination enthalten können (Swerev 1988, Brunner 1990). Hier gilt es nun zu prüfen, ob entsprechende Korrelationen der relevanten Verbindungen anzutreffen sind und ob hier bekannte Indikatorkongenere für die jeweiligen PCDD/F-Chloraromaten auftauchen oder stattdessen andere Kongenere hervortreten. Als Datenbasis wurden hier die relativen Gehalte der PCDD/Fs sowie die absoluten Gehalte der PCBs und Pestizide verwendet. Da PCBs und Pestizide in verschiedenen Proben unter der Nachweisgrenze lagen, wurden nicht immer alle Proben in die Korrelationsanalyse einbezogen[106].

Die signifikant positive Korrelation zwischen PCBs und deren PCDD/F-Indikatorkongeneren bestätigt sich nur teilweise in Tabelle 36. So sind zumindest in einem Teil der veröffentlichten PCB-Muster folgende Kongenere in wesentlichen Mengen enthalten: 1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, 2,3,6,8-/1,2,4,9-TeCDF, 1,2,4,6,7,8-HxCDF und 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF. Die übrigen korrelierten Kongenere wurden bisher nicht mit PCB in Verbindung gebracht. Beim Vergleich von PCP-Quellchromatogrammen mit den für PCB-korrelierten Kongeneren fallen große Ähnlichkeiten insbesondere bei den höher chlorierten Kongeneren auf. Es ist für die mit PCB korrelierten Kongenere daher eher von einer Mischung verschiedener mit PCDD/F kontaminierter chemischer Substanzen als von einer rein PCB induzierten Kontamination auszugehen.

HCB, HCH und DDX wurden hier zusammengefasst, da diese weitgehend identische Korrelationen mit den jeweiligen PCDD/F-Kongeneren aufwiesen. Von diesen Bioziden liegen nur für HCH Isomerenmuster der PCDD/F-Kontamination vor (Swerev 1988). Hier erweisen sich nur 1,2,4,6,8-PeCDF und 1,4,6,7,8-/1,2,3,4,7-PeCDF als substantielle Komponenten in HCH. Entweder ist dieses einzige bekannte Quellchromatogramm nicht repräsentativ für die gesamte Gruppe von HCH, HCB und DDX oder zusätzliche Kontaminationsquellen sind erforderlich, um dieses Muster zu erklären. So ist auch ein Erklärungsansatz, dass HCH selten als einziges Biozid eingesetzt wurde, sondern stattdessen häufig Mischungen mit verschiedenen Bioziden Anwendung fanden. Dies

[106] Für die Korrelationsanalyse der PCBs bleibt der BS-Sedimentkern unberücksichtigt, für die HCH-Korrelationsanalyse wurden nur die QS- und TK-Sedimentkerne einbezogen und bei der Korrelationsanalyse von HCB (ohne tetra- und pentachlorierten Chlorbenzene) und DDX (ohne 4,4'-DDMU, 2,4'-DDMS, 4,4'-DDT) wurden alle Proben in die Analyse aufgenommen.

kann erklären, dass die verschiedenen Biozide häufig zusammen auftreten und deren PCDD/F-Kontaminanten nicht getrennt miteinander korreliert sind.

Tabelle 36 Signifikant positive Korrelationen von PCBs und Pestiziden mit PCDD/Fs. Indikatorkongenere für eine PCB- bzw. HCH-Kontamination fett markiert

	Signifikant positiv korreliert mit
PCBs	1,3,6,8-TeCDD, 1,3,7,9-TeCDD, 1,2,4,7,9-/1,2,4,6,8-PeCDD, **1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD**, 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,3,7,8,9-HxCDD, **1,2,3,4,6,7,8-HpCDD**, 1,4,7,8-/1,3,6,9-/1,2,3,7-TeCDF, 1,4,6,9-TeCDF, **2,3,6,8-/1,2,4,9-TeCDF**, 1,2,4,6,8-PeCDF, 1,3,4,6,9-PeCDF, 1,2,3,4,6,8-HxCDF, **1,2,4,6,7,8-HxCDF**, 1,2,4,6,8,9-HxCDF, **1,2,3,4,6,8,9-HpCDF**
Pestizide	1,3,6,8-TeCDD, 1,3,7,9-TeCDD, 1,2,4,7,9-/1,2,4,6,8-PeCDD, 1,3,6,8-TeCDF, 1,3,6,7-TeCDF, 2,4,6,8-/1,2,3,8-/1,4,6,7-/1,2,3,6-TeCDF, 1,3,4,9-TeCDF, 1,4,6,9-TeCDF, 2,3,6,8-/1,2,4,9-TeCDF, 3,4,6,7-TeCDF, **1,2,4,6,8-PeCDF**, 1,3,4,7,9-PeCDF, **1,4,6,7,8-/1,2,3,4,7-PeCDF** (nur HCH), 1,2,3,4,9-PeCDF, 1,2,4,6,7,8-HxCDF, 1,2,4,6,7,9-HxCDF, OCDD

Korrelation der Pestizide untereinander. Als Basis für die Korrelationsanalyse wurden hier die relativen Gehalte[107] verwendet. Die relativen Gehalte der Pestizide repräsentieren die Kontaminationssituation weniger quellorientiert als vielmehr prozessorientiert. Sie strukturieren sich z.B. entlang von anaeroben bzw. aeroben Metabolisierungsprozessen. Nur für DDT und seine Metabolite, aber nicht für die anderen Biozide und Metabolite konnten relevante Korrelationen festgestellt werden. Innerhalb der Gruppe der DDX-Verbindungen sind signifikant positive Korrelationen hauptsächlich für DDT-Abbauprodukte und deren Metabolite zu erkennen[108]:

- 4,4'-DDE und 4,4'-DDMU
- 2,4'-DDE und 2,4'-DDMS
- 2,4'-DDD und 2,4'-DDMS

DDMU gilt als Metabolit von DDE im aeroben Abbaupfad von DDT[109]. DDD und DDMS sind Zwischenprodukte des anaeroben Abbaus von DDT[110].

Insgesamt ermöglichten die hier erläuterten Korrelationsanalysen - schwerpunktmäßig basierend auf relativen Gehalten - gemeinsame Quellen von Verbindungen aus verschiedenen Schadstoffgruppen zu identifizieren und prozessbedingte Zusammenhänge

[107] Hier wurden die Gehalte der Einzelverbindungen durch die Summe der Gehalte der einzelnen Biozide einschließlich deren Metabolite dividiert.

[108] In der im Abschnitt 9.10 auf S. 269ff im Anhang dokumentierten Korrelationsmatrix sind ebenfalls signifikant positive Korrelationen zwischen 4,4'-DDT und 2,4'-DDMS sowie zwischen 4,4'-DDT und 2,4'-DDD zu erkennen. Diese beruhen aber auf analytischen Artefakten, da diese Verbindung häufig nicht nachweisbar waren.

[109] vgl. Zook und Feng (2001)

[110] vgl. Zook und Feng (2002)

aufzuklären. Im Folgenden werden strukturelle Zusammenhänge von Proben und Verbindungen anhand der Clusteranalyse weiter verglichen.

Clusteranalyse. Zur Einordnung der Ergebnisse der Korrelationsanalyse in den Zusammenhang wird ebenfalls die Clusteranalyse angewendet. Da die Clusteranalyse auch grundlegend auf Korrelationen basiert, ist diese nicht als unabhängige Bestätigung zu betrachten, vielmehr handelt es sich um eine andersartige Darstellung basierend auf denselben Grundlagen. Die Korrelationsmatrix bzw. Distanzmatrix wird als Baumdiagramm dargestellt. Im Bild 55 ist die Clusteranalyse der relativen Gehalte der PCDD/F-Kongenere, der PAKs und der Elemente ohne Box-Cox-Transformation dargestellt.

Grundsätzlich zeigt die Clusteranalyse ähnliche Ergebnisse wie die Korrelationsanalyse, diese sind allerdings aufgrund der Dimensionsreduktion der Darstellungsweise weniger eindeutig. Es sind drei Hauptcluster zu erkennen:

- Cluster 1 mit PAKs der Quellgruppen 2 und 3 und überwiegend PCDD-Verbrennungskongenere,
- Cluster 2 überwiegend mit PAKs der Quellgruppe 1 sowie PCDD/F-Kongeneren, die schwerpunktmäßig in der 2,3-Chlorphenol-geprägten Verbrennung entstehen oder in PCP enthalten sind,
- Cluster 3 überwiegend mit PCDD/F-Kongeneren mit Quellbezug der 2,6-Chlorphenol-geprägten Verbrennung bzw. PCP-Verunreinigungen.

Damit bestätigt sich hier, dass PAKs der Quellgruppe 1 und einige 2,3-Chlorphenol-geprägte PCDD/F-Verbrennungskongenere zusammen auftreten und möglicherweise von ähnlichen Quellen emittiert werden. Für PAKs der Quellgruppe 2 und 2,6-Chlorphenol geprägte PCDD/F-Kongenere bestätigt sich dies nur für einzelne der relevanten PCDD/F-Kongenere. Die Schwermetalle Cr, Cd, Cu, Pb und Zn sind in Cluster 1 zu finden und weisen daher eine ähnliche Quellstruktur bzw. ein ähnliches Verhalten auf wie die PAKs der Quellgruppe 2.

Faktorenanalyse. Darüber hinaus wurden ebenfalls eine Reihe von Faktorenanalysen durchgeführt. Hierbei bestätigen sich im Wesentlichen die Ergebnisse der Korrelationsanalysen der einzelnen Schadstoffgruppen. Die einzelnen Schadstoffgruppen bleiben in der Zuordnung zu den Faktoren allerdings weitgehend getrennt. Daher konnte die Faktorenanalyse bei der Ermittlung grundlegender Strukturen, Quellen und Verhaltensmustern, die schadstoffübergreifend wirken, wenig beitragen.

Insgesamt bestätigt die Schadstoffübersicht die schon für die einzelnen Schadstoffgruppen identifizierte Kontaminationssituation und Quellzuordnung. Mit Hilfe der Korrelationsanalyse konnten vier grundlegende Quellen identifiziert werden, die schadstoffübergreifend wirken: Zwei verschiedene Arten von Verbrennungsquellen, eine chemische Quelle und eine unspezifische Hintergrundquelle.

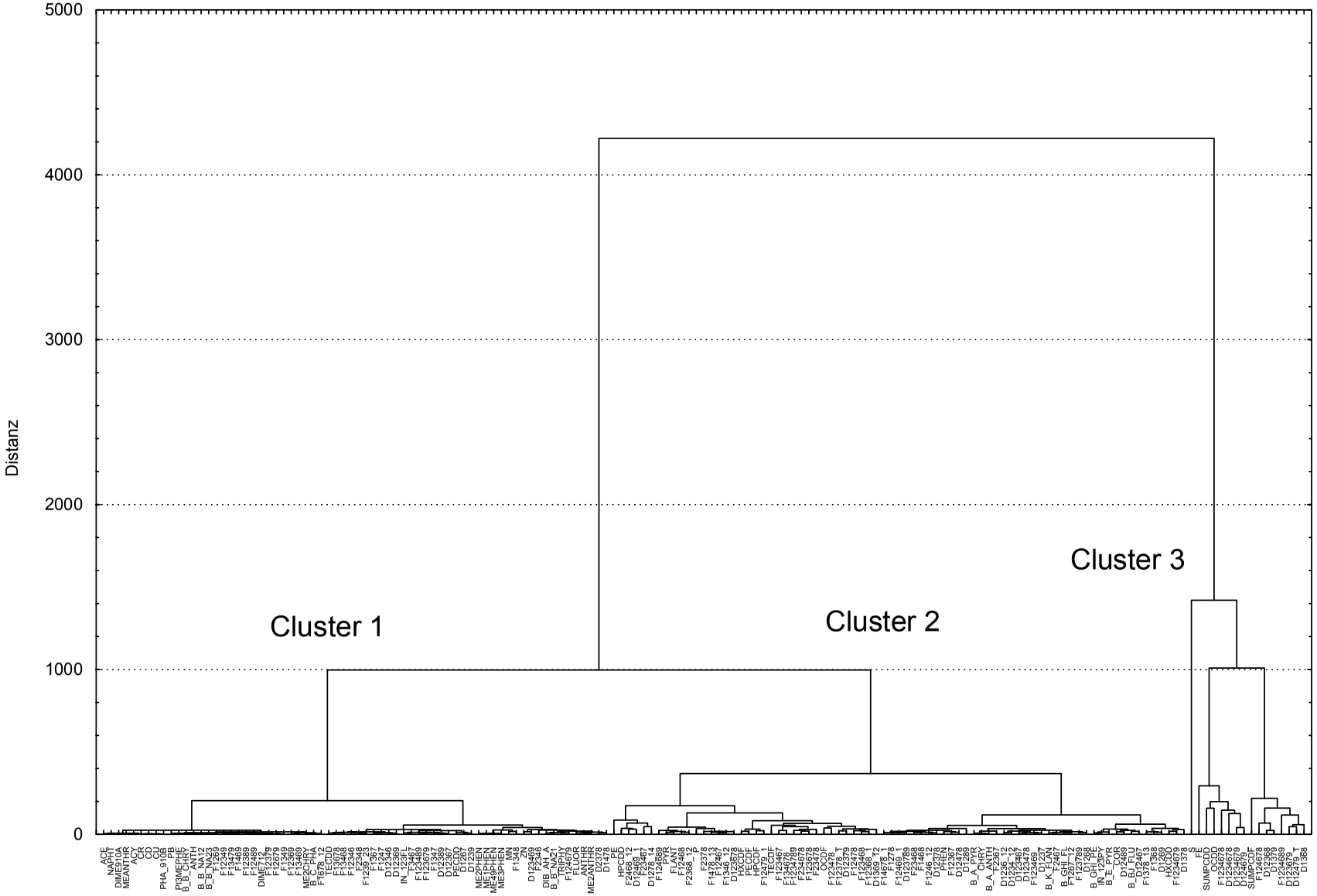


Bild 55 Clusteranalyse der PCDD/F-Kongenere, PAKs und Elemente

5 DISKUSSION

Über die direkte Quellenzuordnung und die Anwendung multivariater Statistik hinausgehend wurden für die Praxis der Indirekteinleiterkontrolle und die Forschung zu aktuellen und historischen Schadstoffeinträgen in Sedimente und andere Umweltmatrices weitere Erkenntnisse gewonnen, die im Folgenden vorgestellt werden. Für die Abwasserforschung ist in Abschnitt 5.1 zusammengestellt, wie bei der Einleiterüberwachung grundsätzlich vorzugehen ist und welche Probleme auftreten können, welche Probennahmematrices und welche Quellenermittlungsmethoden für welche Fälle von Vorteil sind. In Abschnitt 5.2 wurden ausgehend von der Verteilung der Elementgehalte gering belastete Hintergrundwerte und hochbelastete Eingreifwerte definiert und mit Angaben von anderen Autoren verglichen. Als weitere wichtige Methode zur Quellenzuordnung neben dem Fingerprinting sind Emissionsinventare von Bedeutung. In Abschnitt 5.3 wird die Rolle von Punktquellen und von diffusen Quellen für kommunale Abwässer ausgehend von beiden methodischen Ansätzen verglichen. Chemometrische Methoden wurden bereits in einer Reihe von Studien zu PCDD/Fs in Sedimenten eingesetzt. In Abschnitt 5.4 wird deren Vorgehensweise und Auswertung verglichen. Auch für die Sedimente können Ergebnisse von Inventaren mit den eigenen Messungen verglichen werden. In Abschnitt 5.5 werden Inventare von Schadstoffemissionen in die Atmosphäre mit Eintragsraten in die Sedimente verglichen. Bei der Anwendung von Fingerprintingverfahren zur Quellenermittlung sind eine Reihe von Unsicherheitsfaktoren zu bedenken, diese sind in Abschnitt 5.6 ausgeführt. Über konkrete Fragen zu Quellstudien im Bereich Abwasser und Sedimente hinaus, werden Anregungen für zukünftige Fragestellungen von verwandten Forschungsgebieten gegeben. Diese sind in Abschnitt 5.7 als Ausblick zusammengefasst.

5.1 MÖGLICHKEITEN UND GRENZEN DER VERWENDUNG VON PROBENNAHMEMATRICES UND QUELLENERMITTLUNGSMETHODEN

Ziel der Beprobung von Sielhäuten bzw. anderen Matrices und der Anwendung von Quellenermittlungsmethoden ist es, eine niedrigere Schadstoffbelastung in Klärschlämmen zu erreichen. Dabei werden besonders stark kontaminierte Einleitungen identifiziert und letztlich über eine Minderung der Schadstoffeinleitungen niedrigere Gehalte im Klärschlamm erzielt.

Es kann nicht davon ausgegangen werden, dass ein bestimmter Schadstoff nur von einer Quelle emittiert wird. Mehr oder weniger niedrige Gehalte werden die Schadstoffe in einer Vielzahl von Einleitungen zu finden sein. Als diffuse Quellen werden diejenigen Quellen bezeichnet, die großflächig verteilt sind und keinem Einleiter direkt zuzuordnen sind (z.B. Kupfer aus Wasserleitungen und Bedachung). Für diese Quellen hat das lokale Abwasserunternehmen praktisch keine Handlungsmöglichkeiten zur Minderung der Belastung. Ansatzpunkte sind hier eher über die nationale Gesetzgebung gegeben.

Bei den Punktquellen emittieren wenige Einleiter bedeutende Schadstoffmengen. Mit Hilfe der Beprobung und Analytik von Sielhäuten können diese Quellen eingegrenzt und identifiziert werden und letztlich durch eine Reduktion dieser Schadstoffeinträge eine Minderung der Klärschlammbelastung erzielt werden. Ansatzpunkt ist allerdings nicht nur der Gehalt sondern auch das Muster der Schadstoffbelastung.

Im Rahmen der Arbeiten zur Quellenermittlung von Schadstoffen in kommunalen Abwässern konnten für eine Reihe von Branchen und Einleitergruppen charakteristische Indikatorkomponenten und Schadstoffmuster identifiziert werden. Allerdings war es nicht möglich, ein allgemeingültiges, einfach verwendbares Tool zu entwickeln. Dies liegt weniger an der Unzulänglichkeit der verwendeten Methoden als vielmehr an der Komplexität der Quellstruktur, der nur sehr begrenzt verfügbaren Quellmuster und der Adäquatheit des Ansatzpunktes. Die grundsätzliche Vorgehensweise der Quellenidentifizierung einer unbekannten Einleitung ist in Bild 56 dargestellt.

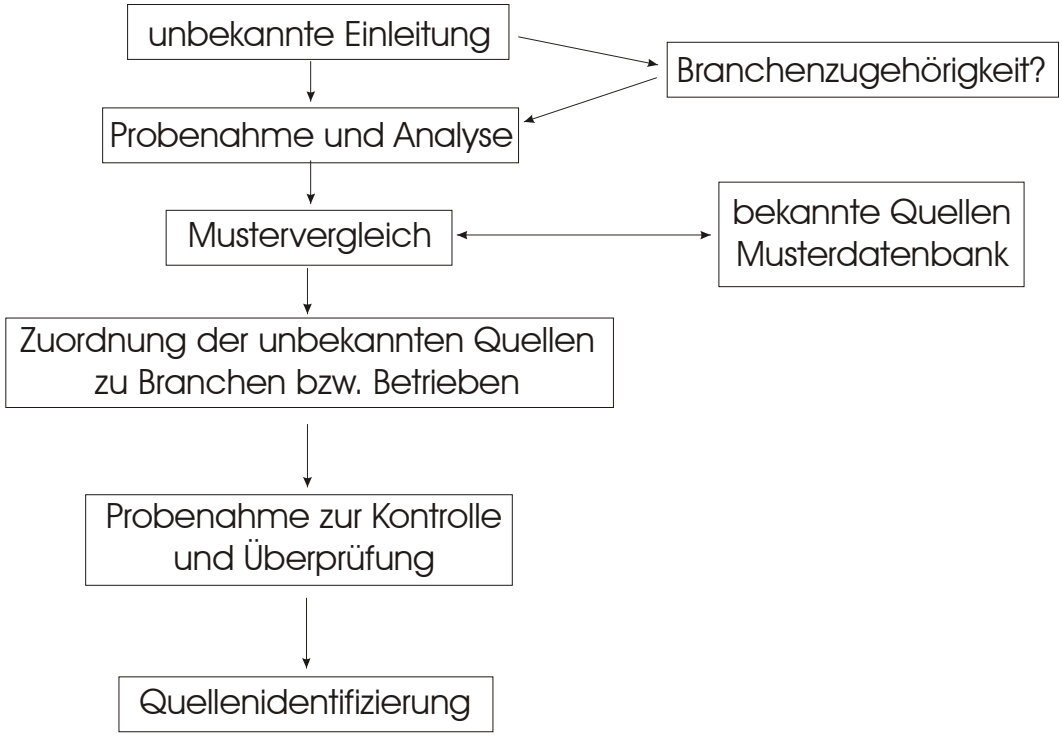


Bild 56 Vorgehensweise der Quellenidentifizierung einer unbekannten Einleitung

Der entscheidende Schritt ist hier der Mustervergleich, bei dem eindeutige Quellbeschreibungen und deren Zuordnung zu bestimmten Branchen erforderlich sind. In der Praxis können die Muster einer Branche aber erheblich variieren, da innerhalb einer Branche unterschiedliche Produkte hergestellt werden, dabei unterschiedliche Prozesse mit einer Variation von Chemikalien und Schadstoffen verschiedener Hersteller eingesetzt werden. Eine besserer Musterzuordnung wäre sicherlich auf der Prozessebene und noch besser auf der Ebene der Einsatzchemikalien möglich. Dies ist allerdings in der Praxis aufgrund der Vielzahl der Prozesse und Chemikalien für die Indirekteinleiterüberwachung kaum umsetzbar. Bild 57 zeigt diesen Zusammenhang zwischen Schadstoff, Chemikalie, Prozess und Branchenzugehörigkeit.

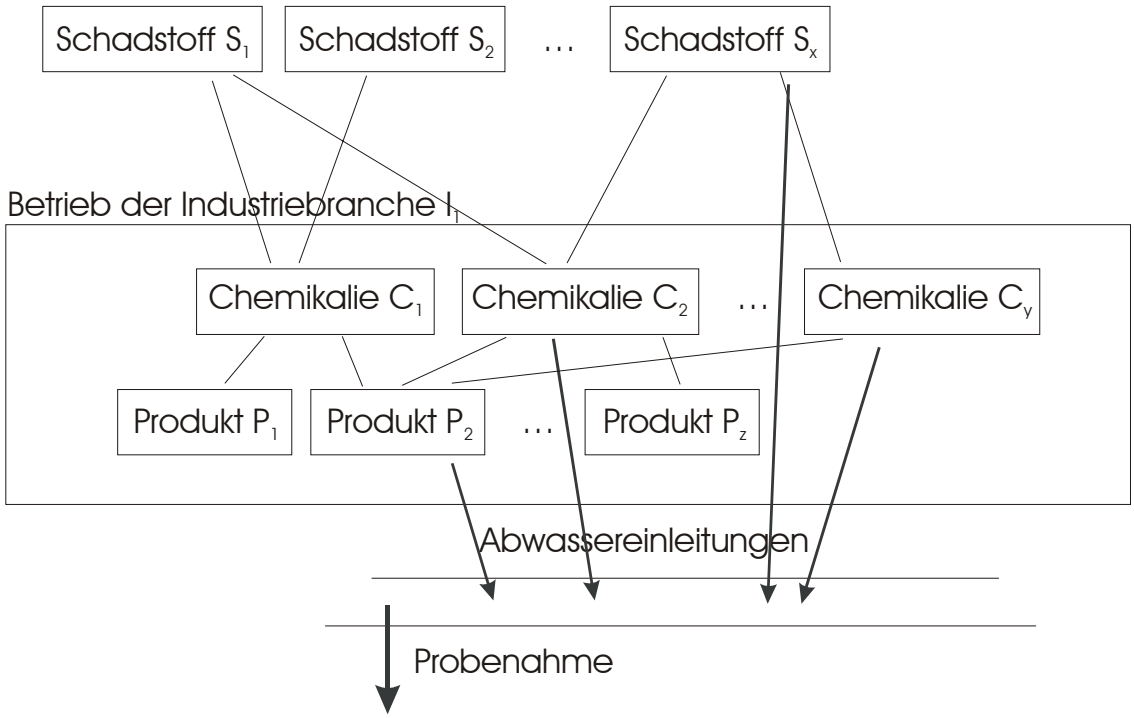


Bild 57 Einflussfaktoren auf die Schadstoffmuster der Abwassereinleitung eines Betriebs

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Sielhäute als Probenmatrix für kommunales Abwasser verwendet, insbesondere um einen Querschnitt der Schadstoffmuster im Abwasser über einen längeren Zeitraum zu erhalten. Für andere Zwecke kann es sinnvoll sein, andere Probenahmestrategien zu verfolgen. In Tabelle 37 sind die Vor- und Nachteile der Probenmatrices zum Monitoring des kommunalen Abwassers zusammengestellt.

Um Schadstoffe in der Umwelt möglichen Verursachern zuzuordnen, stehen eine Reihe von Ansätzen zur Verfügung: Inventare und Fingerprinting, univariate und multivariate Statistik. Deren Vor- und Nachteile sowie deren Zielsetzung werden im Detail in Tabelle 38, Tabelle 39 und Tabelle 40 zusammengefasst.

Tabelle 37 Vor- und Nachteile von Probennahmematrices für Quellstudien

Matrix	Vorteile	Nachteile
Abwasser: Kurzzeit (aus der fließenden Welle)	geringer Aufwand, direkte Vergleichbarkeit mit Grenzwerten	Repräsentativität fraglich, geringe Nachweisstärke
Abwasser: Langzeit (Probenehmer)	direkte Vergleichbarkeit mit Grenzwerten, Repräsentativität weitgehend abgesichert	großer Aufwand, begrenzte Nachweisstärke
Sielhaut	Nachweisstärke (insbesondere für lipophile unpolare Verbindungen), geringe Kosten, prädestiniert für die Ermittlung von Langzeitentwicklungen	nicht immer verfügbar bzw. vorhanden, Vergleichbarkeit mit Grenzwerten nicht gesichert
Klärschlamm	hohe Nachweisstärke	nicht direkt für Quellstudien einsetzbar
Spezielle Probennehmer (z.B. Kanalspion)	gezielt für bestimmte Schadstoffe einsetzbar	großer Aufwand, bisher begrenzte Erfahrungen und Vergleichsmessungen

Tabelle 38 Vor- und Nachteile von grundlegenden Methoden zur Quellenermittlung von Schadstoffen

Methode	Vorteile	Nachteile
Inventare	detaillierte Quantifizierung möglich	großer Aufwand zur Erstellung, umfangreicher Informationsbedarf
Mustervergleich	mit begrenztem Aufwand anwendbar, qualitative Aussagen leicht möglich	Quantifizierung meist schwierig; rigide Qualitätskontrolle notwendig; erfordert i.d.R. eigene empirische Forschung mit Probenahme, Analyse und Auswertung; umfangreiche Informationen über Quellmuster notwendig

Tabelle 39 Zielsetzung, Vor- und Nachteile von multivariaten Quellenidentifizierungsmethoden

Methode	Zielsetzung	Vorteile	Nachteile
univariate Methode: Muster, Quotienten, Indikatoren	grafischer direkter Vergleich	einfache Anwendbarkeit	ggf. sensibel gegenüber Transport-, Anreicherungs- und Metabolisierungsprozessen
multivariate Verfahren: Clusteranalyse	vereinfachter Vergleich der Ähnlichkeit von Proben und Parametern	umfangreiche Messreihen leichter vergleichbar, einfache Visualisierung von Ähnlichkeiten	umfangreiche Qualitätskontrolle erforderlich, direkter Vergleich von Proben mit Quellen oft schwierig, keine Quantifizierung verschiedener Beiträge möglich, Ähnlichkeit nur eindimensional darstellbar
Faktoranalyse / Hauptkomponentenanalyse	Identifizierung wesentlicher Einflussfaktoren	semiquantitative Quellenzuordnung, anwendbar für die Visualisierung von Quellbeiträgen	umfangreiche Qualitätskontrolle erforderlich
Positive Matrix Factorisation (PMF)[111]	Quantifizierung von Quellbeiträgen	Quantifizierung möglich	umfangreiche Qualitätskontrolle erforderlich; hochkomplexe Methodik; auch Standardabweichung der Werte erforderlich
Diskriminanzanalyse	Hervorhebung von Unterschieden zwischen Proben(gruppen) bzw. Parametern; Einordnung unbekannter Proben	hebt Unterschiede hervor, einsetzbar zur Ermittlung von Indikatorkongeneren	Diskriminanzfunktion wenig anschaulich

Tabelle 40 Vor- und Nachteile von univariaten Mustererkennungsverfahren zur Quellenermittlung von Schadstoffen

Methode	Vorteile	Nachteile
direkter Vergleich von Mustern und Profilen	einfache Anwendbarkeit, leichte Visualisierung	keine Quantifizierung möglich, möglicher Einfluss von selektiven Anreicherungsprozessen; nur für eine begrenzte Zahl von Proben und Parametern anwendbar
Indikatorverbindungen	Reduktion auf wesentliche Informationen	benötigt eindeutige und klare Quelldifferenzierung; bei Quellmischungen schwierig einsetzbar
charakteristische Quotienten	gute Möglichkeit zur Hervorhebung von Unterschieden, ggf. wenig Beeinträchtigung durch Transport- und Anreicherungsprozesse	reagiert sensibel auf Ungenauigkeiten bei der Quellencharakterisierung

[111] vgl. Paatero und Tapper (1993)

5.2 HINTERGRUNDGEHALTE UND EINGREIFWERTE FÜR ELEMENTE IN SIELHÄUTEN

Für die Umsetzung stellt sich zum einen die Frage der Abgrenzung, ab wann eine Belastung als stark kontaminiert und damit problematisch gilt und zum anderen, ob die Schadstoffbelastung von Punktquellen oder diffusen Quellen emittiert wird. Verschiedene Ansätze zur Eingrenzung von hohen Gehalten und von Hintergrundbelastungen existieren. In dieser Arbeit wurde eine Herangehensweise basierend auf Verteilungen gewählt.

Aufgrund der großen Zahl analysierter Sielhautproben können Aussagen über die übliche Verteilung von Elementgehalten gemacht werden. Der Median als 50 % Perzentil wird hier als Gehalt betrachtet, bei dem mit vertretbarem Aufwand wenig Möglichkeiten zur weiteren Senkung der Belastung bestehen. Dieser Wert wird hier als Hintergrundgehalt betrachtet. Darüber hinaus wird das 90 % Perzentil der Elementverteilung als Indikator für einen erhöhten Gehalt angewendet. Tabelle 41 gibt eine Übersicht über diese Werte und über deren Vergleichswerte (Kintrup und Wünsch 2001b, Gutekunst 1988).

Gegenüber den achtziger Jahren hat die Schadstoffbelastung deutlich abgenommen (Gutekunst 1988). Für die überwiegend aus Trinkwasserleitungen freigesetzten Elemente Kupfer und Zink zeigten sich allerdings keine wesentlichen Veränderungen. Beim Vergleich zu den Messungen von Kintrup und Wünsch (2001b) fällt auf, dass die gemessenen Werte weitgehend ähnlich sind, oft mit weniger als Faktor 2 höher bzw. niedriger sind. Nur für einzelne Elemente waren die Unterschiede größer. Dies kann zum einen an der unterschiedlichen Probenauswahl liegen (stärker bzw. schwächer industriell geprägte Proben) oder an der statistischen Herangehensweise (hier: Median aller Proben; Kintrup und Wünsch (2001b): um Ausreißer bereinigte mittlere Konzentration). Von Gutekunst wurden typische Schwermetallgehalte von Sielhäuten häuslicher Abwassersammler angegeben. Für industriell geprägte Sielhäute gab sie z.T. um den Faktor 10 höhere Gehalte an.

Auf der Basis der hier erläuterten Hintergrundgehalte und erhöhten Gehalte können nun Einordnungen der eigenen Belastungssituation vorgenommen werden: Messwerte im Bereich der Hintergrundgehalte sollten als unproblematisch gelten, während Messwerte über den als erhöhte Gehalte ermittelten Werten als problematisch einzustufen sind. Für eine auf Vorsorge ausgerichtete Einleiterkontrolle können diese Werte als Eingreifwerte betrachtet werden und es können ggf. Maßnahmen zur Minderung eingeleitet werden.

Tabelle 41 Hintergrund- und erhöhte Elementgehalte in Sielhäuten, in mg/kg TM

Element	diese Arbeit: Hintergrund-gehalte[112]	diese Arbeit: erhöhte Gehalte[113]	Kintrup (1999), Kintrup und Wünsch (2001b)[114]	Gutekunst (1988)[115]	Element	diese Arbeit: Hintergrund-gehalte[112]	diese Arbeit: erhöhte Gehalte[113]	Kintrup (1999), Kintrup und Wünsch (2001b)[114]	Gutekunst (1988)[115]
Li	5,8	14,1	3,6		Ag	1,6	4,4	5,3	
Be	0,3	0,67			Pd	0,1	0,4	0,62	
B	30	70	26		Cd	1,3	8,2	1,2	4-10
F	250	640			Sn	6,1	76	27	
Na	1800	5400	2200		Sb	0,8	5,6	2,8	
Mg	3500	14000	2300		I	7,9	55		
Al	10000	24000	12000		Cs	0,7	1,9	0,29	
Si			210		Ba	350	860	390	
P	9600	26000			La	6,2	16		
S	1200	3500			Ce	15	38	6,0	
K	3000	6500	2300		Pr	1,5	3,9		
Ca	46000	120000	29000		Nd	5,5	15		
Ti	170	440	59		Sm	0,9	2,3		
V	17	45	10		Eu	0,3	0,6		
Cr	45	200	27		Gd	1,2	3,1		
Mn	240	850	120		Tb	0,1	0,3		
Fe	12000	42000	7800		Dy	0,7	1,7		
Co	5,9	17	2,8		Ho	0,1	0,3		
Ni	28	110	23	40-60	Er	0,3	0,8		
Cu	270	1800	180	150-300	Tm	0,05	0,1		
Zn	1100	3900	880	1000-2000	Yb	0,3	0,7	0,16	
Ga	3,1	6,4	2,7		Lu	0,04	0,1		
Ge	1,2	3,5	1,4		Hf	0,04	0,3	0,91	
As	4,1	12	5,1		Ta			0,21	
Br	64	220			W	1,0	8,8	2,2	
Se	1,5	3,2			Pt	0,03	0,1		
Rb	8,8	20	3,8		Au	0,4	1,5	0,94	
Sr	140	260	230		Hg	1,2	8,2	2,2	
Y	4,0	9			Tl	0,1	0,4	0,15	
Zr	2,3	14	2,8		Pb	73	400	42	150-500
Nb	0,4	1,1	1,3		Bi			3,2	
Mo	6,7	57	4,0		Th	1,5	5,6		
Ru	0,05	0,3			U	0,8	2,2	0,43	
Rh	0,03	0,1							

[112] Angaben beziehen sich auf das 50 % Perzentil (Median) aller analysierten Proben

[113] Angaben beziehen sich auf das 90 % Perzentil aller analysierten Proben

[114] Hintergrundgehalte als ausreißerbereinigte Mittelwerte

[115] Typische Schwermetallkonzentrationen für Sielhäute aus häuslichen Abwassersammlern

5.3 INVENTARE VS. MUSTERERKENNUNG: DIE ROLLE VON PUNKTQUELLEN UND VON DIFFUSEN QUELLEN

Die Erstellung von Inventaren ist ein grundlegend unterschiedlicher Ansatz zur Mustererkennung in der Quellenermittlung. Hier werden ausgehend von Konzentrationen, Gehalten bzw. Emissionsfaktoren und Volumenströmen bzw. Aktivitätsraten Massenströme abgeschätzt. Koch und Rotard (2000) haben gezeigt, dass die Hintergrundquellen Trinkwasser, Deposition, Urin und Faeces bei einzelnen Elementen für einen Großteil der gefundenen Kontamination in den Klärschlämmen verantwortlich sind. Für Kupfer sind dies 74 - 95 %, für Zn 46 - 62 %, für Pb 43 - 55 %, Cd 21 - 41 % und Cr 9 - 10 %. Raach et al. (1999) haben hier eine ähnliche Bilanzierung der Elementeinträge in kommunalen Kläranlagen durchgeführt, haben allerdings meist die von Koch und Rotard (2000) genannten unbekannten Quellen dem Waschen/Reinigen in Haushalten zugeordnet.

Bei der Anwendung von Mustererkennungsverfahren bzw. Fingerprintingmethoden steht demgegenüber die Ähnlichkeit bzw. Unterschiedlichkeit von Mustern im Vordergrund und grundlegende Muster werden herausgearbeitet. Für eine Reihe von relevanten Punktquellen für Elemente in Sielhäuten konnte mit Hilfe von Indikatorelementen und der Diskriminanzanalyse (vgl. Abschnitt 3.1.7 auf S. 26) ein signifikanter Unterschied zu den übrigen Proben gezeigt werden. Die Verteilung der Elementgehalte in den Proben umfasst mehr oder weniger linkssteile Verteilungen (vgl. Abschnitt 3.1.1 auf S. 7). Bei den an die Gauß-Kurve angenäherten Verteilungen ist davon auszugehen, dass ubiquitäre Quellen überwiegen, während für Elemente mit einer linkssteilen Verteilung Punktquellen in den Vordergrund treten.

Unter der stark vereinfachenden Annahme, dass der Abwasserstrom für alle Sielhautproben identisch ist, würde für Cadmium und Chrom 1 % der am höchsten belasteten Proben ca. 50 % des gesamten Schadstoffstroms verursachen, während dies für Kupfer, Blei und Zink ca. 30 % betragen würde.

Als Indikator für den Einfluss von wenigen hochbelasteten Proben als Punktquellen wird hier der Quotient aus dem maximalen Gehalt der am höchsten belasteten Proben und dem Median der Gehalte aller Proben angewendet. Für die in Tabelle 42 näher betrachteten Elemente ergeben sich folgende Quotienten.

Tabelle 42 Quotient aus maximalem Gehalt und Median der Gehalte aller Proben

Element	Cr	Cu	Zn	Cd	Pb
Quotient Maximum - Median	273	114	106	523	110

Beim Vergleich der Rolle von Punktquellen ergibt sich hier ein ähnliches Bild wie beim Inventar: Die Einträge von Cadmium und Chrom sind wesentlich von Punktquellen bestimmt, während für Kupfer, Zink und Blei die Rolle von Punktquellen geringer ist und damit ubiquitäre Quellen überwiegen. Bei vielen anderen hier nicht erläuterten Elementen (Koch und Rotard 2001) ist dieser Quotient oft kleiner als 100 und weniger von Punktquellen beeinflusst als die hier erläuterten fünf Schwermetalle.

5.4 PCDD/Fs IN SEDIMENTEN: EIN SYSTEMATISCHER VERGLEICH VON CHEMOMETRISCHEN QUELLSTUDIEN

Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane (PCDD/Fs) wurden bisher in Sedimenten an einer Vielzahl von Probenahmeorten, Frischwasser- und marine Standorte, als Oberflächenproben und als Sedimentkerne untersucht und deren Quellen ermittelt. In Tabelle 43 sind einige dieser Studien zusammengestellt und verglichen. Häufig wurden allerdings nur die Homologengehalte und die Gehalte der 2,3,7,8-substituierten Kongenere bestimmt und deren Homologenprofile zur Quellenzuordnung zugrundegelegt. Nur wenige Studien haben alle PCDD/F-Kongenere analysiert und aufwendige Quellenermittlungsverfahren verwendet[116].

Die Mehrzahl der Studien (Fiedler et al. 1996, Götz et al. 1998, Jüttner et al. 1997, Macdonald et al. 1998) betrachtet nur die Homologen meist ergänzt durch die 2,3,7,8-substituierten Kongenere. Veröffentlichte Quellmuster werden oft in die multivariate Analyse direkt einbezogen, z.T. aber auch nur für einen qualitativen Vergleich verwendet.

Als multivariate statistische Methoden wurden durchweg die Hauptkomponentenanalyse bzw. Faktorenanalyse, mehrfach auch die Clusteranalyse angewendet. Nur von Bright et al. (1999) wurde auch die polytopische Vektoranalyse eingesetzt. Die Diskriminanzanalyse wurde für PCDD/Fs in Sedimenten nicht verwendet. Multivariate Analysen wurden z.T. ergänzt durch univariate Ansätze: Isomerenmuster, Homologenprofile, Indikatorkongenere und Isomerenquotienten.

Die Normierung des Datensatzes erfolgte meist auf Basis des PCDD/F-Gesamtgehaltes, nur in wenigen Studien werden diese auf die TEq-Gesamtgehalte bzw. die jeweiligen Homologengehalte normiert. In allen Studien werden Quellen anhand der Ähnlichkeit von Mustern zugeordnet: Nur in der Studie von Sakurai et al. (1998) und in dieser Arbeit werden die Hauptkomponenten bzw. Faktoren Quellen zugeordnet, um letztlich eine Quantifizierung der Quellbeiträge zu erreichen.

[116] vgl. Bright et al. (1999), Fiedler et al. (1996), Götz et al. (1998), Jüttner et al. (1997), Kjeller und Rappe (1995), Macdonald et al. (1998), Sakurai et al. (1998)

Tabelle 43 Vergleich der Anwendung von chemometrischen Methoden in der Quellenermittlung von PCDD/F in Sedimenten

		diese Arbeit	Sakurai et al. (1998)	Götz et al. (1998)	Kjeller und Rappe (1995)	Fiedler et al. (1996)	Bright et al. (1999)	Jüttner et al. (1997)	Macdonald et al. (1998)
Probenart	Oberflächensedimente		X	X		X			
	Sedimentkerne	X			X		X	X	X
Auswertung der Chromatogramme	Homolog quantifiziert	X	X	X	X	X	X	X	X
	2,3,7,8-substituierte Kongenere quantifiziert	X	X	X	X	X	X		X
	nicht-2,3,7,8-substituierte Kongenere quantifiziert	X	X		X		(X)		
Normierungsbasis	einzelne Homologen	X		(X)		X			
	PCDD/F-Gesamtgehalt		X[117]		X	X	X	(X)	X
	TEq-Gehalt					X			
Datenbasis	nur eigene Messungen	X	X		X		X		X
	Vergleich mit veröffentlichten Quellmustern	(X)	(X)	X	(X)	X	X	X	
univariate Auswertung	Isomerenmuster	X							
	Homologenprofile	X			X		(X)	X	
	Indikatorkongenere	X							
	Isomerenquotienten	X							
multivariate Statistik	Clusteranalyse	X		X		X			X
	Hauptkomponentenanalyse / Faktorenanalyse	X	X	X	X	X	X	X	X
	Diskriminanzanalyse								
	polytopische Vektoranalyse						X		
Auswertungstiefe	Ähnlichkeit von Mustern	X	X	X	X	X	X	X	X
	wesentliche Quellen als Faktoren quantifiziert	X	X						

[117] Als Basis diente hier nicht die Trockenmasse, sondern nur deren organische Anteile in Form des Glühverlustes.

Innerhalb der hier vorgestellten Studien sind zwei Grundlinien zu erkennen. Eine Reihe von Studien (Fiedler et al. 1996, Götz et al. 1998, Jüttner et al. 1997, Macdonald et al. 1998) geht von einer Datenbasis aus, die nur auf den Homologen und den 2,3,7,8-substituierten Kongeneren beruht, verwendet meist auch veröffentlichte Quellmuster in ihrer Auswertung und betrachtet im Wesentlichen die Ähnlichkeit der Muster, um zu einer Quellenzuordnung zu kommen. Problematisch ist bei dieser Art von Studien die Heterogenität des Datensatzes, die begrenzte Datenbasis, da die nicht-2,3,7,8-substituierten Kongenere wesentliche Quellinformationen enthalten, die mögliche Beeinflussung durch Transport- und selektive Anreicherungsprozesse sowie die fehlende Berücksichtigung von Quellmischungen. Schlussfolgerungen, die aus dieser Art von Studien gezogen wurden, sind daher mit Vorsicht zu genießen.

Nur wenige Studien (Kjeller und Rappe 1995, Sakurai et al. 1998 und diese Arbeit) basieren auf einer Auswertung aller PCDD/F-Kongenere. Diese bieten den Vorteil, dass die Quellinformationen der nicht-2,3,7,8-substituierten Kongenere berücksichtigt werden. Dabei bieten die Isomerenmuster die wesentliche Betrachtungsebene, ggf. ergänzt durch die Verwendung von Isomerenquotienten, Indikatorkongeneren und auch Homologenprofilen. In dieser Arbeit hat es sich am vorteilhaftesten erwiesen, die Kongenerengehalte auf den jeweiligen Homologengehalt zu beziehen und damit direkt das Isomerenmuster ergänzt durch das Homologenprofil darzustellen. Bei einer Normierung auf Basis des PCDD/F-Gesamtgehaltes ist von einem dominanten Einfluss von einzelnen Kongeneren mit hohen Gehalten (OCDD, HpCDD) auszugehen.

Insgesamt erweist sich ein Vergleich multivariater Analysen mit univariaten Ansätzen als vorteilhaft. Letztlich ist ein umfassender homogener Datensatz erforderlich, der mit rigiden Qualitätskriterien belegt und mit einer Vielzahl von Methoden ausgewertet wurde, um gesicherte Aussagen über quantitative Quellbeiträge zu ermöglichen.

5.5 FEHLENDE SCHADSTOFFQUELLEN: MYTHOS ODER REALITÄT?

Für eine Reihe von Schadstoffen kamen einige Autoren[118] zu einer Diskrepanz in der Bilanz von Emission und Deposition. Schätzungen der Emissionen in die Atmosphäre, basierend auf Inventaren, ergaben niedrigere Schadstoffeinträge als die entsprechend von Immissionsmessungen berechneten Depositionsraten erwarten ließen. Um zu überprüfen, ob dieses Problem auch heute für Deutschland relevant ist, werden hier Messungen im Bugsinsee mit berechneten atmosphärischen Emissionen Deutschlands basierend auf EMEP-Angaben (EMEP 2002a, EMEP 2002b) verglichen. Der Bugsinsee bietet aufgrund von fehlenden oberflächlichen Zuflüssen und der geringen anthropogenen Aktivität in der näheren Umgebung günstige Voraussetzungen, um atmosphärische Hintergrundeinträge von Schadstoffen zu ermitteln.

[118] vgl. Baker und Hites (2000), Brzuzy und Hites (1995), Brzuzy und Hites (1996a), Brzuzy und Hites (1996b), Eriksson (1991), Pirrone (1998), Wagrowski und Hites (2000)

EMEP (Co-operative Programme for Monitoring and Evaluation of the Long-Range Transmission of Air Pollutants in Europe) verfügt über die detaillierteste Datenbasis zu atmosphärischen Emissionen einer Vielzahl von Schadstoffen aller europäischen Länder, einschließlich deren historische Entwicklung. Ausgehend von den Emissionen für Deutschland von 1990 wurden grob vereinfachend eine gleichmäßige Verteilung der Einträge über die gesamte Fläche Deutschlands angenommen und der Export und Import von Schadstoffen über die Luft vernachlässigt. In Tabelle 44 werden die Schadstoff-eintragsraten der obersten Schicht des Bugsinsee-Sediments mit den EMEP-Inventaren für 1990 verglichen.

Die beiden Schadstoffeintragsraten zeigen ähnliche Größenordnungen. Für die Elemente liegen die in den Sedimenten gemessenen Eintragsraten tendenziell über denen aus den Inventaren geschätzten Werten, für PCDD/Fs und PAKs sind die gemessenen Eintrags-raten eher niedriger als die aus den Inventaren geschätzten Werte. Diese Unterschiede können auf eine Reihe von Ursachen zurückgeführt werden. In der EMEP-Berichter-stattung werden schwerpunktmäßig anthropogene Quellen erfasst. Natürliche Quellen (z.B. Aufwirbelung von Bodenpartikeln) werden nicht adäquat berücksichtigt. Auch der Einfluss osteuropäischer Emissionen darf für den Bugsinsee nicht unterschätzt werden. Diese werden in den Eintragsraten basierend auf den Inventaren nicht berücksichtigt. Die Abweichungen bei den POPs können auf einer Überschätzung der Quellstärken in den Inventaren beruhen oder an einer Variation der regionalen Verteilung der Emissions-quellen mit unterdurchschnittlichen Quellstärken im Einflussbereich der untersuchten Sedimente liegen.

Neben den aktuellen Eintragsraten wurde auch die Schadstoffdeposition über einen längeren Zeitraum ermittelt. Tabelle 45 vergleicht die für den Zeitraum seit 1970 bzw. 1985 aus Inventaren geschätzten Einträge mit den aus der Sedimentmessung berechneten seit ca. 100 - 150 Jahren eingetragenen Schadstoffmengen.

Für die Summe der historisch abgelagerten bzw. emittierten Schadstoffmengen zeigen sich im Gegensatz zu den aktuellen Werten größere Unterschiede. Während die akkumulierten Einträge der POPs in einer ähnlichen Größenordnung liegen, sind die in den Sedimenten gemessenen Schwermetalleinträge um mehrere Zehnerpotenzen über den aus den EMEP-Inventaren geschätzten Deposition.

Tabelle 44 Vergleich der geschätzten Schadstoffeintragsraten aus der obersten Schicht des Bugsinsee-Sediments und des EMEP-Inventars für Deutschland in 1990

	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	HCH	DDX	PCBs	PCDD/Fs	PAKs	CBz/HCB
Einheit	$mg/m^2/a$					$\mu g/m^2/a$			ng I-TEq/m^2/a	$mg/m^2/a$	$\mu g/m^2/a$
Sedimentmessungen	10	0,2	0,9	2,0	18	meist n.n.	13	meist n.n.	1,6	0,4	0,3
Emissionsinventare	6,5	0,09	0,7	1,0	3,7	42	k.A.	120	3,4	1,2	0,24

Tabelle 45 Vergleich der historisch akkumulierten Schadstoffmengen, berechnet aus den seit 100-150 Jahren in den Sedimenten eingetragenen Schadstoffen und für den Zeitraum 1970 - 2000 bzw. 1985 - 2000 aus Inventaren berechneten Schadstoffeinträgen

	Pb	Cd	Cr	Cu	Zn	HCH	DDX	PCBs	PCDD/Fs	PAKs	CBz/HCB
Zeitraum Inventar	1985-2000					1970-2000					
Einheit	mg/m^2								μg I-TEq/m^2	mg/m^2	
Sedimentmessungen	4500	60	480	1200	13000	meist n.n.	0,8	meist n.n.[119]	1,9	53,4	0,02
Emissionsinventare	110	1,2	10	13	52	3,7	k.A.	16	0,35	14	0,95[120]

[119] Weil die Meßwerte meist unterhalb der Nachweisgrenze lagen, konnte hier keine abgelagerte Schadstoffmenge bestimmt werden.

[120] Die EMEP Expertenmeinung von 1654 kg HCB Emissionen in 1990 weicht extrem von den von Deutschland offiziell berichteten Emissionen ab: 86 kg HCB in 1990.

Die auf Inventaren basierenden Berechnungen der seit 1985 abgelagerten Schwermetallmengen liegen um den Faktor 40 – 300 unter denen der in den Sedimenten insgesamt vorgefundenen Mengen. Hier bleibt anzumerken, dass im Bugsinsee in einer Tiefe von 6 – 12 cm eine überdurchschnittliche Schwermetallkontamination gemessen wurde, die nicht durch reguläre Emissionen erklärt werden kann und auch nicht an den anderen Probenahmeorten in der Form nicht festzustellen war. Wie in Abschnitt 4.5 erläutert, ist diese möglicherweise auf Kriegseinwirkungen zurückzuführen. Die Schwermetallinventare decken nur einen Zeitraum von ca. 1985 - 2000 ab, während die Ablagerungen in den Sedimenten etwa über einen Zeitraum von 100 - 150 Jahren integrieren. Diese Erläuterungen machen den großen Unterschied zwischen den in den Sedimenten gemessenen Werten und den ausgehend von den Inventaren geschätzten Werten eher nachvollziehbar, weist aber auch darauf hin, dass insbesondere vor 1985 bedeutende Schadstoffmengen emittiert wurden.

Die Schätzungen der ca. seit 1970 emittierten POPs liegen um den Faktor 4 – 6 unter den in den Sedimenten gemessenen Werten, was zumindest z.T. mit den Unterschieden in den Akkumulationszeiträumen erklärt werden kann. Für HCB ergibt sich hier das umgekehrte Phänomen, dass die von EMEP angegebenen historischen Emissionen eine Gesamtdeposition verursachen, die erheblich über den in den Sedimenten gemessenen Werten liegt. Da die von Deutschland offiziell berichteten Emissionen um den Faktor 60 unter den EMEP-Schätzungen der historischen Entwicklungen liegen, erweisen sich Letztere als erheblich zu hoch.

Insgesamt ist festzustellen, dass für die Schadstoffeinträge, insbesondere für die der letzten Jahre, eine überraschend gute Übereinstimmung zwischen Sedimentmessungen und Inventarschätzungen erzielt wurde. Die größten Unterschiede betreffen die historisch eingetragenen Schwermetallmengen, die mit außergewöhnlichen Einträgen und Unterschieden in den Akkumulationszeiträumen zumindest z.T. erklärt werden können.

5.6 UNSICHERHEITSFAKTOREN IN DER QUELLENERMITTLUNG VON UMWELTSCHADSTOFFEN

Quellstudien von Umweltschadstoffen müssen nicht immer eindeutige und plausible Ergebnisse liefern. Eine Reihe von Faktoren sind hier von Bedeutung:

Quellbeschreibungen. Um für Schadstoffbelastungen von Umweltproben deren Verursacher adäquat ermitteln zu können, wird eine detaillierte Beschreibung aller potentiellen Quellen und deren Muster benötigt. Manchmal ist unklar, ob alle Quellen tatsächlich bekannt sind und ob nicht wesentliche Emittenten fehlen[121]. So stellte sich z.B. im Rahmen der Sielhautstudie heraus, dass detaillierte Elementmuster einer Vielzahl von

[121] Hier werden z.B. biologische Dioxinquellen (Öberg et al. 1990) oder natürliche Verbrennungsprozesse „trace-chemistry of fire“ (Bumb et al. 1980) diskutiert.

Abwassereinleitern bisher nicht verfügbar waren und im Rahmen dieser Arbeiten erst bestimmt werden mussten. Auch beruhen die Quellbeschreibungen nicht selten auf wenigen Analysen. So wurden PCDD/Fs in PCP, einer der Hauptquellen von PCDD/Fs, bisher nur von Brunner (1990) und Santl et al. (1994) analysiert. Unklar bleibt in diesen Fällen, wie repräsentativ diese Proben sind, in welchem Umfang die Schadstoffmuster von den Produktionsbedingungen abhängen, wie einheitlich die Muster sind bzw. wie stark diese variieren können.

Musterveränderungen. Wenn die Schadstoffverteilung in der Umweltprobe mit potentiellen Quellen verglichen wird, wird i.d.R. vorausgesetzt, dass sich die Muster persistenter Schadstoffe während des Transports in der Umwelt nicht oder nur unwesentlich verändert haben. Dies sollte zwar für Umweltproben in direkter Quellnähe ohne wesentliche Phasenübergänge gelten, für Muster in Umweltproben nach Ferntransport kann dies allerdings nicht vorausgesetzt werden[122]. Folgende chemisch-physikalisch-biologischen Charakteristika bzw. Prozesse können hier relevant sein: Löslichkeit, Dampfdruck, Polarität, photolytische Reaktivität, Persistenz, biologische Abbauraten, Metabolisierung, Gas-Partikel-Verteilung, Adsorption und der Oktanol-Wasser-Koeffizient $\log K_{OW}$.

Je ähnlicher die Stoffeigenschaften der Verbindungen sind, deren Muster verglichen werden, desto weniger wahrscheinlich ist es, dass gravierende Musterverschiebungen auftreten. Daher ist es bei der Quellenermittlung von PCDD/Fs, PAKs und PCBs von Vorteil, die Einzelverbindungen auf die Summe der Verbindungen mit identischer Molekülmasse zu beziehen. Diese ähneln sich in ihren chemisch-physikalischen Eigenschaften stärker als die Verbindungen unterschiedlicher Molekülmasse.

Analysequalität. Ungenauigkeiten können auch bei der eigenen Analyse und der Zusammenstellung der Messwerte entstehen. Ein klassisches Problem ist die Behandlung von Werten unterhalb der Nachweisgrenze. Das Ersetzen durch den Wert 0 ist in der multivariaten Statistik nicht möglich, da die Messwerte i.d.R. logarithmisch transformiert werden. Alternativ kann die Nachweisgrenze, die halbe Nachweisgrenze oder eine anderweitige Schätzung vorgenommen werden. Auch können Störpeaks die Genauigkeit der Musterbestimmung der Umweltproben negativ beeinflussen. Trotz Berücksichtigung einer zweiten Cl-Massenspur können insbesondere in der GC-LRMS diese Effekte auftreten. Hohe Anforderungen sind an die Analysequalität und an Qualitätskontrollen zu stellen, um Quellstudien basierend auf Mustererkennungsverfahren adäquat durchführen zu können.

Datenhomogenität. Beim Vergleich von Quellen mit Umweltproben ist die Homogenität des Datensatzes wichtig. Inhomogenitäten können auf möglichen selektiven An- und Abreicherungen von Verbindungen während der Probenahme, Probenaufbereitung und Analyse beruhen. Auch können sich durch die Verwendung unterschiedlicher chromatografischer Säulen die Koelutionen verändern. Hier ist die Vergleichbarkeit der

[122] vgl. die Diskussion um das Verhältnis von Benzo(e)pyren zu Benzo(a)pyren und ihre Beeinflussung durch Transportprozesse in Abschnitt 4.2 auf S. 84f

Messdaten nicht vollständig gesichert. Dies ist insbesondere für den Fall relevant, wenn Messungen aus der Literatur in den eigenen Datensatz aufgenommen werden.

Letztlich kommt es immer zu einer Abwägung zwischen einem möglichst umfangreichen Datensatz, der aber ein übermäßiges Rauschen enthalten kann und einem stark eingeschränkten Datensatz, bei dem wesentliche Quellinformationen bereits herausgefiltert sein können. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der erste von beiden Ansätzen erfolgreich angewendet, bei dem allerdings eine rigide Qualitätskontrolle unabdingbare Voraussetzung ist.

5.7 AUSBLICK: WIE WEITER MIT QUELLSTUDIEN PERSISTENTER SCHADSTOFFE?

Für die zukünftige Forschung zu persistenten Schadstoffen und ihren Quellen sind folgende Trends zu erkennen:

Bindungsformen und Speziation. Eine wesentliche Voraussetzung, um Quellen von Schadstoffen adäquat identifizieren zu können, ist die Verfügbarkeit möglichst detaillierter Informationen über die Schadstoffzusammensetzung. Dies endete bisher meist auf der Ebene von Einzelverbindungen für organische Stoffe und von Elementen für anorganische Verbindungen. Bindungsformen und Speziation bieten weitere Möglichkeiten zur Differenzierung. In Abschnitt 3.2 auf S. 27 wurden hier z.B. Bleiisotope zur Quellenidentifizierung verwendet. Für organische und anorganische Schadstoffbelastungen wird zunehmend nach der Stärke der Bindung zur Matrix differenziert und ermittelt, wie leicht die Schadstoffe freigesetzt werden, z.B. in Form selektiver Extraktionen bzw. Aufschlüsse. Diese Information kann auch für Quellstudien genutzt werden. Neben deren Bestimmung in Umweltproben ist allerdings auch deren Charakterisierung für die jeweiligen Verursacher erforderlich.

Da dies z.T. in Richtung qualitativer Aspekte (z.B. geringe – hohe Verfügbarkeit bzw. niedriges – hohes Freisetzungspotential) geht und Fragen der adäquaten Berücksichtigung des Schadstofftransports und möglicher An- und Abreicherung relevant sind, könnten modellgestützte Systeme hier erforderlich werden.

Modellgestützte Quellenermittlung. Die übliche Vernachlässigung von Musterverschiebungen und -veränderungen zwischen Emission und Immission ist zwar für Schadstoffe mit ähnlichen chemisch-physikalischen Charakteristika eine adäquate Annahme, bei erheblichen Unterschieden im chemisch-physikalischen Verhalten wäre eine Berücksichtigung der Musterveränderungen von Vorteil. Neben der vereinfachten Abbildung dieser Prozesse „von Hand“ ist auch an die Integration von modellgestützten Systemen zu denken. Die Modelle von Mackay (1991) sowie Trapp und Matthies (1996) zum Verhalten von Schadstoffen in der Umwelt bieten hier gute Ansätze. Diese müssten mit chemometrischen Auswertesystemen und Musterdatenbanken gekoppelt werden. Hinsichtlich der Integration solcher Modellsysteme in Quellstudien basierend auf Mustererkennungsverfahren sind bisher keine Arbeiten bekannt.

Quantifizierung von Quellbeiträgen. Schwerpunkt der chemometrischen Quellstudien in der Wasserforschung waren bisher die Mustervergleiche. Erste Ansätze zur Quantifizierung von Quellbeiträgen wurden in dieser Arbeit verfolgt. Im Luftbereich werden diese Forschungsaktivitäten unter dem Stichwort „Receptor Modelling“ (Hopke 1991) zusammengefasst und erfolgreich angewendet. Die größere Variabilität der Quellmuster, die Musterveränderungen während des Transports und die komplexen Quellstrukturen erschweren allerdings die Umsetzung in der Wasserforschung. Die in den letzten Jahren entwickelten neuen Algorithmen und Programme (z.B. Positive Matrix Factorisation von Paatero und Tapper (1993), UNMIX von Henry (1997)) könnten auch für Quellstudien von Wassermatrices verstärkt eingesetzt werden und so auch in der Wasserforschung helfen, Quellbeiträge präziser als bisher zu quantifizieren.

Neue Umweltschadstoffe. Im Rahmen dieser Arbeit wurden Schadstoffe untersucht, die schon seit vielen Jahren erforscht werden und zu denen schon eine Vielzahl von Studien vorliegen. Da auch schon eine Reihe von Arbeiten zur Zusammensetzung der Quellmuster vorlagen, hat dies die Quellenzuordnung wesentlich erleichtert. In Zukunft werden allerdings auch andere Schadstoffe in den Vordergrund treten, die bisher nicht umfassend untersucht wurden und die über ähnliche human- und ökotoxikologische Risikopotentiale verfügen. Zu nennen sind hier:

- andere chlorierte Verbindungen: chlorierte Paraffine, polychlorierte Terphenyle, polychlorierte Naphthalene
- andere halogenierte Verbindungen: bromierte Flammschutzmittel
- metallorganische Verbindungen: zinnorganische Verbindungen
- persistente Metabolite: Methylsulfonyl-PCBs
- stereo-Isomere, Enantiomere
- persistente polare Verbindungen: Arzneimittelrückstände und ihre Metabolite

Auch hier werden Fragen der Verursacherermittlung und Quellenzuordnung in Zukunft gefragt sein. Eine wesentliche Basis bilden hier detaillierte Beschreibungen – möglichst auf der Ebene von Einzelverbindungen oder Verbindungsklassen – aller potentiellen Quellen und möglicher Musterveränderungen zwischen Emission und Immission. Dann werden die Methoden der Quellenermittlung auf diese neuen Problemstellungen auch in Zukunft erfolgreich angewendet werden können.

6 ZUSAMMENFASSUNG UND SCHLUßFOLGERUNGEN

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Schadstoffquellen in kommunalen Abwässern und Sedimenten mit Hilfe verschiedener Mustererkennungsverfahren identifiziert.

Kommunale Abwässer und Sielhäute

Mehr als 400 Proben von Sielhäuten wurden im Kanalnetz verschiedener deutscher Städte entnommen. Die Proben stammen im unmittelbaren Einflussbereich von industriellen, gewerblichen und häuslichen Abwassereinleitungen und wurden auf eine Vielzahl von Elementen, Bleiisotope sowie Dioxine und Furane analysiert.

Elemente. Insgesamt wurden 373 Sielhautproben auf 66 Elemente mittels ICP-MS und ICP-OES analysiert. Die Elementgehalte der Sielhäute schwankte über mehrere Zehnerpotenzen, insbesondere für Elemente die vorwiegend aus anthropogenen Quellen stammen. Unerwartet hohe Schadstoffbelastungen waren in Kfz-Werkstätten zu finden. Hier trat eine Vielzahl von Elementen in signifikant höheren Gehalten als in den übrigen Einleitergruppen auf. Für einige Elemente waren die Gehalte im Abstrom von Galvaniken, metallbe- und –verarbeitenden Betrieben und Wäschereien signifikant erhöht. Sielhäute aus Wohngebieten und von Grauwasseranlagen zeigten für eine Vielzahl von Elementen niedrigere Gehalte.

Für die Ermittlung des **anthropogenen bzw. industriellen Einflusses** auf die Elementgehalte der Sielhäute wurde die Anreicherung im Vergleich zur Erdkruste, die Schiefe der Verteilung und die Variation der Werte ermittelt. Dabei zeigten sich neben den in der KlärSV reglementierten Schwermetallen auch für die Halogene Brom und Jod sowie eine Reihe von Edel- und Platinmetallen erhebliche anthropogene bzw. industrielle Einflüsse. Für zukünftige Vorgaben hinsichtlich Schadstoffgehalten in Abwasser und Klärschlämmen sollten diese daher verstärkt Berücksichtigung finden. Ausgehend von den Elementverteilungen in den Sielhautproben konnten Hintergrundgehalte und Eingreifwerte für die Elementbelastung von Sielhäuten ermittelt werden.

Die **Korrelationsanalyse** der Elemente zeigte, dass insbesondere die vorwiegend durch anthropogene Quellen beeinflussten Schwermetalle signifikant positiv mit einer Vielzahl anderer Elemente korreliert sind. Die Halogene Fluor, Brom und Jod sind vergleichsweise nur mit wenigen Elementen signifikant korreliert, was auf grundsätzlich andere Quellen oder ein anderes Verhalten im Abwasser bzw. in der Sielhaut hinweist.

Mit Hilfe der **Faktorenanalyse** wurden eine Reihe wesentlicher Quelltypen als Faktoren extrahiert. Im Faktor 1 erscheinen viele der bereits reglementierten Schwermetalle. Faktor 2 umfasst einige ubiquitäre geogene Elemente. Als weitere Faktoren werden Rubidium und Cäsium als Faktor 3 sowie Calcium und Strontium als Faktor 4 zusammengefasst. Später erscheinen noch Quecksilber und die Halogene (Br, I) als eigene Faktoren. Damit war es möglich wesentliche Einflussfaktoren entsprechend ihrer Herkunft bzw. ihres

Verhaltens im Abwasser zu trennen. Eine Trennung nach Einleitergruppen bzw. Branchen war aufgrund der starken Schwankungen der Muster für die einzelnen Einleitergruppen nicht möglich.

Bei der Anwendung der **Clusteranalyse** konnten folgende vier wesentlichen Cluster identifiziert werden: Cluster 1: ubiquitäre, hauptsächlich geogene Elemente, Cluster 2: Lanthanoide, Cluster 3: Elemente mit gewissen anthropogenen Einflüssen, Cluster 4: stark anthropogen beeinflusste Schwermetalle. Die korrespondierende Clusteranalyse der Proben zeigte keine klare Clusterbildung entsprechend der Einleitergruppen, vielmehr war eine weitgehende Vermischung der Einleitergruppen festzustellen. Dies bedeutet, dass die Muster der verschiedenen Einleitergruppen sich stark überlappen und nur schwierig voneinander zu trennen sind.

Mit Hilfe von Mittelwertvergleichen und **Diskriminanzanalysen** wurden charakteristische Unterschiede zwischen den jeweiligen Einleitern bzw. Quellbereichen herausgearbeitet. Eine zuverlässige Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit war oft nur für Diskriminanzanalysen mit allen Variablen möglich. Eine befriedigende Trennung der Gruppenzugehörigkeit gelang für die Quellbereiche Elektrotechnik/Elektronik, Kfz-Werkstätten und Wäschereien. Für eine Reihe von Quellbereiche konnten Indikatorelemente identifiziert werden, die bei einer erhöhten Belastung auf mögliche Einleiter hinweisen. Dies waren Europium und Cer für Elektrotechnik-/Elektronikbetriebe, Antimon, Zirconium, Hafnium, Molybdän und Germanium für Kfz-Werkstätten sowie Wolfram, Platin, Gold und Phosphor für Wäschereien.

Beim Vergleich der Ergebnisse der Mustererkennungsverfahren mit **Inventaren** konnte gezeigt werden, dass für einige Schwermetalle beide Methoden eine ähnliche Gewichtung zwischen Punktquellen und diffusen Quellen festzustellen ist. Während die Cd- und Cr-Belastung in kommunalen Abwässern stark von Punktquellen bestimmt wird, ist dies für Cu, Pb und Zn weniger der Fall.

Bleiisotope. Abhängig vom geologischen Standort wurden für Bleivorkommen unterschiedliche Isotopenzusammensetzungen festgestellt. Bei der Identifizierung von Bleiquellen in der Umwelt kann dies genutzt werden. Praecambrium-Bleierze aus Australien mit jeweils hohen $^{204}Pb/^{206}Pb$- $^{207}Pb/^{206}Pb$- und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen gelten als Hauptverursacher für die Verschiebung der Bleiisotopenverhältnisse anthropogen belasteter Proben. Die Isotopenverteilungen zeigten mit Massenanteilen von 1,365 ± 0,016 % für ^{204}Pb, 24,83 ± 0,23 % für ^{206}Pb, 21,49 ± 0,16 % für ^{207}Pb und 52,32 ± 0,14 % für ^{208}Pb höhere Anteile von ^{206}Pb und niedrige Anteile von ^{207}Pb als die durchschnittliche Isotopenverteilung der Erdkruste.

Zwischen dem Bleigehalt in der Sielhaut und dem Isotopenverhältnis $^{207}Pb/^{206}Pb$ bestand ein signifikanter Zusammenhang. Für niedrige Bleibelastungen (unter 50 mg Pb/kg TM) lag das Isotopenverhältnis bei 0,85 – 0,87 und für hohe Bleibelastungen (über 500 mg Pb/kg TM) lag das Isotopenverhältnis üblicherweise bei 0,86 – 0,89. Ein logarithmisches

und ein exponentielles Regressionsmodell bestätigten hier einen signifikant positiven Zusammenhang.

Als Einzelproben mit außergewöhnlichen Bleiisotopenverhältnissen wurde eine Probe im Abstrom einer Forschungseinrichtung mit jeweils niedrigen $^{204}Pb/^{206}Pb$-, $^{207}Pb/^{206}Pb$- und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen sowie drei Proben im Abstrom eines Elektrotechnik-/ Elektronikbetriebs, einer Galvanik und eines Regenwassereinlaufs mit jeweils hohen $^{204}Pb/^{206}Pb$, $^{207}Pb/^{206}Pb$ und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen gefunden. Für alle Sielhautproben zeigte sich ein zunehmender anthropogener Einfluss von den Proben mit niedrigen $^{204}Pb/^{206}Pb$, $^{207}Pb/^{206}Pb$ und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen hin zu Proben mit hohen $^{204}Pb/^{206}Pb$, $^{207}Pb/^{206}Pb$ und $^{208}Pb/^{206}Pb$-Isotopenverhältnissen.

Dioxine und Furane. In den 71 analysierten Sielhautproben lagen die PCDD/F-Gehalte zwischen 7 und 550.000 ng PCDD/F / kg TM, bzw. 0,01 – 1500 ng I-TEq / kg TM. In nur 3 von 71 Proben waren die PCDD/F-Gehalte über dem Grenzwert der KlärSV von 100 ng I-TEq / kg TM. Ein Großteil der Proben hatte PCDD/F-Belastungen unter 10 µg PCDD/F / kg TM bzw. 20 ng I-TEq / kg TM. Damit liegen diese Gehalte deutlich unter früher berichteten Werten.

Das Bild der **PCDD/F-Homologenprofile** wird von hohen Anteilen höherchlorierter PCDD-Homologen, insbesondere OCDD, dominiert. Für andere Homologen beträgt der jeweilige Anteil an der Summe PCDD/F meist unter 10 %. In mehreren Einzelproben wiesen untypische Homologenprofile auf außergewöhnliche PCDD/F-Einträge hin.

In den **Isomerenmustern** sind charakteristische Isomerenverteilungen zu finden, die für einen Großteil der untersuchten Proben sehr ähnlich sind. Beim Vergleich der typischen Isomerenmuster der Sielhautproben mit denen von potentiellen Quellen wurde der wesentliche Einfluss der Verbrennung auf TeCDD, TeCDF, PeCDF und HxCDF und von PCP auf HpCDD deutlich. Damit ist für die PCDD/F-Gehalte PCP die wichtigste Quelle, während für die toxischen Kongenere etwa beide Quellgruppen mit ähnlich großen Anteilen zur Belastung in den Sielhäuten beitragen. Für Sielhautproben mit außergewöhnlichen Isomerenmustern konnten vier Proben PCP, zwei Proben PCB und eine Probe der Verbrennung als wesentliche PCDD/F-Quelle zugeordnet werden. Für mehrere Sielhautproben mit ungewöhnlichen Mustern im Abstrom von Wäschereien und textilverarbeitenden Betrieben war keine eindeutige Quellenidentifizierung möglich.

Von den toxischen **2,3,7,8-substituierten Kongeneren** trugen 1,2,3,4,6,7,8-HpCDD, OCDD und 2,3,4,7,8-PeCDF am meisten zur gesamten I-TEq-Belastung bei. Die PCDD/F-Quellen PCP und Verbrennung waren etwa in gleichem Maße an der I-TEq-Belastung beteiligt.

Mit Hilfe von **Indikatorkongeneren**, die für einzelne PCDD/F-Quellen charakteristisch sind, wurde bestätigt, dass niederchlorierte Homologe stärker von der Verbrennung und höherchlorierte Homologe stärker von PCP beeinflusst sind.

Die **Korrelationsanalyse** der quellspezifischen Indikatorkongenere zeigte, dass Indikatorkongenere derselben Quelle häufiger signifikant positiv korreliert sind, als Indikatorkongenere verschiedener Quellen. Für Indikatorkongenere derselben Quelle aus unterschiedlichen Verbindungsgruppen bzw. mit stark abweichenden Chlorierungsgraden konnte häufiger aber auch keine signifikante Korrelation nachgewiesen werden.

Mit der **Clusteranalyse** wurden abhängig von der angewandten Datenvorbehandlung jeweils andere Charakteristika herausgearbeitet. Die Clusteranalyse basierend auf dem Isomerenmuster aller Kongenere erlaubte die schwerpunktmäßige Trennung wesentlicher Quellgruppen für die einzelnen Proben. Die Clusteranalyse des Isomerenmusters der Indikatorkongenere bestätigte die Trennung der Indikatorkongenere entsprechend der Quellzuordnung. Mit Hilfe des Datensatzes basierend auf den absoluten PCDD/F-Gehalten wurden die Proben entsprechend der Belastungshöhe strukturiert.

Der Einsatz der **Faktorenanalyse** erwies sich besonders mit den Isomerenmustern und der Auswahl der Indikatorkongenere als hilfreich. Wesentliche Faktoren konnten auf PCP, andere chemische Quellen und Verbrennung zurückgeführt werden. Beim Vergleich mit dem Faktorplot war erkennbar, welche Proben schwerpunktmäßig von welchen Quellen beeinflusst wurden.

Insgesamt konnte mit Hilfe der chemometrischen Verfahren gezeigt werden, dass der Großteil der Proben Einflüsse sowohl von PCP als auch von der Verbrennung auf die PCDD/F-Belastung erkennen lassen. Bei den niederchlorierten Homologen, insbesondere der Furane, wird der Einfluss der Verbrennungsquellen und bei höherchlorierten Homologen, insbesondere der Dioxine, der Einfluss von PCP deutlich. Für Sielhautproben mit hohen PCDD/F-Gehalten und außergewöhnlichen Mustern konnte meist die PCDD/F-Belastungsquelle identifiziert werden. Für mehrere Sielhautproben im Abstrom von Wäschereien und textilverarbeitenden Betrieben war eine unbekannte PCDD/F-Quelle mit Ähnlichkeiten zu PCP verantwortlich.

Sedimente

An fünf Probennahmeorten mit unterschiedlichen Quelleinflüssen wurden Sedimentkerne entnommen, auf persistente organische Schadstoffe (POPs) und Schwermetalle analysiert und deren Quellen mit Hilfe multivariater statistischer Methoden ermittelt. Für die beprobten Sedimentkerne waren folgende Quelleinflüsse bekannt: Arkonabecken AK (in der Ostsee, anthropogene Einflüsse in großer Entfernung), Bugsinsee BS (im Biosphärenreservat, nur atmosphärische Einträge), Quenzsee QS (Stahlindustrie), Teltowkanal TK (chemische Industrie), Weißer See WS (mitten in Berlin gelegen, vielfältige anthropogene Einträge).

Dioxine und Furane. Die PCDD/F-Summengehalte lagen zwischen 20 ng/kg TM in den untersten beprobten Schichten und über 10.000 ng/kg TM in einzelnen oberflächennahen Proben. Die korrespondierenden I-TEq-Gehalte betrugen zwischen 0,03 ng I-TEq/kg TM und 100 ng I-TEq/kg TM. Die PCDD/F-Homologenprofile waren häufig dominiert von

OCDD, einige Proben zeigten allerdings hohe Gehalte von PCDF-Homologen. Mit Hilfe der PCDD/F-Isomerenmuster konnten die Verbrennung und PCP als wesentliche Quellen ermittelt werden. Einzelproben zeigten Variationen im Isomerenmuster mit abweichendem Quellbezug. Mit Hilfe charakteristischer PCDD/F-Isomerenquotienten wurden die Quelleinflüsse für die Sedimentkerne verglichen.

Grundsätzlich nahm der Verbrennungsanteil mit der Tiefe zu. In den QS-, TK- und z.T. WS-Sedimentkernen war ein wesentlicher Einfluss von chlororganischen Quellen, insbesondere PCP erkennbar. In den AK- und BS-Proben überwiegte der Eintrag thermischer Quellen.

Mit Hilfe der **Clusteranalyse** basierend auf den Isomerenmustern erfolgte eine Gruppierung z.T. nach Probennahmeort und z.T. nach Schichtung. Proben mit niedrigen Gehalten bildeten ein Cluster, die übrigen drei Cluster waren unterschiedlichen Probennahmeorten zuzuordnen. Das Cluster der Proben mit niedrigen PCDD/F-Gehalten und das Cluster der AK-Proben waren wesentlich von Verbrennungsquellen, das Cluster der TK-Proben und das Cluster der QS- und WS-Proben von chemischen Quellen beeinflusst. In der **Faktorenanalyse** wurden die Faktoren 1 (31 % der Varianz) als PCP, Faktor 2 (17 % der Varianz) als Verbrennung, Faktor 3 (12 % der Varianz) als chemische Quelle und Faktor 4 (8 % der Varianz) als Verbrennung nach Ferntransport identifiziert. Beim **Vergleich der Quellenermittlungsmethoden** waren immer PCP und Verbrennung die bedeutendsten PCDD/F-Quellen, ihre relative Bedeutung variierte z.T. für die eingesetzten Methoden.

PAKs. Polyzyklische aromatische Verbindungen (PAKs) wurden in den Sedimenten in Gehalten zwischen 560 und 59.000 ng Σ PAK/g TM gemessen. Die höchsten Gehalte waren im WS-Sedimentkern anzutreffen, die niedrigsten in AK- und BS-Proben. Die PAK-Molekülmassenverteilung zeigte die Überlagerung von niedermolekularen Verbindungen (insbesondere Molekülmasse 192) aus petrogenen Einträgen und von höhermolekularen Verbindungen (insbesondere Molekülmasse 252) mit Diagenese- und Verbrennungsprodukten. Ausgehend von den quellspezifischen Quotienten waren für die AK-Proben Einflüsse von photolytischen Prozessen, für die BS-Proben Diageneseprodukte und für die QS-Proben petrogene Einträge erkennbar.

Die **PAK-Isomerenverteilungen** wiesen auf Verbrennungsquellen als wesentliche PAK-Quellen hin, während hier Ölkontaminationen als weniger wichtig erschienen. Die Veränderung von PAK-Massenanteilen über die Tiefe zeigte, dass die Bedeutung von Diagenese und Ölkontaminationen in den letzten Jahrzehnten abgenommen hat, während der von Verbrennung eher zugenommen hat.

Die **Clusteranalyse** der relativen PAK-Gehalte führte zu Clustern von Proben mit Diageneseprodukten und photostabilen Verbrennungsprodukten (AK, BS > 12 cm), mit photosensitiven Verbrennungsprodukten (BS < 12 cm, WS, TK < 10 cm) sowie mit Ölkontaminanten (QS, TK > 10 cm). In der **Faktorenanalyse** wurde für Faktor 1 (37 % der Varianz) zwischen photosensitiven Verbrennungsprodukten und Diageneseprodukten, für Faktor 2

(26 % der Varianz) zwischen Ölkontamination und photostabilen Verbrennungsprodukten und für Faktor 3 (9 % der Varianz) hinsichtlich Ölkontamination differenziert.

Unter Verwendung **verschiedener Quellenermittlungsverfahren** konnte damit zwischen den wesentlichen PAK-Quellen unterschieden werden. In den AK-Proben war ein überdurchschnittlich großer Anteil photostabiler Verbrennungsprodukte, in den BS-Proben von Diageneseprodukten, in den QS-Proben von Ölkontaminanten und in den TK- und WS-Proben von photosensitiven Verbrennungsprodukten erkennbar. Beim Vergleich der Quellenermittlungsmethoden waren Unterschiede in der Quellenzuordnung zu sehen, die aber auf methodische Hintergründe zurückgeführt werden konnten.

PCBs. Die PCB-Gesamtgehalte lagen in den Sedimentkernen zwischen 0,6 und 1400 ng PCB/g TM, im BS-Sedimentkern allerdings meist unterhalb der Nachweisgrenze. Die höchsten Gehalte zeigte der Weißer See, niedrige Gehalte das Arkonabecken. Im Homologenprofil dominierte meist das HxCB-Homolog. Die maximalen Gehalte wurden häufig nicht in der obersten Schicht sondern in 10 - 65 cm Tiefe gemessen. In unteren Schichten der WS- und QS-Proben konnte die anaerobe mikrobielle PCB-Dechlorierung anhand des Quotienten aus meta+para/ortho-chlorierten Kongeneren nachgewiesen werden. Das HxCB-Kongener #149 war in diesen Proben überdurchschnittlich vertreten. Mit Hilfe der Clusteranalyse basierend auf den Kongenerenverteilungen wurden Gruppen entsprechend der Homologenverteilung gebildet, die Isomerenmuster variierten nur wenig. Dabei zeigte sich, dass PCBs hauptsächlich über Gewässer und nur wenig über die Atmosphäre transportiert werden. Mit der Entfernung zu anthropogenen Einflüssen nahmen die PCB-Gehalte in den untersuchten Sedimenten stark ab.

Pestizide. In den Sedimentproben wurden folgende Pestizide und deren Metabolite analysiert: DDT, Hexachlorcyclohexan (HCH) und Chlorbenzene (CBz). DDT und seine Metabolite (**DDX**) wurden in Gehalten zwischen n.n. und 4200 ng DDX/g TM gemessen. Die höchsten Gehalte wurden im Teltowkanal festgestellt, die niedrigsten im Arkonabecken. 4,4'-DDD und 4,4'-DDE waren die DDT-Metabolite mit den höchsten Gehalten. Nur im Teltowkanal, der im direkten Einflussbereich einer chemischen Fabrik liegt, konnte nicht-metabolisiertes DDT nachgewiesen werden.

Tetra- bis hexachlorierte **Chlorbenzene** waren in allen Sedimentkernen mit bis zu 15 ng CBz/g TM nachweisbar. Die höchsten Gehalte wurden im Teltowkanal, die niedrigsten Gehalte im Arkonabecken gemessen. Die Belastungsspitzen unterhalb der Oberfläche für die QS-, TK- und WS-Proben wiesen auf abnehmende CBz-Einträge in den letzten Jahren hin. HCB war die Verbindung mit den höchsten Gehalten, gefolgt von PeCBz und den TeCBz-Isomeren.

HCH war nur in den QS- und TK-Proben in Gehalten bis 390 ng HCH/g TM nachweisbar. Ähnlich wie in technischem HCH betrug der γ-HCH-Anteil nur 6 - 17% der HCH-Gesamt-

gehalte. Hinweise auf einen anaeroben Abbau von β-HCH konnten im TK-Sedimentkern gefunden werden.

In der **Clusteranalyse** aller analysierten Pestizide bildeten sich Gruppen von Proben mit niedrigen Gehalten (AK; untere Schichten von BS, QS und WS), mittlere Gehalte (BS, WS) und hohen Gehalten (TK, teilweise QS). In den Sedimentkernen erwiesen sich lokale Pestizidanwendungen und –emissionen als wesentlich für die Höhe der Pestizidgehalte. Im fern von anthropogenen Einflüssen liegenden Sedimentkern des Arkonabeckens wurden durchweg niedrige Pestizidgehalte gemessen. Musterveränderungen konnten in Form aerober und anaerober Metabolisierungsprozesse nachgewiesen werden.

Schwermetalle. Die höchsten Schwermetallgehalte wurden im QS-Sedimentkern gemessen. Hohe Gehalte von Eisen, Blei und Zink wiesen auf das benachbarte Stahlwerk als Quelle hin. Im Sedimentkern des Weißer Sees wurden ebenfalls hohe Schwermetallgehalte festgestellt, die auf Einleitungen oder unspezifische atmosphärische Einträge hindeuteten. Im Sedimentkern des Bugsinsees mit ansonsten niedrigen Schwermetallgehalten war eine Kontaminationsspitze in 6 - 12 cm Tiefe erkennbar, die möglicherweise Kriegseinwirkungen erkennen lässt. Im Sedimentkern des Arkonabeckens fanden sich durchweg niedrige Schwermetallgehalte, Veränderungen der Gehalte über die Tiefe waren hier vergleichsweise gering. Im Sedimentkern des Teltowkanals wurden mittlere Schwermetallgehalte mit niedrigen Gehalten unterhalb von 60 cm gemessen. Die Clusteranalyse der absoluten Gehalte gruppierte die Proben entsprechend ihrer Schwermetallgehalte und die Schwermetalle entsprechend dem Grad der anthropogenen Beeinflussung.

Übersicht aller Schadstoffe. In der Übersicht aller analysierten Schadstoffe war das breite Spektrum der Schadstoffgehalte, der Eintragsraten und der pro Fläche abgelagerten Schadstoffmengen erkennbar. Während im BS-Sedimentkern oft die niedrigsten Kontaminationen und im AK-Sedimentkern ähnlich niedrige Einträge festzustellen waren, lag die Belastung im QS-, TK- und WS-Sedimentkern i.d.R. wesentlich höher. Auf der Basis aller analysierten Schadstoffe konnten gemeinsame Quellgruppen identifiziert werden und wiesen damit auf vier getrennte schadstoffübergreifende Quellgruppen hin. Die vier PAK-Quellgruppen waren signifikant mit unterschiedlichen PCDD/F-Kongeneren korreliert. Dabei konnten die Verbrennungs-PAKs z.T. dem 2,3- und dem 2,6-Chlorphenol geprägten PCDD/F-Verbrennungsmuster zugeordnet werden. Die PCDD/F-Kongenere von chemischen Quellen waren signifikant positiv korreliert mit PAK-Ölkontaminanten und die PCDD/F-Hintergrundkongenere mit Diagenese-PAKs.

Beim Vergleich der **Korrelationen** zwischen den vier PAK-Quellgruppen und den analysierten Elementen fiel auf, dass das als Katalysator für die Dioxinentstehung bekannte Element Kupfer sowie Blei mit 2,6-Chlorphenol geprägten PCDD/F-Verbrennungsquellen signifikant korreliert war. Beim Vergleich der Korrelationen zwischen PCBs und Pestiziden auf der einen und PCDD/Fs auf der anderen Seite zeigte sich, dass

eine Reihe von PCDD/F-Indikatorkongeneren für eine PCB-Kontamination signifikant mit den PCB-Gehalten korreliert sind, während nur wenige PCDD/F-Indikatorkongenere von HCH-Gehalten signifikant mit HCH korreliert sind. Innerhalb der Pestizide waren signifikant positive Korrelationen für DDT-Metabolite des jeweiligen Abbaupfades zu erkennen.

Auch mit Hilfe der **Clusteranalyse** bestätigte sich, dass die PAKs aus der Verbrennungsquellgruppe „Verkehr / gasförmige + flüssige Brennstoffe / geringe Staubfracht / mit Ferntransport“ für die Dioxine und Furane mit 2,6-Chlorphenol geprägter Verbrennung zusammen auftreten bzw. sich ähnlich verhalten. Die PAKs der Quellgruppe „Kohleverbrennung / feste Brennstoffe / hohe Staubfracht / ohne Ferntransport“ traten zusammen mit einigen Schwermetallen und einzelnen PCDD/F-Kongeneren der 2,6-Chlorphenol geprägten Verbrennung auf.

Damit konnte auch mit Hilfe der Korrelations- und Clusteranalyse bestätigt werden, dass vier schadstoffübergreifende Quellgruppen auftreten: zwei unterschiedliche Verbrennungsquellgruppen, eine chemische Quelle und eine Hintergrundquelle.

Atmosphärische Einträge. Beim Vergleich der Schadstoffeintragsraten des nur über die Atmosphäre beeinflussten Bugsinsee mit dem deutschen Inventar für atmosphärische Emissionen waren für die letzten Jahre sowohl für organische als auch anorganische Schadstoffe große Ähnlichkeiten festzustellen. Beim Vergleich der historischen Emissionen mit den in diesem Sediment abgelagerten Schadstoffmengen fiel auf, dass Schadstoffe, insbesondere Schwermetalle, in wesentlich größeren Mengen dort abgelagert waren als in den letzten Jahrzehnten emittiert wurden. Dies wies auf hohe Schadstoffemissionen in der Vergangenheit hin.

Insgesamt wurden in dieser Arbeit eine Vielzahl von Mustererkennungsverfahren auch unter Verwendung der multivariaten Statistik erfolgreich eingesetzt. Dabei wurde eine nicht immer identische Quellenzuordnung erzielt, aber meist zeigten verschiedene Methoden ähnliche Ergebnisse. Für das kommunale Abwasser konnten charakteristische Muster mit Indikatorelementen für eine Reihe von Branchen ermittelt werden. Für die Sedimente konnten mehrere grundlegende Quellen identifiziert werden, die schadstoffübergreifend wirken. Somit konnten mit dieser Arbeit multivariate Quellenermittlungsmethoden für einige persistente Schadstoffe im Kontext von Wassermatrices erfolgreich angewendet und weiterentwickelt werden. Sie stehen damit einer breiteren Verwendung für andere Zusammenhänge und Anwendungsfälle zur Verfügung.

7 MATERIAL UND METHODEN

Im Rahmen dieser Arbeit wurden Proben in Abwasserkanälen, überwiegend Sielhäute, und Sedimente an einer Reihe von Probenahmeorten entnommen, auf persistente organische und anorganische Schadstoffe (POPs, PIPs) analysiert und mit statistischen Methoden umfassend ausgewertet. Die Probenahmetechniken und –orte der Sielhäute werden in Abschnitt 7.1 und der Sedimente in Abschnitt 7.2 zusammengefasst. Die organischen und anorganischen Analyseverfahren werden in Abschnitt 7.3 im Detail erläutert. Abschnitt 7.4 gibt Auskunft darüber, wie die Messergebnisse aufbereitet wurden und welche statistischen Methoden mit welchem Hintergrund angewendet wurden.

7.1 PROBENAHME UND –AUFBEREITUNG DER SIELHÄUTE

Im Rahmen dieser Arbeit wurden insgesamt 468 Proben von Sielhäuten, Abwässern und Klärschlämmen in verschiedenen deutschen Städten entnommen. Die überwiegende Zahl der Proben waren Sielhäute.

In Absprache mit der örtlichen Stadtentwässerung, dem jeweiligen Abwasserverband bzw. Kläranlagenbetreiber wurden Probenahmeorte möglichst direkt im Abstrom einer industriellen, gewerblichen oder häuslichen Einleitung entnommen. I.d.R. waren die Probenahmeorte so gewählt, dass der beprobte Kanalabschnitt allein oder überwiegend von einem Einleiter beeinflusst war, d.h. oft handelte es sich um Endhalterungen. Wenn mehrere Einleiter im jeweiligen Kanalabschnitt einleiteten, wurden diese als Misch-abwasser deklariert. Die Sielhäute wurden einem Herkunftsbereich bzw. einer Branche zugeordnet und mit dem in Tabelle 46 genannten Kürzel versehen.

Unter Sielhaut wird die biologische Matrix verstanden, die sich aus Abscheidungen des Abwassers bildet und sich am Kanalrohr anlagert. Die Sielhautproben wurden im Bereich der Wasserwechselzone, der Großteil unter der Oberfläche des fließenden Abwassers entnommen (vgl. Bild 58). Dabei wurden eine filtrierende Halbmaske (3M 8835) zur Minderung des Risikos von Tröpfcheninfektionen sowie Latexhandschuhe verwendet. Auch bei der Probenaufbereitung wurden entsprechende Sicherheitsmaßnahmen getroffen.

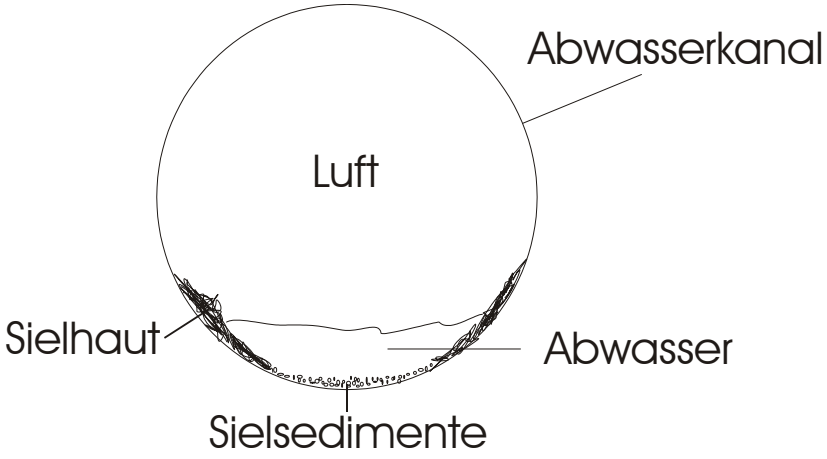


Bild 58 Schema des Querschnitts eines Abwasserkanals

Tabelle 46 Herkunftsbereiche der Sielhautproben und ihre jeweiligen Abkürzungen

Abkürzung	Bezeichnung	Abkürzung	Bezeichnung
AB	Abfallbehandlung	KS	Klebstoffe
AU	Automobilindustrie	KT	Komposttoilette
BA	Baustoffe	KU	Kupferverarbeitung
BR	Brauerei	KÜ	(Groß-)Küche
BT	Batterienfertigung	KV	Kunststoffverarbeitung
BW	Bundeswehr	KW	Kfz-Werkstatt, Waschanlage
CH	Chemische Industrie	LA	Lackherstellung, -verarbeitung
CR	Chemische Reinigung	LP	Leiterplatten
DA	Dachablauf	ME	Metallbe- und -verarbeitung
DL	Dentallabor	KS	Klebstoffe
DP	Deponie	MI	Mischabwasser
DR	Druckerei	NA	Nahrungsmittelindustrie
EL	Elektrotechnik, Elektronik	PA	Papierverarbeitung
FH	Flughafen	PH	Pharma
FL	Fleischverarbeitung	PW	Pumpwerk
FO	Foto	RE	Regenwasser
FR	Forschung	RF	Reifenherstellung
GE	Gerberei	SR	Straßenablauf
GG	Gewerbegebiet	SW	Schwimmbad
GR	Grauwasser	TA	Tankstelle
GV	Galvanik	TR	Trinkwasseraufbereitung
HA	Hafen	TX	Textilreinigung, -verarbeitung
HL	Halbleiter	VB	Verkehrsbetrieb
HZ	Holzverarbeitung, Spanplatten	WÄ	Wäscherei
KH	Krankenhaus	WB	Wohnbebauung
KL	Klärschlamm aus Kläranlage	WK	Weinkellerei
KM	Kosmetik	WR	Wasserreinhaltung
KO	Kompostierung	X	Verschiedenes
KR	Kraftwerk		

Die Sielhaut wurde mit einem Polyethylen (PE)-Schaber vom Kanalrohr abgeschabt und in eine PE-Probenflasche der Größe 100 – 500 mL für anorganische Analysen bzw. in eine gereinigte Glasflasche für organische Analysen gegeben. Die befüllten Probeflaschen wurden gekühlt transportiert und bis zur Probenaufbereitung im Labor bei – 18 °C gelagert. Das Probengewicht der Sielhäute betrug meist zwischen 10 - 100 g Feuchtgewicht.

7.2 PROBENNAHME UND –AUFBEREITUNG DER SEDIMENTE[123]

Die einzelnen Probennahmeorte wurden so gewählt, dass sie unterschiedliche Kontaminationslevel und unterschiedliche Gewässertypen repräsentieren. Das Arkonabecken (AK) repräsentiert den abgelegenen marinen Standort. Der Bugsinsee (BS) liegt im Biosphären-Reservat Schorfheide, verfügt über keinen oberflächlichen Zufluss und ist damit nur von Deposition beeinflusst. Der Quenzsee (QS) liegt in der Industriestadt Brandenburg. Der Teltowkanal (TK) liegt im Bereich der urban-industriellen Zone von Berlin. Der Weißer See (WS) ist ein inzwischen isolierter See mitten im Stadtgebiet von Berlin. In Bild 59 sind die Probenahmeorte in Nord-Ost-Deutschland lokalisiert.

Bild 59 Lokalisierung der Probenahmeorte

Im Folgenden sind die Probenahmeorte und die angewendeten Probenahmetechniken zusammengestellt:

- Probennahmelokalität: Arkonabecken (Background) (AK)

Koordinaten: 55,00°N; 13,46°E

Wassertiefe: 46,60 m

Probennahmemethode: Kolbenlot (Rumohr); Länge: 52,5 cm

Datum: 4/1996

Probennahme: IOW Rostock

[123] In Anlehnung an: Ricking und Pachur (1999)

Kernbeschreibung: Mudde, homogen, ungeschichtet; Farbe: sehr dunkelgrau bis schwarz (10YR2/1-3/1)

- Probennahmelokalität: Bugsinsee, Biosphärenreservat Schorfheide; Background-gebiet (BS)

Koordinaten: 52,99 °N; 13,84°E

Wassertiefe: 7,10 m

Probennahmemethode: 4 Kerne nach Eijkelkamp, Länge: je 40 cm, 5 m Kreisdurchmesser

Datum: 2/1996

Probennahme: FU Berlin, GEOLAB

Kernbeschreibung: Mudde, homogen, ungeschichtet; Farbe: schwarz (10YR2/1) bis dunkelgrün (5Y3/2).

- Probennahmelokalität: Quenzsee am Silokanal, Stadt Brandenburg; Stahlwerk und Industrie (QS)

Koordinaten: 52,41°N; 12,48°E

Wassertiefe: 2,00 m

Probennahmemethode: Gefrierkern nach Linde; Länge: 275 cm

Datum: 6/1996

Probennahme: FU Berlin, GEOLAB

Kernbeschreibung: Mudde, homogen, ungeschichtet; Farbe: sehr dunkelgrau bis schwarz (10YR2/1-3/1); ab 223 cm kalkhaltig.

- Probennahmelokalität: Teltowkanal, Berlin-Chemie, Betonplattenwerk Grünau (TK)

Koordinaten: 52,43°N; 13,58°E

Wassertiefe: 1,50 m

Probennahmemethode: Gefrierkern nach Linde; Länge: 100 cm

Datum: 6/1995

Probennahme: FU Berlin, GEOLAB

Kernbeschreibung: Mudde, homogen, ungeschichtet; Farbe: sehr dunkelgrau bis schwarz (10YR2/1-3/1); ab 60 cm sandig, mit Muschelschill ab 85 cm Tiefe.

- Probennahmelokalität: Weißer See, Berlin; keine direkten Einleiter (WS)

Koordinaten: 52,55°N; 13,43°E

Wassertiefe: 7,80 m (Kern WS 2)

Probennahmemethode: CO_2-Sonde; Länge 100 cm

Datum: 2/1996 und mehrere Kampagnen 1997/1998

Probennahme: FU Berlin, GEOLAB

Kernbeschreibung: (Kern WS2) 132 m vom Ufer entfernt; 0-65 cm leicht sandhaltige Mudde, sehr dunkelgrau bis schwarz (10YR2/1-3/1); 18-22 cm, 37-45 cm und 61 - 65 cm eng gescharte helle Zwischenlagen; 65-80 cm Mudde mit braunen Schlieren, optisch homogen; 80-100 cm Mudde, braun (10YR2/2-3/4), optisch homogen.

Die Farbcodierung basiert auf der Munsell Soil Color Chart (Munsell 1975).

Probennahmetechnik. Das Tiefgefrierverfahren nach Linde (vgl. Bild 60) erlaubt die Probennahme hoch wassergesättigter Sedimentkerne von bis zu 250 cm Länge und 30-40 cm Durchmesser. Bei der Bohrung wird die verzinkte Stahllanze (Ø 7 cm) bis zur gewünschten Entnahmetiefe in das Sediment abgesenkt. Über einen adaptierten Flüssigkeitsheber wird flüssiger Stickstoff als Kühlmittel durch gasförmigen Stickstoff eingeleitet. Direkt im Anschluss an die Bergung des Sedimentkernes wird die Stahllanze mit heißem Wasser gefüllt und der Sedimentkern komplett oder in Abschnitte zersägt in Alufolie verpackt und bei ≤ - 20°C gelagert. Zur Beprobung einzelner Abschnitte wird der gefrorene Kernabschnitt mit einem Heizdraht in beliebige Abschnitte zerteilt, manuell an den Oberflächen gereinigt und entsprechend weiterverarbeitet. Die Wassertiefe ist auf ca. 9 - 10 m limitiert.

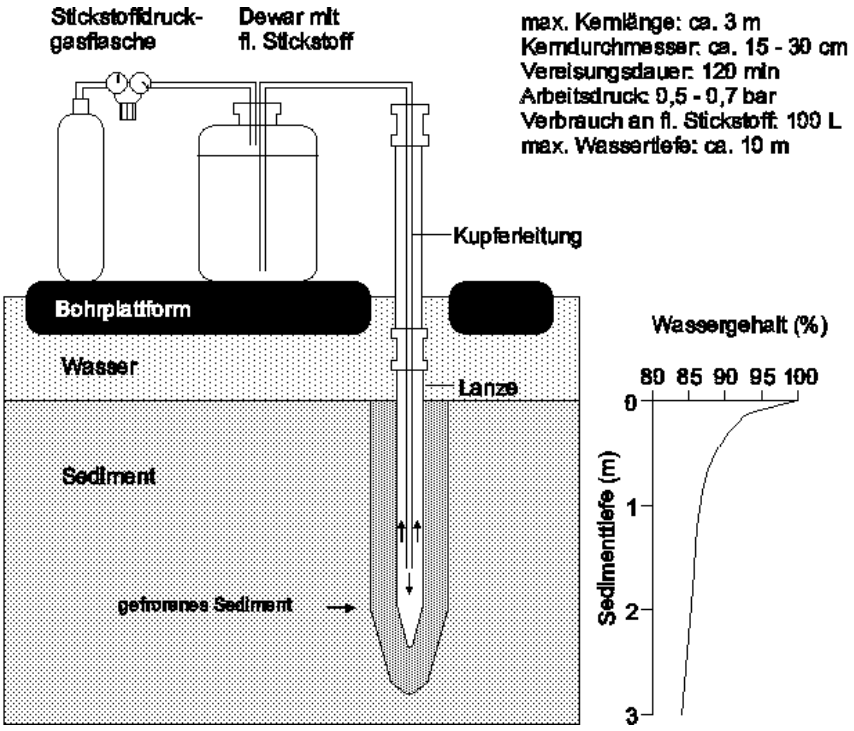


Bild 60 Sedimentbeprobung nach dem Gefrierkernverfahren (aus: Varlemann 2000)

Mit der in Bild 61 dargestellten CO_2-Sonde lassen sich bis zu maximal 150 cm lange Sedimentkerne mit einem Durchmesser von 20 - 25 cm gewinnen. Die Aluminiumlanze

misst 178 cm Länge und 10 cm Durchmesser. Sie wird mit 10 kg zerkleinertem Trockeneis und ca. 0,3 L Alkohol gefüllt und in das Sediment herabgelassen, die Gewinnung des Sedimentmaterials erfolgt genauso wie bei anderen Verfahren. Die Wassertiefe ist auf ca. 70 - 80 m limitiert.

Zusätzlich wurden Sedimentkerne mit einem Sedimentstecher nach Eijkelkamp gewonnen. Der Kern aus dem Arkonabecken ist mit einem Schwerelot nach Rumohr genommen worden und wurde freundlicherweise von Dr. H.-M. Schulz vom IOW-Warnemünde zur Verfügung gestellt.

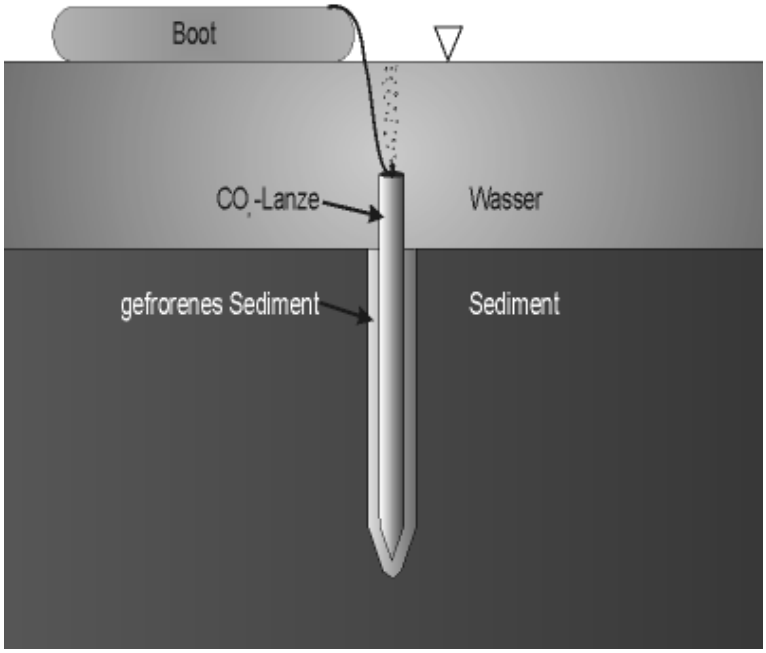


Bild 61 Schematische Skizze der Probennahmetechnik CO_2-Lanze

Sedimentologische Parameter. Der Wassergehalt wurde nach DIN 38414-2 (DIN 1985) durch Trocknung der Proben bei 105°C und Differenzwägung ermittelt. Die Bestimmung des TC, TIC und TOC-Gehaltes wurde nach Mahlen der getrockneten Proben in einer Schwingmühle mit Widia-Einsatz durch trockene Verbrennung im O_2-Strom mit nachgeschalteter CO_2-Detektion (TC) und Lösung des Karbonates mit Phosphorsäure bei 80°C (TIC) (C-MAT 500, Ströhlein) realisiert. Damit ergibt sich für den TOC-Gehalt der folgende Zusammenhang:

Die Kerne stammten mit Ausnahme des Bugsinsees, der oligo- bis dystroph eingestuft wird, aus eutroph- bis hypertrophen Gewässern mit oxischem Wasserkörper und anoxischem Sediment. Sie sind mit Ausnahme der Proben aus dem Teltowkanal ab 55 cm Tiefe durch Wassergehalte ≥ 73 %, TOC-Gehalte ≥ 10 %, P_{ges}-Gehalte > 1,4 % und S_{ges}-Gehalte > 1,0 % gekennzeichnet. Es reflektierten sich die Eutrophie und die anoxischen Redoxpotentiale. An einem weiteren Kern aus dem Teltowkanal bei Berlin-Chemie sank der

Schwefelgehalt von 1,4 – 1,6 % in den oberen 20 cm auf 0,3 - 0,5 % ab 55 cm (Pachur 2002).

Als Depositionsrate und Dichte wurden folgende Schätzwerte für die Bestimmung der Schadstoffeintragsraten angesetzt:

Tabelle 47 Schätzwerte der Depositionsraten und Dichten

Sedimentkern	AK	BS	QS	TK	WS
Depositionsrate (mm/a)	3	1	25	25	18
Dichte (g/cm^3)	2	1	3	3	3

Datierung. Mittels des ^{137}Cs- und des ^{210}Pb-Überschusses wurde nach Abzug der radiumgestützten Detrituskomponente unter der Prämisse eines konstanten Eintrags über einige Halbwertszeiten das Alter der Sedimentabschnitte bestimmt. Die Datierung der Kerne Arkonabecken, Bugsinsee, Quenzsee und Teltowkanal wurde durch die Arbeitsgruppe Prof. Dr. Mangini (Umweltphysik, Uni Heidelberg) geleistet. Wegen der komplexen Akkumulationsmuster und des Fokussierungseffektes im Seetiefsten des Weißer Sees wurde auf die Datierung anhand eines Kernes verzichtet. Versuche, über die γ-Aktivität in den obersten Sedimentabschnitten der Kerne des Weißer Sees eine Information über die rezente Sedimentation im Hypolimnion zu erhalten, sind noch nicht abgeschlossen.

Eine exakte ^{210}Pb-Datierung der Kerne Arkonabecken, Bugsinsee, Quenzsee, Teltowkanal war wegen der geringen Probenanzahl und Störungen des Sedimentationsprozesses (Arkonabecken und Teltowkanal) nicht möglich (Mangini 1998).

Für den Bugsinsee ließ sich anhand des Fehlens eines ^{210}Pb-Überschusses das Sediment aus 30 cm Tiefe einem Alter von 100 - 150 Jahren zuordnen.

Der Kern aus dem Teltowkanal war in den oberen 35 cm homogen durchmischt, bedingt durch die Berufsschifffahrt, und in 100 cm Tiefe wurde die Zeitmarke 100 - 150 Jahre erreicht.

Das Sediment des Quenzsees war durch den Einfluss des Silokanals und das Ankern von Frachtschiffen stark gestört. In 150 cm Tiefe kann durch fehlendes ^{137}Cs eine Zeitmarke von 1950 angegeben werden. Ab 220 cm ließ sich anhand des Fehlens eines ^{210}Pb-Überschusses das Sediment einem Alter von 100 - 150 Jahren zuordnen.

Der Kern aus dem Arkonabecken war durch die vergleichsweise große Wassertiefe von 46,60 m und die Hydrodynamik der Ostsee geprägt. Die obersten 15 cm wiesen bei konstanten Aktivitäten eine Fluffy-Schicht aus, die nach einem Übergang mit kontinuierlich sinkenden ^{137}Cs- und ^{210}Pb-Überschüssen ab 25 cm Tiefe in eine Schicht ohne ^{137}Cs-Aktivität und konstanten ^{210}Pb-Überschüssen überging.

Anhand dieser Abschätzungen wurden die Proben aus dem Kern Bugsinsee ab 30 cm Tiefe, die Probe Teltowkanal 95 – 100 cm und die Probe Quenzsee in den Zeitabschnitt vor 100 – 150 Jahre eingestuft. In Bild 62 bis Bild 64 sind die Pb-excess Kurven der Sedimente dokumentiert.

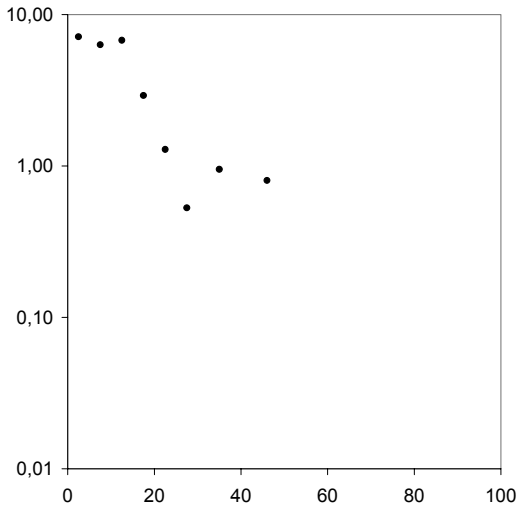


Bild 62 Pb excess im Sedimentkern des Arkonabeckens

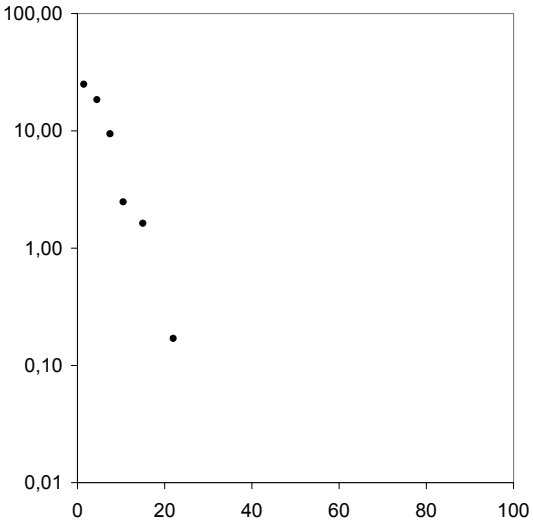


Bild 63 Pb excess im Sedimentkern des Bugsinsees

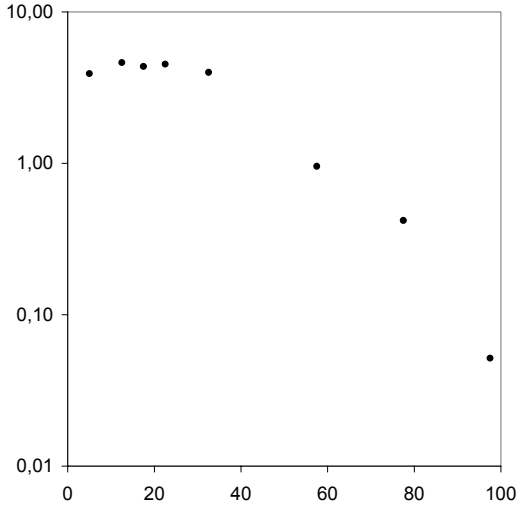


Bild 64 Pb excess im Sedimentkern des Teltowkanals

7.3 ANALYTIK

In der überwiegenden Zahl der Sielhautproben wurden die Elementgehalte bestimmt. Bleiisotopengehalte wurden in einer kleineren Zahl von Sielhäuten untersucht. In einer Reihe ausgewählter Proben wurden Dioxine und Furane (PCDD/Fs) analysiert.

Das Untersuchungsspektrum der Sedimente umfasste folgende organische Kontaminanten:

- Polychlorierte Dibenzo-*p*-dioxine (PCDD/Fs),
- Polychlorierte Biphenyle (PCB),
- DDT und seine Metabolite (DDX),
- die Gruppe der Hexachlorcyclohexan (HCH) Isomere,
- polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAKs) sowie
- Hexachlorbenzen (HCB) einschließlich Tetrachlorbenzene.

An Sedimentcharakterisierungsparametern wurden die Trockenmasse (TM), gesamter Kohlenstoff (TC), gesamter anorganischer Kohlenstoff (TIC), gesamter organischer Kohlenstoff (TOC), der Gesamtschwefel, der Gesamtphosphor und die Spurenmetalle Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, Fe und Mn bestimmt.

7.3.1 Elemente und Bleiisotope

Die Sielhaut- und Sedimentproben wurden lyophilisiert, von groben Bestandteilen befreit und homogenisiert. Teilproben von je 0,5 g wurden entnommen, mit 5 mL bidestilliertem Wasser und 5 mL Salpetersäure (65 %-ig, suprapur) versetzt und im Mikrowellenofen (CEM MSP 100) bei 70 % der Maximalleistung von 1000 Watt, 11 bar Maximaldruck und 140°C Rampentemperatur (Haltezeit 25 min) aufgeschlossen. Nach dem Abkühlen wurde die Aufschlusslösung in ein PE-Vial dekantiert und mit 5 mL bidestilliertem Wasser nachgespült (Gesamtvolumen 15 mL). Aus dieser Lösung wurden Aliquote für die Multielementanalysen mittels Plasmaemissionsspektroskopie (ICP-OES) und Plasmamassenspektrometrie (ICP–MS) entnommen.

Von den 66 analysierten Elementen wurden Messungen der ICP-MS (vollquantitativ), der ICP-OES und der ICP-MS im Fullscan-Modus durchgeführt. 23 Elemente wurden im vollquantitativen Modus der ICP-MS bestimmt, 10 Elemente mittels ICP-OES und 33 Elemente im Fullscan-Modus der ICP-MS. Schwerpunkt der vollquantitativen ICP-MS Bestimmung waren Spurenelemente, von denen eine anthropogene Beeinflussung erwartet werden konnte. Mit der ICP-OES wurden Elemente bestimmt, die nicht nur in Spuren sondern in größeren Mengen auftreten. Für die Fullscan ICP-MS Bestimmung verblieben Spurenelemente, von denen nur begrenzte anthropogene Aktivitäten bekannt waren. Für die ICP-MS Analyse im Fullscan-Modus sind bei der Maßgenauigkeit hohe Schwankungsbreiten von 50 – 100 % anzusetzen.

ICP-MS-Multielementanalyse:

Gerät: VG Fison PQ2+

ICP:

- Kühlgas 12 L/min Argon (4.6)
- Hilfsgas 0,35 L/min Argon (4.6)
- Trägergas 0,78 L/min Argon (4.9)
- Meinhard Nebulizer mit gekühlter Spraykammer (5°C)
- Schlauchpumpe: Spetec Perimac 12, Fördervolumen: 0,7 mL/min
- HF-Sender: 1350 Watt; 27 MHz

MS:

- Messung: semiquantitativ: Scan; quantitativ: peak jumping
- Standards: Blind; 1 ppb; 10 ppb; 50 ppb; 100 ppb (Hg je ¼) aus 1000 ppm Einzelelementlösung der Fa. Spex und Baker, in zwei verschiedenen Mischungen je nach Störung bzw. Verträglichkeit: 5 % (Vol) HNO_3 oder HCl
- Kalibration: 5-Punkt Eichgerade 1. Ordnung
- Recalibration: ausgelöst durch 10 ppb Kontrollstandard bei einer Abweichung von + 10 % bzw. 15% bei ausgesuchten Isotopen
- Interne Standards: ^{45}**Sc** ; ^{115}**In** ; ^{185}**Re** (u. z.T. noch zusätzlich ^{89}**Y** ; ^{209}**Bi**)
- Qualitätssicherung: NIST Standard 1643d (Trace elements in water) bzw. Spex ICP-MS Standardmischung 2A
- Isotope-Ratio Messung : Schneller Scan mit einer dwell time von 80 µs über den Massenbereich 200-210 amu
- Eich- und Kontrollstandard: NIST 981 (common lead isotopic standard)

Folgende Elemente wurden nach diesem Verfahren in Anlehnung an die Norm (DIN (1999) bestimmt: **Li, Be, B, F, S, Cl, Ti, V, Cr, Co, Ni, Ga, Ge, As, Br, Se, Rb, Sr, (Y), Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Ag, Pd, Cd, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Ta, W, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, (Bi), Th, U**.

Die Nachweisgrenzen lagen für die meisten der ausgewählten Isotope mit kleinen Ordnungszahlen bei ca. 1 ppb (Bor bei 10-20 ppb wegen stärkeren Verschleppungen), für die gewählten Isotope mit höheren Ordnungszahlen unter 1 ppb. Die relativen Verfahrensstandardabweichungen für drei Dreifachbestimmungen lagen je nach Element und Gehaltsbereich zwischen 5 - 20 %. Die regelmäßig überprüften Blindwerte lagen unter der Nachweisgrenze.

ICP-OES-Multielementanalyse:

Gerät: Fisons ARL Maxima 138

ICP:

- Kühlgas 13 L/min Argon (4.9)
- Hilfsgas 1,2 L/min Argon (4.9)
- Trägergas 0,78 L/min Argon (4.9)
- Meinhard Nebulizer: gekühlte Spraykammer (5°C)
- Schlauchpumpe: Spetec Perimac 12, Fördervolumen: 0,7 mL/min
- HF-Sender: 1100 Watt, 27 MHZ

Die Analysen wurden in Anlehnung an die Norm (DIN 1998) durchgeführt. Folgende Elemente wurden nach diesem Verfahren bestimmt: **Al, Ca, Cu, Fe, Mn, K, Mg, Na, P, Zn**. Die Nachweisgrenzen waren ausreichend niedrig - alle Werte lagen über der Nachweisgrenze. Die relativen Verfahrensstandardabweichungen lagen für drei Dreifachbestimmungen je nach Element zwischen 2 und 15 %. Die regelmäßig überprüften Blindwerte lagen unter der Nachweisgrenze.

Die Sedimentproben wurden mit Königswasser nach DIN 38414-7 (DIN 1983) aufgeschlossen. Die Messung der Parameter Cd, Pb, Zn, Cu, Cr, Fe, Mn, P_{ges} und S_{ges} erfolgte mittels ICP-OES (Optima 3000; Perkin-Elmer) und GF-AAS (Perkin-Elmer 4100 ZL).

7.3.2 Dioxine und Furane (PCDD/Fs)

Die Sielhaut- und Sedimentproben wurden lyophilisiert und 8 - 10 g der trockenen Proben wurden jeweils mit 0,1 mL einer toluolischen Lösung aller 17 ^{13}C-markierten 2,3,7,8-substituierten PCDD/F Standards versetzt. Die dotierte Probe wurde dann in einem ASE-Extraktor (Dionex) dreimal bei 175°C mit je 20 mL Toluol je 10 min lang extrahiert. Die vereinigten Extrakte wurden am Rotationsverdampfer unter Vakuumkontrolle auf 1 – 2 mL konzentriert und über eine Aluminiumoxidsäule (Glassäule: 190 mm Länge, 22 mm Innendurchmesser) chromatografiert, die von oben nach unten mit 20 g Natriumsulfat, 25 g Al_2O_3 (B Super I, 50 – 200 µm) und etwas Glaswolle gefüllt war. Zunächst wurde mit 80 mL Benzol, dann mit n-Hexan/Dichlormethan (98:2) und schließlich mit 250 mL n-Hexan/Dichlormethan (1:1) eluiert. Die letzte Fraktion wurde am Rotationsverdampfer unter Vakuumkontrolle auf 1 - 2 mL eingeengt, auf eine gemischte Kieselgelsäule (Glassäule: 190 mm Länge, 22 mm Innendurchmesser) gegeben, die von oben nach unten mit 10 g Natriumsulfat, 5 g Kieselgel (63 - 200 mesh)/Silbernitrat, 2 g Kieselgel, 10 g Kieselgel/44% konz. Schwefelsäure, 2 g Kieselgel, 5 g Kieselgel/ 33% 1N Natronlauge, 2 g Kieselgel, Glaswolle gefüllt war, und mit 300 mL n-Hexan eluiert. Das Eluat wurde am Rotationsverdampfer unter Vakuumkontrolle auf 1 - 2 mL eingeengt und abschließend über eine mit 0,5 g Natriumsulfat/1,5 g Aluminiumoxid (B Super I) und Glaswolle gefüllte Pasteurpipette (150 mm Länge, 7 mm Innendurchmesser) chromatografiert. Zunächst

wurde mit 10 mL n-Hexan/Dichlormethan (98:2), dann mit 25 mL Hexan/Dichlormethan (1:1) eluiert. Die letzte Fraktion wurde am Rotationsverdampfer unter Vakuumkontrolle auf 1 - 2 mL eingeengt, mit einer Pasteurpipette in ein 2 mL Vial überführt und durch Aufblasen von reinem Stickstoff auf ein Volumen von ca. 30 µL konzentriert. 1 µL davon wurden on column (SGE) in einen Gaschromatografen (GC), direktgekoppelt mit einem Massenspektrometer (MS) als Detektor, injiziert (Rotard et al. 1995).

GC-MS-Bedingungen:

Gerät: Fisons GC 8000

Vorsäule: 2m Länge, 0,32 mm ID, Quarzkapillare desaktiviert, unbelegt

Trennsäule: Sp 2331 Supelco, 60 m Länge, 0,25 mm ID, 0,2 µm Filmdicke

Transfersäule: 0,5 m Länge, 0,25 mm ID Quarzkapillare, desaktiviert, unbelegt

Injektionstemperatur: 130°C on column

Vordruck: 2,2 bar Helium

Temperaturprogramm: 80°C, 2 min, 20°C/min auf 225°C, 4°C/min auf 240°C, 52 min, 4°C/min auf 252°C, 10 min

Transferline-Temperatur: 280°C

Gerät: Fisons MD 800

Ionisierungsenergie: 70 eV

GC-Meßtechnik (Fa. Hewlett-Packard, Palo Alto, U.S.A.):

Gerät: HP 5890 A

Säule: 60 m x 0,25 mm x 0,20 µm SP 2331

MS-Transferline Temperatur: 280°C

Temperaturprogramm: 130°C (1 min); 30°C/min auf 200°C, 4°C/min auf 240°C (52,0 min), 5°C/min auf 250°C (33,0 min)

Trägergas: Helium

MS Detektion: HP 5986/ VG70250S

SIM-Modus: 2 Massenspuren pro Verbindungsgruppe; 40, 50, 100 ms dwell time

Quantifikation: interne ^{13}C-Standardkalkulation; Recoverykorrektur

Die Quantifizierung und Qualitätssicherungsmaßnahmen erfolgten in Anlehnung an VDI-3498 Blatt 2 (VDI 2001) bzw. DIN EN 1948 (DIN 1997). Die Identifizierung der PCDD/F-Kongenere wurde entsprechend (Ryan et al. 1991) durchgeführt. Die regelmäßig überprüften Blindwerte lagen unter der Nachweisgrenze. Die relative

Verfahrensstandardabweichung lag je nach Kongener bei 5 – 15 %. Die Nachweisgrenzen lagen in pg/g TM in folgenden Bereichen:

TeCDD: 0,1-1	TeCDF: 0,3-3
PeCDD: 0,3-3	PeCDF: 0,2-2
HxCDD: 1-10	HxCDF: 0,2-2
HpCDD: 0,6-6	HpCDF: 1-10
OCDD: 0,6-6	OCDF: 1-10

7.3.3 Andere persistente organische Schadstoffe (POPs)

Die Extraktion erfolgte nach DIN 38414-20 (DIN 1996) mit Hexan/Aceton (3:2; v/v) im Hotsoxhlet-Extraktor (15 h). Die Schwefelelimination wurde mit HNO_3-aktiviertem Kupfergranulat realisiert. Vor der Extraktion wurden die internen Standards PCB-53, PCB-159 (je 500 pg/µL), d10-Acenaphthen, d10-Phenanthren, d12-Benz(a)anthracen, d12-Benzo(a)pyren (je 5000 pg/µL) dotiert. Nach Einengung am Rotationsverdampfer und im N_2-Strom wurden die Extrakte an 2 g aktiviertem SiO_2 entsprechend Tabelle 48 nach Bundt et al. (1991) fraktioniert, wobei für einige Proben eine zusätzliche Fraktion mit DCM als Elutionsmittel integriert wurde.

Tabelle 48 Fraktionierung der Sedimentextrakte, modifiziert nach Bundt et al. (1991)

Fraktion	Elutionsvolumen	Elutionsmittel	Verbindungsklasse
F I	5 mL	Pentan	Aliphaten, Chlorbenzene
F II	8,5 mL	Pentan/CH_2Cl_2 (95/05; v/v);	Monocyclische Aromaten, PCB, DDE
F III	5 mL	Pentan/ CH_2Cl_2 (90/10; v/v);	Dicyclische Aromaten, DDE, PCB
F IV	8 mL	CH_2Cl_2/Pentan (60/40; v/v);	Polycyclische Aromaten, Pestizide
F V	8 mL	CH_2Cl_2	polare Verbindungen
F VI	8 mL	MeOH/CH_3COOH (99/1; v/v);	sehr polare Verbindungen

Die einzelnen Fraktionen wurden im N_2-Strom auf je 50 bis 1000 µL eingeengt und in den GC splitless injiziert.

GC-Meßtechnik (Fa. Hewlett-Packard, Palo Alto, U.S.A.):

Gerät: HP 5890 II-EPC

Säule: 60 m x 0,25 mm x 0,25 µm DB-XLB

Injektor Temperatur: 280°C/300°C (für PAK)

MS-Temperatur: 185-190°C

Temperaturprogramm: 40°C (2 min); 2,6°C/min auf 310°C (55,0 min)

Detektion: MSD HP 5971 A (modifiziert)

SIM-Modus: 2 Massenspuren pro Verbindungsgruppe

Quantifikation: 4-Punktkalibration; externe Standardkalkulation; Recoverykorrektur

Scan-Modus: 35-550 amu; 0,9 scan/s, dwell time 100 ms

Die Zuordnung der Peaks zu Einzelverbindungen und deren Bezeichnung erfolgte entsprechend folgenden Angaben:

- PCBs: Ballschmiter und Zell (1980), Frame (1997), Mullin et al. (1984), Schulte und Malisch (1983)
- PAKs: Link (1997)

Bei Naphthalen, Acenaphthylen, Acenaphthen und Fluoren kann verfahrensbedingt nur eine 50 – 70 %-ige Recovery gewährleistet werden. Diese PAKs sind durch ihre geringere Toxizität, erhöhte Volatilität, erhöhte Wasserlöslichkeit und Biodegradation weniger umweltrelevant. Benzo(b)-/(j)-fluoranthen und Dibenzo(a,h)-/(a,c)anthracen konnten an der DB-XLB nicht ausreichend getrennt werden. Die verwendeten Abkürzungen der PAK-Verbindungen sind in Tabelle 49 zusammengestellt.

Zur Qualitätssicherung diente die Analyse von Blindwerten, die doppelte Extraktion selektierter Proben (Quenzsee und Weißer See) und die Analyse des Referenzsedimentes SRM 1941a (NBS) mit niedrigem Kontaminationslevel. Die Recoverywerte der internen Standards rangierten von 77- 102 % für PCB und 85 – 105 % für PAK. Die gemessenen Konzentrationen wurden zu Vergleichszwecken hinsichtlich einer 100 %-igen Recovery korrigiert. Die zertifizierten Werte der NBS-Referenzprobe wurden zu 80 – 112 % erreicht.

Die Blindwertanalysen ergaben in einem Fall minimale Gehalte an Phenanthren, Fluoranthen und Phthalaten, keine Gehalte an Chlororganika. Die Nachweisgrenze lag bei 50 pg/g TM je Verbindung für die PAKs und Pestizide und PCBs, im Arkonabecken wurden PCBs bis in den Konzentrationsbereich von 10 pg/g TM je Kongener, bei einem Signal/Rausch-Verhältnis von 2,5 : 1 nachgewiesen.

Zusätzlich zu den oben aufgelisteten Verbindungen wurde nach Heptachlor, trans-Heptachlorepoxid, a-Endosulfan, b-Endosulfan, Aldrin, Dieldrin, Endrin gesucht, diese aber im Einklang mit Arbeiten von Maaß et al. (1997), Schwarzbauer (1997) und Franke et al. (1995) nicht detektiert. Methoxychlor, DDMU, DDMS wurden nachgewiesen.

Tabelle 49 Abkürzungen der PAK-Verbindungen

PAK-Verbindung	Kürzel 1	Kürzel 2
2-Methylanthracen	2MeAnthr	2MA
Benzo(ghi)fluoranthen	B-ghi-flant	BgF
Benzo(e)pyren	B-e-pyr	BeP
Anthanthren	Anth	Att
Indeno(1,2,3-cd)fluoranthen	In-123cd-flant	IdF
Benzo(b)chrysen	B-b-chry	BbC
Picen	Pi	Pic
3-Methylphenanthren	3MePhen	3MP
4/9-Methylphenanthren	49MePhen	4/9MP
1-Methylphenanthren	1MePhen	1MP
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	B-b-napht-21d-th	Bn2,1t
Phenanthro(9,10-b)thiophen	Phen-910b-th	Pht
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen	B-b-na-23d-th	Bn2,3t
Triphenylen	Triphy	Tri
Benzo(c)phenanthren	B-c-Phen	BcP
Indeno(1,2,3-cd)pyren	In-123cd-pyr	InP
Benzo(ghi)perylen	B-ghi-pe	BgP
Dibenzo(a,h)anthracen	Dib-ah-anthr	DaA
Naphthalen	Napht	Nph
Acenapthylen	Acy	Acy
Acenaphthen	Ace	Ace
Fluoren	Fluor	Flr
Phenanthren	Phen	Phe
Anthracen	Anthr	Ant
2-Methylphenanthren	2MePhen	2MP
Methylanthracen	MeAnthr	MA
Fluoranthen	Flant	Flu
Pyren	Pyr	Pyr
9,10-Dimethylanthracen	910-DimeAnthr	9,10MA
Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen	B-b-napht-12d-th	Bn1,2t
Benz(a)anthracen	B-a-Anthr	BaA
Chrysen	Chry	Chr
2-Methylchrysen	2MeChry	2MC
7,12-Dimethylbenz(a)anthracen	712-Dime-a-Anthr	7,12BaA
Benzo(b,j)fluoranthen	B-bj-flant	BbF
Benzo(k)fluoranthen	B-k-flant	BkF
Benzo(a)pyren	B-a-Pyr	BaP
Perylen	Pe	Per
Coronen	Cor	Cor

7.4 STATISTISCHE AUSWERTUNG

Für die Auswertung der Messergebnisse wurden eine Reihe von statistischen Verfahren eingesetzt, sowohl univariate als auch multivariate Statistik[124]. Für erste Auswerteschritte wurden folgende meist grafische Ansätze verwendet:

- Balkendiagramme (z.B. Homologenprofile)
- Streudiagramme, auch X-Y Plots genannt (z.B. Verteilung der Bleiisotope)
- relative Verhältnisse von Parametern (z.B. PAK-Verhältnisse)

Diese Verfahren wurden sowohl für die Qualitätskontrolle als auch für die Quellenidentifizierung eingesetzt. Darüber hinaus wurden eine Reihe multivariater statistischer Verfahren verwendet.

Der Einsatz chemometrischer Verfahren erfordert eine rigide Qualitätskontrolle der durchgeführten Analysen. Besonders auffällig zeigte sich die chemometrische Auswertung gegenüber systematischen Fehlern, wenn z.B. zwischen einem Analysengang und einem anderen Analysengang prinzipielle Unterschiede festzustellen waren. Multivariate statistische Verfahren setzen i.d.R. einen homogenen Datensatz voraus. Daher müssen die Analysenergebnisse einer Datenvorbehandlung unterzogen werden. Als multivariate statistische Verfahren wurden die Korrelationsanalyse, die Regressionsanalyse, die Clusteranalyse, die Faktorenanalyse und die Diskriminanzanalyse angewendet.

Als Software wurde neben dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel 97 und 2000 die Statistikprogramme SPSS 9.0, Statistica 5.1 und Statgraphics 4.0 verwendet. Excel wurde schwerpunktmäßig für die Datenvorbehandlung und grafische Darstellungen eingesetzt. SPSS diente der grundlegenden statistischen Auswertung und wurde für die Korrelationsanalyse, die Regressionsanalyse, die Faktorenanalyse und die Diskriminanzanalyse angewendet. Mit Statgraphics wurde die Box-Cox-Transformation und die Clusteranalyse durchgeführt. Statistica wurde für ergänzende statistische Auswertungen verwendet. Bei der Auswahl der für bestimmte Verfahren angewendeten Software standen weniger Fragen der statistischen Theorie als vielmehr praktische Erwägungen im Vordergrund.

7.4.1 Datenvorbehandlung

Zur Datenvorbehandlung werden alle die Veränderungen des Datensatzes gezählt, die für die multivariate statistische Auswertung erforderlich sind.

Werte unterhalb der Nachweisgrenze wurden für alle univariaten statistischen Auswertungen sowie für multivariate statistische Verfahren ohne Transformation durch 0 ersetzt. In einem zweiten Datensatz wurden alle Messwerte unterhalb der

[124] vgl. Backhaus (2000), Box et al. (1978), Danzer et al. (2001), Dörffel (1984), Einax (1995a), Einax (1995b), Massart et al. (1988), Meloun et al. (1992), Meloun et al. (1994), Otto (1997), Sachs (1997), Wold et al. (1984)

Nachweisgrenze durch die Nachweisgrenze ersetzt. Dieser Datensatz wurde für multivariate statistische Auswertungen verwendet, bei dem die Normalverteilung vorausgesetzt wird und keine Null oder negativen Werte enthalten sein durften.

Bei **fehlenden Werten** wurde bevorzugt die jeweilige Variable oder Probe entfernt, z.B. wenn ein Parameter nicht für alle Proben bestimmt wurde. Falls Informationen über übliche relative Verhältnisse einer Variablen im Vergleich zu einer anderen Variablen (z.B. ein PCDD-Kongener und ein benachbartes Kongener aus anderen Proben) vorhanden waren, wurde ggf. der fehlende Wert entsprechend dieses üblichen relativen Verhältnisses geschätzt. Nur in Ausnahmefällen wurde der fehlende Wert durch den Mittelwert der jeweiligen Variable ersetzt.

Ausreißer wurden in mehreren Runden gecheckt und ihre Validität überprüft und ggf. korrigiert. Im endgültigen Datensatz wurden die verbliebenen Extremwerte und Ausreißer nicht ausgeschlossen.

Da für multivariate statistische Verfahren die **Normalverteilung** des Datensatzes vorausgesetzt wird, und dies für Umweltdaten von Schadstoffmessungen im Spurenbereich nicht annähernd zutrifft, wurde i.d.R. eine Transformation vorgeschaltet. Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine logarithmische Transformation, die Box-Cox-Transformation[125], angewendet. Diese basiert auf folgender Herangehensweise[126]:

$$y^{(\lambda)} = X\beta + \varepsilon$$

y: transformierter Vektor

X: n x p Modellmatrix

β: p Vektor mit unbekannten Parametern

ε: Residuen

mit:

$$y_i^{(\lambda)} = \begin{cases} \left(y_i^{\lambda} - 1\right)/\lambda, & \lambda \neq 0 \\ \log y_i, & \lambda = 0 \end{cases}$$

Den Maximum-Likelihood-Schätzer $\hat{\lambda}$ des Transformationsparameters λ erhält man durch Minimierung der folgenden Gleichung:

$$q(\lambda) = z^{(\lambda)^T} (I - H) z^{(\lambda)}$$

mit:

T: Matrix-Transpose Operator

$$H = X(X^T X)^{-1} X^T$$

---

[125] Box und Cox (1964), Kim et al. (1996), Krzanowski (1988)

[126] in Anlehnung an: Kim et al. (1996)

$$z^{(\lambda)} = y^{(\lambda)} \Big/ J^{1/n}$$

J: Jacobian der Transformation von y zu $y^{(\lambda)}$

Als abschließender Vorbehandlungsschritt vor der multivariaten Statistik wurde die Daten zentriert und autoskaliert. Dieser erzeugt eine Verteilung mit einem Mittelwert von 0 und einer Standardabweichung von 1. Hier wird wie folgt vorgegangen:

$$z_i = \frac{x_i - \bar{x}}{s_x}$$

z_i: autoskalierter Wert von x_i

$\bar{x}$: Mittelwert von x_i

s_x: Standardabweichung der Variable x

7.4.2 Testverfahren

Um systematische Unterschiede zwischen Gruppen zu betrachten, wurden der Mann-Whitney-Test und der Kruskal-Wallis-Test verwendet.

Der Mann-Whitney-Test (auch U-Test nach Wilcoxon, Mann und Whitney genannt; vgl. Sachs (1997, S. 380ff)) ist ein verteilungsunabhängiger Rangtest, der im Gegensatz zum t-Test keine Normalverteilung voraussetzt. Nullhypothese des U-Tests ist folgende: Die Wahrscheinlichkeit, dass eine Beobachtung der ersten Grundgesamtheit ist als eine beliebig gezogenen Beobachtung der zweiten Grundgesamtheit, ist gleich 0,5. Der Mann-Whitney-Test setzt allerdings die gleiche Verteilungsform der Stichproben und der Grundgesamtheit voraus. Die Prüfgröße U wird wie folgt berechnet:

$$U_1 = mn + \frac{m(m+1)}{2} - R_1$$

$$U_2 = mn + \frac{n(n+1)}{2} - R_2$$

U: Prüfgröße

m,n: Stichprobenwerte

R: Rangsummen, Summe der Rangzahlen

Die kleinere der beiden Prüfgrößen U_1 und U_2 wird mit dem kritischen Wert U(m,n;α) verglichen (Sachs (1997, S. 383). Wenn der berechnete U-Wert kleiner als der kritische Wert ist, wird die Nullhypothese („Gleichheit der Mittelwerte“) verworfen.

Beim Kruskal-Wallis-Test (auch H-Test von Kruskal und Wallis genannt; vgl. Sachs 1997, S. 393ff) handelt es sich um eine Verallgemeinerung des Mann-Whitney-Tests, bei dem nicht zwei Stichproben sondern mehrere Stichproben einbezogen werden. Auch hier gilt als Nullhypothese: Die Stichproben entstammen der gleichen Grundgesamtheit. Die Prüfgröße $\hat{H}$ wird wie folgt berechnet:

$$\hat{H} = \left[\frac{12}{n(n+1)}\right] \bullet \left[\sum_{i=1}^{k} \frac{R_i^2}{n_i}\right] - 3(n+1)$$

$\hat{H}$: Prüfgröße, Varianz der Stichproben-Rangsummen R_i

n: Anzahl der Beobachtungen

n_i: Beobachtungen mit den Umfängen n_1, n_2, ... n_k

R_i: Summe der Ränge der i-ten Stichprobe

Die Nullhypothese H_o wird für großes n abgelehnt, sobald $\hat{H} \geq \chi^2_{k-1;\alpha}$.

7.4.3 Korrelationsanalyse[127]

Die Korrelationsanalyse dient dazu, den stochastischen Zusammenhang zwischen gleichwertigen Variablen zu ermitteln. Der Korrelationskoeffizient r macht Angaben über die Stärke und Richtung eines linearen Zusammenhangs. Die Korrelationsanalyse nach Pearson setzt Datenhomogenität und Ausreißerfreiheit voraus. Der Korrelationskoeffizient r wird wie folgt berechnet:

$$r = \frac{\sum (X_i - \overline{X})(Y_i - \overline{Y})}{\sqrt{\sum (X_i - \overline{X})^2 \sum (Y_i - \overline{Y})^2}}$$

r : Korrelationskoeffizient

X, Y: Variablen

$\overline{X}, \overline{Y}$: Mittelwert der Variablen X, Y

Für nicht normalverteilte Datensätze wird die Rangkorrelation nach Spearman verwendet. Anstatt von einem linearen Zusammenhang auszugehen, wird hier die Reihenfolge in Form von Rangzahlen verglichen. Die Rangkorrelation nach Spearman wird wie folgt berechnet:

$$r_s = 1 - \frac{6\sum D^2}{n(n^2-1)}$$

r_s: Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman

D: Differenz der n Rangpaare

n: Anzahl der Rangpaare

Die Rangkorrelation nach Spearman setzt keine Normalverteilung des Datensatzes voraus und wird weniger von Ausreißern beeinflusst. Für die Irrtumswahrscheinlichkeit α wird als Signifikanzniveau 1 % verwendet.

---

[127] vgl. Einax et al. (1997), Rönz und Förster (1992), Sachs (1997)

7.4.4 Regressionsanalyse[128]

Mit der Regressionsanalyse wird die Abhängigkeit einer Variablen von einer anderen Variable bestimmt. Dabei wird die Punktwolke beider Variablen durch eine Regressionsgleichung angenähert. Für einen linearen Zusammenhang gilt folgende Gleichung:

$$Y = \alpha + \beta\ X$$

Y: Zielgröße, abhängige Variable

X: Einflussgröße, unabhängige Variable

α,β: Regressionsparameter

Neben linearen Zusammenhängen können auch andere Formen der Abhängigkeit analysiert werden, z.B. logarithmisch, exponentiell.

7.4.5 Clusteranalyse[129]

Mit Hilfe der hierarchischen Clusteranalyse wird die Ähnlichkeit von Objekten (Proben) bzw. von Variablen (Parametern) verglichen. Dabei werden sogenannte Dendrogramme erzeugt, die in Form einer Baumstruktur die Ähnlichkeiten von Proben bzw. Parametern grafisch darstellen.

Bei der Clusteranalyse wird die vorhandene Datentabelle in eine Distanzmatrix umgewandelt und entsprechend Bild 65 mit Hilfe eines Clusteralgorithmus in einem Dendrogramm abgebildet. Die Berechnung der Distanzmatrix basierte hier auf dem quadrierten Euklidischen Abstand. Die Darstellung erfolgt in Form von Dendrogrammen als hierarchisches Verfahren. Als Clusteralgorithmus wurde die Ward-Methode verwendet.

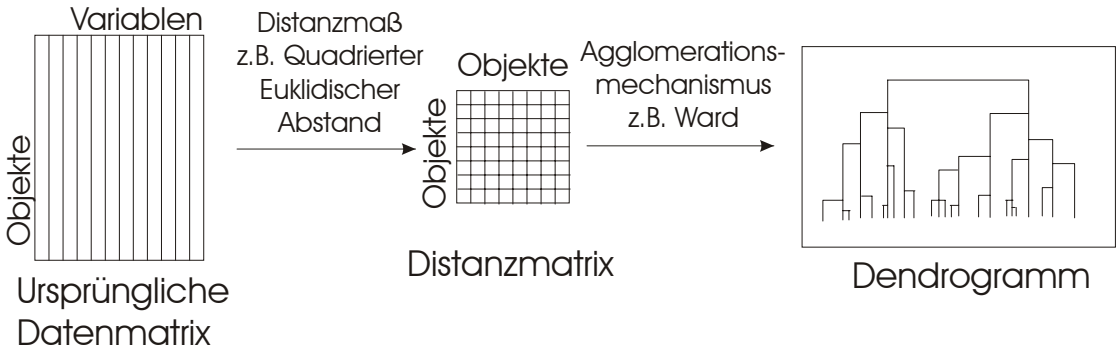


Bild 65 Schematische Vorgehensweise der hierarchischen Clusteranalyse

Der quadrierte Euklidische Abstand d(i,k) wird wie folgt berechnet:

$$d(i,k) = \sum_{j=1}^{m} (x_{ij} - x_{kj})$$

---

[128] vgl. Einax et al. (1997), Rönz und Förster (1992), Sachs (1997)

[129] vgl. Adams (1995), Bacher (1994), Deichsel und Trampisch (1985), Einax et al. (1997)

d(i,k): quadrierter Euklidischer Abstand

i,k: Index der betrachteten Objekte

m: Anzahl der Variablen (Parameter) des Datensatzes

Damit ergibt sich folgende Distanzmatrix D:

$$D = \begin{pmatrix} 0 & d_{12} & \dots & d_{1n} \\ d_{21} & 0 & \dots & d_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ d_{n1} & d_{n2} & \dots & 0 \end{pmatrix}$$

D: Distanzmatrix

d_{xy}: quadrierter Euklidischer Abstand zwischen den Objekten x und y

Das Dendrogramm wird mit Hilfe des Ward-Algorithmus ermittelt. Dabei handelt es sich um ein agglomeratives Verfahren, d.h. alle Objekte bilden zunächst ein Cluster für sich und die Objekte bzw. Cluster mit der niedrigsten Distanz werden zu einem neuen Cluster vereinigt. Dabei wird für jedes Cluster ein Zentroid bzw. Schwerpunkt gebildet, um die Distanz zu den übrigen Objekten und Clustern zu ermitteln.

7.4.6 Faktorenanalyse[130]

Die Faktorenanalyse dient dazu, die vorhandene Datenmatrix auf möglichst wenige wesentliche Einflüsse bzw. Faktoren zu reduzieren. Im Idealfall entsprechen diese Faktoren bestimmten Quellen. Es ist auch möglich, die Lage der einzelnen Proben bzw. Parameter im Faktorraum grafisch darzustellen. Letztlich kann damit eine Quellenzuordnung erzielt werden. Das Verfahren der Faktorextraktion ist schematisch in Bild 66 dargestellt.

[130] vgl. Einax et al. (1997), Weber (1974)

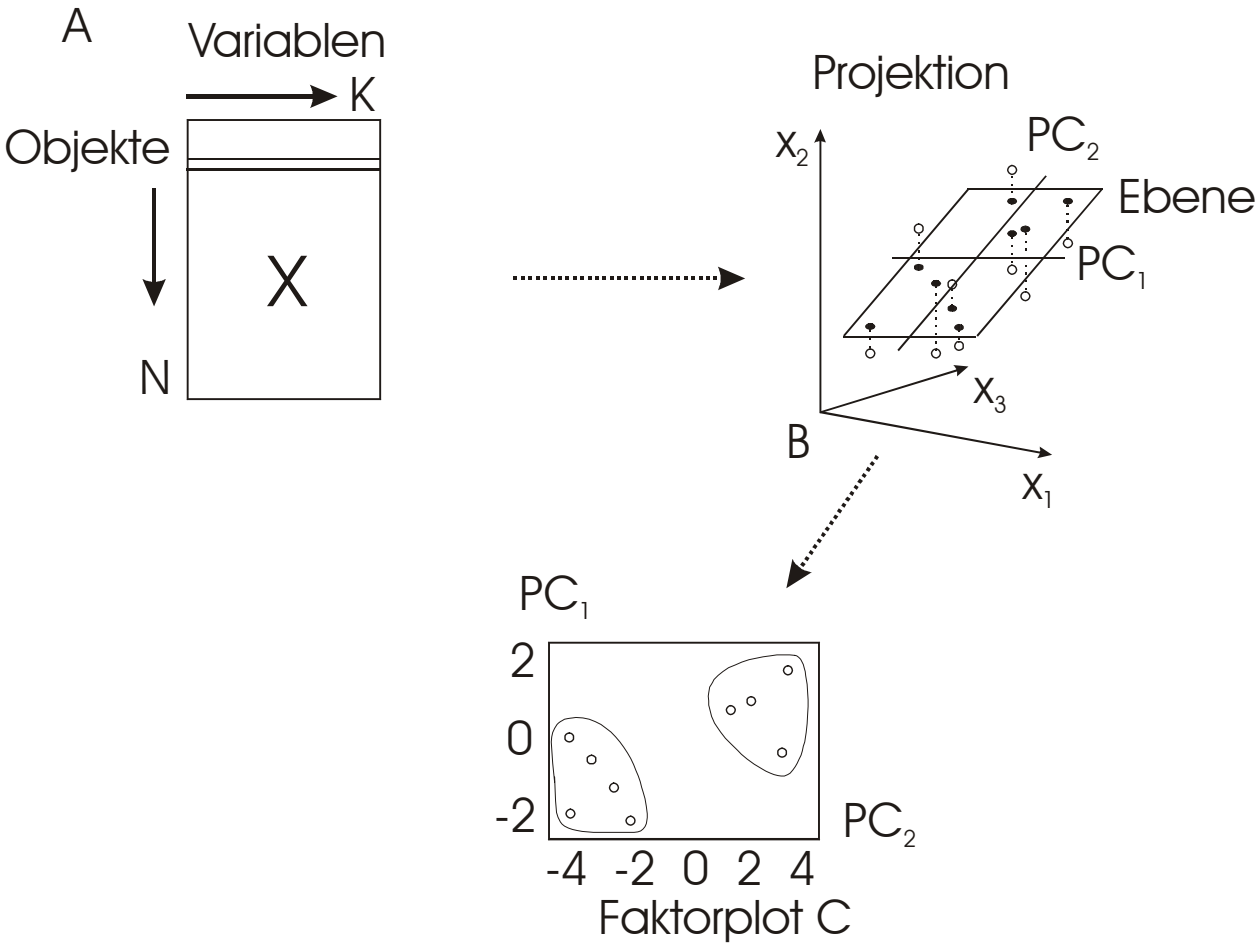


Bild 66 Schematische Darstellung der Faktorextraktion in der Faktorenanalyse, nach: Wold et al. (1984)

Als Faktorextraktionsverfahren wurde die Hauptkomponentenmethode verwendet. Alle Faktoren mit einem Eigenwert[131] größer als 1 wurden extrahiert. Als Rotation wurde die Varimax-Methode eingesetzt.

Die ursprüngliche Datenmatrix X wird in die Faktoren wie folgt umgewandelt[132]:

$$X = A \cdot F + E$$

$$\begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{m1} & x_{m2} & \dots & x_{mn} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1s} \\ a_{21} & \dots & a_{2s} \\ \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & \dots & a_{ms} \end{pmatrix} \bullet \begin{pmatrix} f_{11} & f_{12} & \dots & f_{1n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f_{s1} & f_{s2} & \dots & f_{sn} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} e_{11} & e_{12} & \dots & e_{1n} \\ e_{21} & e_{22} & \dots & e_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ e_{m1} & e_{m2} & \dots & e_{mn} \end{pmatrix}$$

X: ursprüngliche Datenmatrix mit den Ausprägungen x_{mn}

[131] Als Eigenwert wird der Anteil der Varianz des Datensatzes bezeichnet, der durch den Faktor erklärt wird. Prozentangaben des Eigenwertes beziehen sich auf die Gesamtvarianz von 100 %. Absolute Eigenwerte haben als Bezugsgröße 1. Dies entspricht der erklärten Varianz einer Ursprungsvariable.

[132] in Anlehnung an Einax et al. (1997)

A: Faktorladungen

F: Faktorscores

E: Residuen

m: Anzahl der Parameter

n: Anzahl der Objekte (Proben)

S: Anzahl der Faktoren

7.4.7 Diskriminanzanalyse[133]

Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse werden charakteristische Unterschiede zwischen Probengruppen veranschaulicht. Dabei werden Diskriminanzfunktionen gebildet, die aufzeigen, welche Variablen sich zwischen den Probengruppen signifikant unterscheiden. Letztlich ist das Ziel der Diskriminanzanalyse, Objekte mit unbekannter Zugehörigkeit vorgegebenen Gruppen zuzuordnen.

In dieser Arbeit wurde sowohl die Methode mit gleichzeitiger Aufnahme aller Variablen als auch die Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen verwendet. Bei der schrittweisen Methode wurde das Wilks-Lambda-Verfahren mit F-Werten von 3,84 für die Aufnahme und 2,71 für den Ausschluss (entsprechend SPSS-Defaultwerten) angewendet. Die Gruppentrennung wurde in Form der Originalklassifizierung als auch mittels Kreuzvalidierung bestimmt. Bei der Kreuzvalidierung werden nicht alle Proben berücksichtigt sondern verschiedene Datensätze mit einem Teil der Proben analysiert. Dieses Verfahren dient dazu, den Generalisierungsfehler abzuschätzen. Die A-Priori-Wahrscheinlichkeit wurde aus der Gruppengröße berechnet. Die Kovarianzmatrix wurde z.T. innerhalb der Gruppen und z.T. gruppenspezifisch verwendet.

Für die Durchführung einer Diskriminanzanalyse sind folgende Schritte relevant[134]:

- Definition der Gruppen

Hier wird die Gruppenzugehörigkeit der Objekte bzw. Proben und die Anzahl der separaten Gruppen festgelegt.

- Formulierung der Diskriminanzfunktion

Die Diskriminanzfunktion (auch Trennfunktion genannt) hat zum Ziel, die Gruppen optimal zu trennen. Diese lautet wie folgt:

$$Y = b_o + b_1 + b_2 X_2 + ... + b_J X_J$$

Y: Diskriminanzvariable

X_j: Merkmalsvariable j (j = 1,2, ... , J)

---

[133] vgl. Ahrens und Läuter (1981), Deichsel und Trampisch (1985), Einax et al. (1997)

[134] in Anlehnung an Backhaus (2000)

b_j: Diskriminanzkoeffizient für Merkmalsvariable j

b_0: konstantes Glied

Dabei dient der Centroid (Schwerpunkt der Gruppen) als Anhaltspunkt, um die Unterschiedlichkeit von Gruppen zu messen.

- Schätzung der Diskriminanzfunktion

Um zu messen, wie gut die Diskriminanzfunktion zwischen den Gruppen trennt, wird das Diskriminanzkriterium verwendet:

$$\Gamma = \frac{\sum_{g=1}^{G} I_g \left(\overline{Y}_g - \overline{Y}\right)^2}{\sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{I_g} (Y_{gi} - \overline{Y}_g)^2} = \frac{SS_b}{SS_w}$$

$$SS = SS_b + SS_w = \sum_{g=1}^{G}\sum_{i=1}^{I_g} \left(Y_{gi} - \overline{Y}\right)^2$$

Γ: Diskriminanzkriterium

SS_b: Streuung zwischen den Gruppen, erklärte Streuung

SS_w: Streuung in den Gruppen, nicht erklärte Streuung

I_g: Gruppengröße

$\overline{Y}_g$: Gruppencentroide

$\overline{Y}$: Gesamtmittel

Y_{gi}: Gruppenelemente

Dabei soll die Streuung zwischen den Gruppen maximiert und innerhalb der Gruppen minimiert werden, d.h. das Diskriminanzkriterium Γ maximiert werden.

- Prüfung der Diskriminanzfunktion

Die Güte der Trennung der Gruppen durch die Diskriminanzfunktion wird getestet, indem die prognostizierte und tatsächliche Gruppenzugehörigkeit verglichen wird. Es können auch im Rahmen der Kreuzvalidierung Teile des Datensatzes zum „Lernen“ verwendet werden und so wird noch weitergehend die Validität der Diskriminanzfunktion getestet.

Als Maß für die Güte der Diskriminanzfunktion gilt das Wilks’ Lambda Λ:

$$\Lambda = \frac{1}{1+\gamma} = \frac{1}{1+\frac{SS_b}{SS_w}}$$

Λ: Wilks’ Lambda

γ: Eigenwert

SS_b: erklärte Streuung

SS_w: nicht erklärte Streuung

Das Wilks' Lambda gilt als inverses Gütemaß, d.h. eine höhere Trennkraft der Diskriminanzfunktion wird bei kleineren Werten erzielt.

Diese kann für eine statistische Signifikanzprüfung verwendet werden:

$$\chi^2 = -\left[N - \frac{J+G}{2} - 1\right] \ln \lambda$$

Damit lässt sich das Signifikanzniveau für die Irrtumswahrscheinlichkeit α der Nullhypothese H_o („Beide Gruppen unterscheiden sich nicht.") testen.

- Prüfung der Merkmalsvariablen

Die Prüfung der Merkmalsvariablen (hier: Messparameter) hat das Ziel, deren Bedeutung bei der Unterschiedlichkeit der Gruppen zu erklären und wichtige von unwichtigen Variablen zu trennen. Die Bedeutung einer Variablen für die Diskriminanzfunktion wird anhand des standardisierten Diskriminanzkoeffizienten b_j^* beschrieben:

$$b_j^* = b_j \cdot s_j$$

b_j^*: standardisierter Diskriminanzkoeffizient

b_j: Diskriminanzkoeffizent von Merkmalsvariable j

s_j: Standardabweichung von Merkmalsvariable j

- Prüfung der Merkmalsvariablen

Falls nach Testung der Objekte (Proben) mit bekannter Gruppenzuordnung neue mit unbekannter Zuordnung hinzukommen, können Wahrscheinlichkeiten für die Gruppenzugehörigkeit geschätzt werden.

8 LITERATUR

Aberg, G.; J. M. Pacyna; H. Stray; B. L. Skjelkvale: The origin of atmosopheric lead in Oslo, Norway, studied with the use of isotopic ratios. Atmospheric Environment 33 (1999), 3335-3344.

Adams, M. J.: Chemometrics in Analytical Spectroscopy. Cambridge: Royal Soc. of Chemistry 1995.

Adriano, D. C.: Trace Elements in the Terrestrial Environment. New York: Springer-Verlag 1986.

Ahrens, H.; J. Läuter: Mehrdimensionale Varianzanalyse. Berlin: Akademie Verlag 1981.

Akai, S.; K. Hayakawa; H. Takatsuki; I. Kawakami: Dioxin-like PCBs released from waste incineration and their deposition flux. Environmental Science and Technology 35 (2001), 3601-3607.

Alcock, R.; M. MacLachlan; A. Johnston; K. Jones: Evidence for the presence of PCDD/Fs in the environment prior to 1900 and further studies on their temporal trends. Environmental Science and Technology 32 (1998), 1580-1587.

Antusch, E.; J. Sauer; C. Ripp; H. H. Hahn: Sielhautkataster der Stadt Zürich: Organische Schadstoffe in der Sielhaut - Sorptionsverhalten, Einflussgrössen und Entwicklung einer praktikablen Analysenmethode. gwa 75 (1995), 1010-1016.

Antusch, E.; J. Sauer; C. Ripp; H. H. Hahn: Untersuchungen zur Identifizierung lipophiler organischer Schadstoffe in Sielhäuten. Karlsruhe: Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe, BMBF-Forschungsbericht Förderkennzeichen 02 WU 9388/8, 1996.

Bacher, J.: Clusteranalyse - Eine anwendungsorientierte Einführung. München: Oldenbourg 1994.

Bacher, R.: Quellen und Muster der polyhalogenierten (Brom/Chlor) Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane in Umweltproben. Doktorarbeit, Fakultät für Naturwissenschaften, Universität Ulm 1992.

Backhaus, K.: Multivariate Analysemethoden - Eine anwendungsorientierte Einführung. Berlin: Springer-Verlag 2000.

Bahadir, M.; H. Parlar; M. Spiteller: Springer Umweltlexikon. Berlin: Springer-Verlag 1995.

Baker, J. I.; R. A. Hites: Is Combustion the Major Source of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans to the Environment? A Mass Balance Investigation. Environmental Science and Technology 34 (2000), 2879-2886.

Ballschmiter, K.; R. Bacher: Dioxine - Chemie, Analytik, Vorkommen, Umweltverhalten und Toxikologie der halogenierten Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane. Weinheim: VCH 1996.

Ballschmiter, K.; M. Zell: Analysis of polychlorinated biphenyls (PCB) by glass capillary gas chromatography: Composition of technical Aroclor- and Clophen-PCB mixtures. Fresenius' Z.Anal.Chem. 302 (1980), 20-31.

Bavel, B. v.; C. Näf; P.-A. Bergqvist; D. Broman; K. Lundgren; O. Papakosta; C. Rolff; B. Strandberg; Y. Zebühr; D. Zook; C. Rappe: Levels of PCBs in the Aquatic Environment of the Gulf of Bothnia: Benthic Species and Sediments. Marine Pollution Bulletin 32 (1995), 210-218.

BBodSchV: Bundes - Bodenschutz- und Altlastenverordnung, 1999.

Benlachen, K. T.; A. Choui; H. Budzinski; J. Bellocq; P. Garrigue: Distribution and sources of polycyclic aromatic hydrocarbons in some Mediterranean coastal sediments. Marine Pollution Bulletin 34 (1997), 298-305.

Boës, M.; H. Caspary: Sielhautuntersuchungen - Ein erfolgversprechende Methode zum Auffinden von Schwermetallemittenten im Kanalnetz. Korresp.Abwasser 34 (1987), 123-128.

Bonn, B. A.: Polychlorinated Dibenzo-p-dioxin and Dibenzofuran Concentration Profiles in Sediment and Fish Tissue of the Willamette Basin, Oregon. Environmental Science and Technology 32 (1998), 729-735.

Box, G.; D. Cox: An analysis of transformations. Journal of the Royal Statistical Society 26 (1964), 211-252.

Box, G. E. P.; W. G. Hunter; J. S. Hunter: Statistics for Experimenters. New York: John Wiley & Sons 1978.

Bright, D. A.; W. J. Cretney; R. W. Macdonald; M. G. Ikonomou; S. L. Grundy: Differentiation of polychlorinated dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran sources in coastal British Columbia, Canada. Environmental Toxicology and Chemistry 18 (1999), 1097-1108.

Broman, D.; C. Näf; Y. Zebühr: Analysis of polychlorinated dibenzo-p-dioxins (PCDD) and polychlorinated dibenzofurans (PCDF) in soil and digested sewage sludge from Stockholm, Sweden. Chemosphere 21 (1990), 1213-1220.

Brown, J. F., Jr.; R. E. Wagner; D. L. Bedard; M. J. Brennan; J. C. Carnahan; R. J. May; T. J. Tofflemire: PCB transformations in upper Hudson [River, USA] sediments. Northeast.Environ.Sci. 3 (1984), 167-179.

Brown, J. F. J.; D. L. Bedard; M. J. Brennan; J. C. Carnahan; H. Feng; R. E. Wagner: Polychlorinated biphenyl dechlorination in aquatic sediments. Science 236 (1987), 709-712.

Bruckmeier, B. F. A.; I. Jüttner; K.-W. Schramm; R. Winkler; C. E. W. Steinberg; A. Kettrup: PCBs and PCDD/Fs in Lake Sediments of Großer Arbersee, Bavarian Forest, South Germany. Environmental Pollution 95 (1997), 19-25.

Brunner, H.: Untersuchungen zu Herkunft und Vorkommen polychlorierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane in der Umwelt. Doktorarbeit, Fakultät für Chemie und Pharmazie, Universität Tübingen 1990.

Brzuzy, L. P.; R. A. Hites: Estimating the atmospheric deposition of polychlorianted dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans from soils. Environmental Science and Technology 29 (1995), 2090-2098.

Brzuzy, L. P.; R. A. Hites: Global Mass Balance for Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans. Environmental Science and Technology 30 (1996a), 1797-1804.

Brzuzy, L. P.; R. A. Hites: Response to Comment on "Global Mass Balance for Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans". Environmental Science and Technology 30 (1996b), 3647-3648.

Bumb, R. R.; W. B. Crummett; S. S. Cutie; J. R. Gledhill; R. H. Hummel; R. O. Kagel; L. L. Lamparski; E. V. Luoma; D. L. Miller; T. J. Nestrick; L. A. Shadoff; R. H. Stehl; J. S. Woods: Trace chemistries of fire: a source of chlorinated dioxins. Science 210 (1980), 385-390.

Bundt, J.; W. Herbel; H. Steinhart; S. Franke; W. Fracke: Structure-type separation of diesel fuels by solid phase extraction and identification of the two- and three-ring aromatics by capillary GC-mass spectrometry. Journal of High Resolution Chromatography 14 (1991), 91-98.

Buser, H.-R.: Polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins and dibenzofurans: formation, occurrence and analysis of environmentally hazardous compounds. PhD Thesis, University of Umeå 1978.

Butzkamm-Erker, R.; R. E. Mach: Recent data on dioxin levels in sewage sludges. Korrespondenz Abwasser 37 (1990), 161-163.

Cacela, D.; D. J. Beltman; J. Lipton: Polychlorinated biphenyl source attribution in Green Bay Wisconsin, USA, using multivariate similarity among congener profiles in sediment samples. Environmental Toxicology and Chemistry 21 (2002), 1591-1599.

Chang, S.-L.; D. J. Oh; J. Haddock: 4-Chlorobiphenyl Pathway Map. http://umbbd.ahc.umn.edu/cbp/cbp_map.html, 2002.

Chiaradia, M.; F. Cupelin: Behaviour of airborne lead and temporal variations of its source effects in Geneva (Switzerland): comparison of anthropogenic versus natural processes. Atmospheric Environment 34 (2000), 959-971.

Chow, T. J.; C. B. Snyder; J. L. Earl: Isotope Ratios of Lead as Pollutant Source Indicators. IAEA (Ed.): Isotope Ratios as Pollutant Source and Behaviour Indicators. Vienna: International Atomic Energy Agency, 95-108, 1975.

Christmann, W.; K. D. Klöppel; H. Partscht; W. Rotard: Tetrachlorobenzoquinones, a Source of PCDD/PCDF. Chemosphere 18 (1989), 789-792.

Cichos, C.; U. Singliar: Sielhautuntersuchungen zur Ermittlung von Quellen für den Schwermetalleintrag in das Kanalnetz eines hochbelasteten Industrie- und Bergbaugebietes. Freiberg: Gesellschaft für Umweltverfahrenstechnik und Recycling e.V., BMBF-Forschungsbericht Förderkennzeichen 02WA93620 - Q2-Q2300/9, 1994.

CRC (Ed.): Handbook of Chemistry and Physics. Cleveland: Chemical Rubber Company. 1989.

Cremer, J.; C. H. Rolfs: Anwendungsmöglichkeiten der Sielhautanalytik bei der Indirekteinleiterüberwachung einer Großstadt. Vom Wasser 71 (1988), 97-102.

Dannenberger, D.; R. Andersson; C. Rappe: Levels and Patterns of Polychlorinated Dibenzo-p-Dioxins, Dibenzofurans and Biphenyls in Surface Sediments from the Western Baltic Sea (Arkona Basin) and the Oder River Estuarine System. Marine Pollution Bulletin 34 (1997), 1016-1024.

Danzer, K.; H. Hobert; C. Fischbacher; K.-U. Jagemann: Chemometrik - Grundlagen und Anwendungen. Berlin: Springer-Verlag 2001.

David, M.; L. M. Brondyk; W. C. Sonzogni: Distribution of PCB Congeners in Sheboygan River (Wisconsin) Sediments. J Great Lakes Res 20 (1994), 510-522.

Dawidowsky, N.: Herkunft und Vorkommen polyhalogenierter Dibenzodioxine und Dibenzofurane in der Umwelt. Doktorarbeit, Fakultät für Chemie und Pharmazie, Universität Tübingen 1993.

Deboudt, K.; P. Flament; D. Weis; J.-P. Mennessier; P. Maquinghen: Assessment of pollution aerosols sources above the Straits of Dover using lead isotope geochemistry. The Science of the Total Environment 236 (1999), 57-74.

Deichsel, G.; H. J. Trampisch: Clusteranalyse und Diskriminanzanalyse. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag 1985.

DIN: DIN 38414-7: Aufschluß mit Königswasser zur nachfolgenden Bestimmung des säurelöslichen Anteils von Metallen. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung. Weinheim: Wiley-VCH, 1983.

DIN: DIN 38414-2: Bestimmung des Wassergehaltes und des Trockenrückstandes bzw. der Trockensubstanz. Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung S2. Weinheim: Wiley-VCH, 1985.

DIN: DIN 38414-20: Bestimmung von 6 polychlorierten Biphenylen (PCB). Deutsches Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung S20. Weinheim: Wiley-VCH, 1996.

DIN: DIN EN 1948: Bestimmung der Massenkonzentration von PCDD/PCDF. VDI-DIN (Ed.): VDI-DIN Handbuch Reinhaltung der Luft Band 5. Berlin: Beuth Verlag, 1997.

DIN: DIN EN ISO 11885: Wasserbeschaffenheit - Bestimmung von 33 Elementen durch induktiv gekoppelte Plasma-Atom-Emissionsspektrometrie, Deutsche Fassung. Berlin: Deutsches Institut für Normung, 1998.

DIN: DIN 38406 E29: Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Kationen (Gruppe E) - Teil 29: Bestimmung von 61 Elementen durch Massenspektormentrie mit induktiv gekoppeltem Plasma (ICP-MS) (E29). Berlin: Deutsches Institut für Normung, 1999.

Dörffel, K.: Statistik in der analytischen Chemie. Weinheim: VCH 1984.

Einax, J.: Chemometrics in Environmental Chemistry - Applications. Berlin: Springer 1995a.

Einax, J.: Chemometrics in Environmental Chemistry - Statistical Methods. Berlin: Springer 1995b.

Einax, J. W.; H. W. Zwanziger; S. Geiß: Chemometrics in Environmental Analysis. Weinheim: Wiley-VCH 1997.

EMEP: Anthropogenic emissions of heavy metals in the ECE region. EMEP - Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. www.emep.int/emis_tables/tab9.html, 2002a.

EMEP: Anthropogenic emissions of persistent organic pollutants in the ECE region. EMEP - Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution. www.emep.int/emis_tables/tab8.html, 2002b.

EMEP: Emissions by sector (1980-1999, 2010) of polychlorinated biphenyls from United Kingdom. EMEP. www.emep.int/areas/sectortab/GB_PCB.html, 2002c.

Eriksson, E.: Flödesanalys av metaller (In english: Flow analysis of metals). Solna: Kemikalieinspektionen, KEMI Rapport fran kemikalieinspektionen 8/91, 1991.

Evers, E. H. G.; H. J. C. Klamer; R. W. P. M. Laane; H. A. J. Govers: Polychlorinated Dibenzo-P-Dioxin and Dibenzofuran Residues in Estuarine and Coastal North Sea Sediments - Sources and Distribution. Environ.Toxicol.Chem. 12 (1993), 1583-1598.

Farmer, J. G.; L. J. Eades; M. C. Graham: The lead content and isotopic composition of British coals and their implications for past and present releases of lead to the UK environment. Environmental Geochemistry and Health 21 (1999), 257-272.

Farmer, J. G.; L. J. Eades; A. B. Mackenzie; A. Kirika; T. E. Bailey-Watts: Stable Lead Isotope Record of Lead Pollution in Loch Lomond Sediments since 1630 A.D. Environmental Science and Technology 30 (1996), 3080-3083.

Fiedler, H.; O. Hutzinger; C. W. Timms: Dioxins: sources of environmental load and human exposure. Toxicol.Environ.Chem. 29 (1990), 157-234.

Fiedler, H.; C. Lau; L.-O. Kjeller; C. Rappe: Patterns and sources of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans found in soil and sediment samples in South Mississippi. Chemosphere 32 (1996), 421-432.

Flemming, H.-C.; W. Ruck: Lokalisierung von Schadstoffen vom Kanalnetz aus. Wasserkalender 24 (1990), 115-133.

Fluck E.; K. G. Heumann: Periodic Table of Elements. Weinheim: VCH 1991.

Frame, G.: A collaborative study of 209 PCB congeners and 6 Aroclors on 20 different HRGC columns - 1. Retention and coelution database. Fresenius J. Analytical Chemistry 357 (1997), 701-713.

Franke, S.; S. Hildebrandt; J. Schwarzbauer; M. Link; W. Francke: Organic compounds as contaminants of the Elbe River and its tributaries. Part II: GC/MS screening for contaminants of the Elbe water. Fresenius Journal of Analytical Chemistry 353 (1995), 39-49.

Gauglhofer, J.; V. Bianchi: Chromium. E. Merian (Ed.): Metals and their Compounds in the Environment. Weinheim: VCH, 853-878, 1991.

Genuit, G.; H. Wende: Qualitätsmanagement in der Indirekteinleiterkontrolle. ATV (Ed.): Abwasser- und Abfallwirtschaft: ATV-Kongress und ATV-Landesgruppentagung Nordrhein-Westfalen, Bielefeld, 29.-30. Sept. 1997. Hennef: Gesellschaft zur Förderng der Abwassertechnik. 6, 19-47, 1997.

Gogou, A.; I. Bouloubassi; E. G. Stephanou: Marine Organic Geochemistry of the Eastern Mediterranean: 1. Aliphatic and polyaromatic Hydrocarbons in Cretan Sea surficial Sediments. Marine Chemistry 68 (2000), 265-282.

Götz, R.; P. Enge; K. Roch; L.-O. Kjeller; S. E. Kulp; C. Rappe: Sampling and analysis of water and suspended particulate matter of the River Elbe for polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs). Chemosphere 28 (1994), 63-74.

Götz, R.; B. Steiner; P. Friesel; K. Roch; F. Walkow; V. Maaß; H. Reincke; B. Stachel: Dioxin (PCDD/F) in the river Elbe - Investigations of the origin by multivariate statistical methods. Chemosphere 37 (1998), 1987-2002.

Green, N.; J. Jones; A. Johnston; K. Jones: Further evidence for the existence of PCDD/Fs in the environment prior to 1900. Environmental Science & Technology 35 (2001a), 1974-1981.

Green, N.; J. Jones; K. Jones: PCDD/F deposition time trend to Esthwaite Water, U.K., and its relevance to sources. Environmental Science & Technology 35 (2001b), 2882-2888.

Gschwend, P. M.; R. A. Hites: Fluxes of polycyclic aromatic hydrocarbons to marine and lacustrine sediments in the northeastern United States. Geochimica et Cosmochimica Acta 45 (1981), 2359-2367.

Gunkel, G.; P.-G. Mast; C. Nolte: Pollution of Aquatic Ecosystems by Polychlorinated Biphenyls (PCB). Limnologica 25 (1995), 321-331.

Gutekunst, B.: Sielhautuntersuchungen zur Einkreisung schwermetallhaltiger Einleitung. Doktorarbeit, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, Universität Karlsruhe 1988.

Gutekunst, B.; J. Moser: Sielhautkataster der Stadt Zürich: Quecksilberbelastung durch Zahnarztpraxen. gwa 75 (1995), 1004-1009.

Gutekunst, B.; I. Rüegge: Sielhautkataster der Stadt Zürich: Interpretation der Messergebnisse. gwa 75 (1995), 996-1003.

Hagenmaier, H.; H. Brunner; R. Haag; A. Berchtold: PCDDs and PCDFs in sewage sludge, river and lake sediments from southwest Germany. Chemosphere 15 (1986), 1421-1428.

Hagenmaier, H.; C. Lindig; J. W. She: Bundesweite Analyse von Klärschlämmen auf polychlorierte Dibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane mit statistischer Stichprobenplanung und Quellenanalyse. Berlin: Umweltbundesamt, UBA-Forschungsbericht 10303532, 1990.

Hagenmaier, H.-P.: Untersuchungen der Gehalte an polychlorierten Dibenzodioxinen, polychlorierten Dibenzofuranen und ausgewählten Chlorkohlenwasserstoffen in Klärschlämmen. Umweltforschungsplan des Bundesministers des Inneren. Berlin: Umweltbundesamt, UBA Texte 4/90, 1988.

Hartmann, E.; B. Scheerer: Aufspüren von Dioxineinträgen ins Abwasser durch Sielhautuntersuchungen. Korrespondenz Abwasser 44 (1997), 848-852.

HELCOM: Environment of the Baltic Sea area 1994-1998. Helsinki: Helsinki Commission, Baltic Sea Environment Proceedings No. 82A, 2001.

Hengstmann, R.: Untersuchungen zur Auffindung von Kontaminationspfaden von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen (PCDD) und polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) in einer Industriekleinstadt. Doktorarbeit, Fachbereich für Chemie und Chemietechnik, Universität/GH Paderborn 1991.

Henry, R. C.: History and Fundamentals of Multivariate Air Quality Receptor Models. Chemom. Intell. Lab. Syst. 37 (1997), 525-530.

Holleman, A. F.; E. Wiberg; N. Wiberg: Lehrbuch der Anorganischen Chemie. Berlin: Walter de Gruyter 1985.

Hopke, P. K.: Receptor modeling for air quality management. Amsterdam: Elsevier 1991.

Horning, U.; C. Sbieschni: Schwermetallproblematik in Klärschlämmen - Lokalisierung von Emittenten mit Hilfe von Sielhautanalytik. Wasserwirtschaft - Wassertechnik 2 (1991), 68.

Horstmann, M.: Untersuchungen zu nicht-industriellen Quellen von Polychlorierten Dibenzo-p-Dioxinen (PCDD) und Polychlorierten Dibenzofuranen (PCDF) in einem kommunalen Entwässerungssystem. Doktorarbeit, Universität Bayreuth 1994.

Howsam, M.; K. C. Jones: Sources of PAHs in the environment. A. H. Neilson (Ed.): PAHs and related compounds: Chemistry. Berlin: Springer, 137-174, 1998.

Hulpke, H.; H. A. Koch; R. Wagner: Römpp Lexikon Umwelt. Stuttgart: Georg Thieme Verlag 1993.

Jüttner, I.; B. Henkelmann; K.-W. Schramm; C. E. W. Steinberg; R. Winkler; A. Kettrup: Occurrence of PCDD/F in Dated Lake Sediments of the Black Forest, Southwestern Germany. Environmental Science and Technology 31 (1997), 806-812.

Kähkönen, M. A.; K. P. Suominen; P. K. G. Manninen; M. S. Salkinoja-Salonen: 100 Year of Sediment Accumulation History of Organic Halogens and Heavy Metals in Recipient and Nonrecipient Lakes of Pulping Industry in Finland. Environmental Science and Technology 32 (1998), 1741-1746.

Kim, C.; B. E. Storer; M. Jeong: A note on Box-Cox transformation diagnostics. Technometrics 38 (1996), 178-180.

Kintrup, J.: Verbesserte Einleiteridentifizierung durch Sielhautanalytik mittels Multielementbestimmung. Doktorarbeit, Fachbereich Chemie, Universität Hannover 1999.

Kintrup, J.; G. Wünsch: Multi-element sewer slime impact pattern - a quantitative characteristic enabling identification of the source of heavy metal discharges into sewer systems. Fresenius J. Anal. Chem. 371 (2001a), 849-854.

Kintrup, J.; G. Wünsch: Multielementanalytik der Sielhaut: Optimierte Identifizierung von Schwermetalleinleitern. Korrespondenz Abwasser 48 (2001b), 1068-1073.

Kjeller, L.-O.; C. Rappe: Time trends in levels, patterns, and profiles for polychlorinated dibenzo p dioxins, dibenzofurans, and biphenyls in a sediment core from the Baltic Proper. Environmental Science & Technology 29 (1995), 346-355.

Koch, M.: Dioxins, furans, and PCBs in sewer biofilm: isomer-specific analysis, background levels, and source identification. Diplomarbeit, Umeå University/Technische Universität Berlin 1995.

Koch, M.; W. Rotard: On the contribution of background sources to the heavy metal content of municipal sewage sludge. Water Science and Technology 43 (2000), 67-74.

Koch, M.; W. Rotard: Anwendung chemometrischer Methoden zur Quellenermittlung von Schadstoffen im kommunalen Abwasser. Berlin: Institut für Technischen Umweltschutz, TU Berlin, BMBF-Forschungsbericht Förderkennzeichen 02 WU 9894/2, 2001.

Koppe, P.; W. Jabs: Anwendung des Kanalspions zum Aufspüren von AOX-Emittenten. Korresp.Abwasser 34 (1987), 1037-1039.

Korber, H. G.: PCDD and PCDF in sewage sludges and soils. Gewässerschutz, Wasser, Abwasser 136 (1992), 235-244.

Krzanowski, W. J.: Principles of Multivariate Analysis. Oxford: Clarendon Press 1988.

Laschka, D.; M. Trumpp: Sielhautuntersuchungen zur Lokalisierung von AOX-Emittenten im Kanalnetz. Korrespondenz Abwasser 38 (1991), 495-496.

Link, M.: Identifizierung polycyclischer aromatischer Verbindungen in Sedimenten und Ölen. Doktorarbeit, FB Chemie, Universität Hamburg 1997.

Lipiatou, E.; A. Saliot: Fluxes and Transport of Anthropogenic and Natural Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Western Mediterranean Sea. Marine Chemistry 32 (1991), 51-71.

Lohmann, R.; K. C. Jones: Dioxins and furans in air and deposition: A review of levels, behaviour and processes. The Science of the Total Environment 219 (1998), 53-81.

Maaß, V.; C. Schmidt; R. Lüschow; T. Leitz (Eds.): Sedimentuntersuchungen im Hamburger Hafen 1994/95. Ergebnisse aus dem Baggergutuntersuchungsprogramm. Hamburg 1997.

Macdonald, R. W.; M. G. Ikonomou; D. W. Paton: Historical Inputs of PCDDs, PCDFs, and PCBs to a British Columbia Interior Lake: The Effect of Environmental Controls on Pulp Mill Emissions. Environmental Science and Technology 32 (1998), 331-337.

Mackay, D.: Multimedia Environmental Models. Michigan: Lewis Publishers 1991.

MacKenzie, A. B.; J. G. Farmer; C. L. Sugden: Isotopic evidence of the relative retention and mobility of lead and radiocaesium in Scottish ombrotrophic peats. The Science of the Total Environment 203 (1997), 115-127.

Mangini, A.: Persönliche Mitteilung 1998.

Marklund, S.; M. Tysklind; R. Andersson; K. Ljung; C. Rappe: Environmental deposition of PCDDs and PCDFs as determined by the analysis of snow samples from the north part of Sweden. Organohalogen Compounds 1 (1990), 437-440.

Massart, D. L.; B. G. M. Vandeginste; S. N. Deming; Y. Michotte; L. Kaufman: Chemometrics: A Textbook. Amsterdam: Elsevier 1988.

Mattson, J.: Äspereds industriomrade: Undersökning av metallförorening i dagvattenledningen [in Swedish: Investigation of metal compounds in run-off systems]. Göteborg: Göteborgsregionens Ryaverksaktiebolag Avloppskvalitet, 1998.

Meloun, M.; J. Militky; M. Forina: Chemometrics for Analytical Chemistry. Vol. 1. PC-aided statistical data analysis. Hemel Hempstead: Ellis Horwood 1992.

Meloun, M.; J. Militky; M. Forina: Chemometrics for Analytical Chemistry. Vol. 2. PC-aided regression and related methods. Hemel Hempstead: Ellis Horwood 1994.

Merian, E.: Metals and Their Compounds in the Environment. Weinheim: VCH Verlagsgesellschaft 1991.

Middeldorp, P.; R. McLeish: Beta-1,2,3,4,5,6-hexachlorocaclohexane (an/aerobic) Pathway Map. http://umbbd.ahc.umn.edu/hch/hch_map.html, 2001.

Middeldorp, P. J. M.; M. Jaspers; A. J. B. Zehnder; G. Schraa: Biotransformation of alpha-, beta-, gamma- and delta-Hexachlorocyclohexane under Methanogenic Conditions. Environmental Science and Technology 30 (1996), 2345-2349.

Monna, F.; J. Dominik; J.-L. Loizeau; M. Pardos; P. Arpagaus: Origin and Evolution of Pb in Sediments of Lake Geneva (Switzerland - France). Establishing a Stable Pb Record. Environmental Science and Technology 33 (1999), 2850-2857.

Monna, F.; D. B. Othman; J. M. Luck: Pb isotopes and Pb, Zn and Cd concentrations in the rivers feeding a coastal pond (Thau, southern France): constraints on the origin(s) and flux(es) of metals. The Science of the Total Environment 166 (1995), 19-34.

Muir, D. C. G.; N. P. Grift; W. L. Lockhart; P. Wilkinson; B. N. Billeck; G. J. Brunskill: Spatial Trends and Historical Profiles of Organochlorine Pesticides in Arctic Lake Sediments. The Science of the Total Environment 160/161 (1995), 447-457.

Mullin, M. D.; C. M. Pochini; S. McCrindle; M. Romkes; S. S. Safe; L. M. Safe: High-resolution PCB analysis: synthesis and chromatographic properties of all 209 PCB congeners. Environmental Science and Technology 18 (1984), 468-476.

Munsell: Munsell Soil Color Chart: Macbeth Division of Kullmorgen Corporation, 1975.

N.N.: PCB tradenames and other synonyms. http://www.rpi.edu/~smiths9/tradenames.html, 2002.

Näf, C.; D. Broman; R. Ishaq; Y. Zebühr: PCDDs and PCDFs in water, sludge and air samples from various levels in a waste water treatment plant with respect to composition changes and total flux. Chemosphere 20 (1990), 1503-1510.

NATO-CCMS: International Toxicity Equivalent Factor (I-TEF). Method of risk assessment for complex mixtures of dioxins and related compounds, NATO-CCMS Report No. 176, 1988.

Neumann, T.; C. Christiansen; S. Clasen; K.-C. Emeis; H. Kunzendorf: Geochemical records of salt-water inflows into the deep basins of the Baltic Sea. Continental Shelf Research 17 (1997), 95-115.

Öberg, L. G.; B. Glas; S. E. Swanson; C. Rappe; K. G. Paul: Peroxidase-catalyzed oxidation of chlorophenols to polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans. Arch.Environ.Contam.Toxicol. 19 (1990), 930-938.

Oehme, M.; S. Larssen; E. M. Brevik: Emission factors of PCDD and PCDF for road vehicles obtained by tunnel experiment. Chemosphere 23 (1991), 1699-1708.

Ohnesorge, F. K.; M. Wilhelm: Zinc. E. Merian (Ed.): Metals and their Compounds in the Environment. Weinheim: VCH, 1309-1342, 1991.

OSPAR: Annual Report 2000-2001. London: OSPAR Commission, 2001.

Otto, M.: Chemometrie - Statistik und Computereinsatz in der Analytik. Weinheim: VCH 1997.

Paatero, P.; U. Tapper: Positive matrix factorization: a non-negative factor model with optimal utilization of error estimates of data values. Environmetrics 5 (1993), 111-126.

Pachur, H.-J.: unveröffentlichte Daten 2002.

Pachur, H.-J.; M. Ahrens; M. Ricking; H.-P. Röper: Heavy Metal and Chlorinated Hydrocarbon Contamination of Selected Aquatic Sediments from the Berlin Area. Land Degradation & Rehabilitation 4 (1993), 351-360.

Pearson, R. F.; D. L. Swackhamer; S. J. Eisenreich; D. T. Long: Concentrations, Accumulations, and Inventories of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans in Sediments of the Great Lakes. Environmental Science and Technology 31 (1997), 2903-2909.

Pirrone, N.; I. Allegrini; G. J. Keeler; J. O. Nriagu; R. Rossmann; J. A. Robbins: Historical Atmospheric Mercury Emissions and Depositions in North America Compared to Mercury Accumulations in Sedimental Records. Atmospheric Environment 32 (1998), 929-940.

Putschew, A.; S. Wischnack; M. Jekel: Occurrence of triiodinated X-ray contrast agents in the aquatic environment. The Science of the Total Environment 255 (2000), 129-134.

Quensen, J. F. I.; J. M. Tiedje; S. A. Boyd: Reductive dechlorination of polychlorinated biphenyls by anaerobic microorganisms from sediments. Science 242 (1988), 752-754.

Raach, C.; H. Wiggering; S. Bringezu: Stoffflußanalyse Abwasser - eine Abschätzung der Substanzflüsse deutscher Kläranlagen. Vom Wasser 92 (1999), 11-35.

Rachdawong, P.; E. R. Christensen; S. Chi: Source Identification of PCBs in Sediments from the Milwaukee Harbor Estuary, USA. Wat. Sci. Tech. 37 (1998a), 199-206.

Rachdawong, P.; E. R. Christensen; J. F. Karls: Historical PAH Fluxes to Lake Michigan Sediments determined by Factor Analysis. Wat. Res. 32 (1998b), 2422-2430.

Rappe, C.: Sources and environmental concentrations of dioxins and related compounds. Pure and Applied Chemistry 68 (1996), 1781-1789.

Rappe, C.; R. Andersson; M. Bonner; K. Cooper; H. Fiedler; F. Howell: PCDDs and PCDFs in Municipal Sewage Sludge and Effluent from POTW in the State of Mississippi, USA. Chemosphere 36 (1998), 315-328.

Rappe, C.; R. Andersson; G. Karlaganis; R. Bonjour: PCDDs and PCDFs in samples of sewage sludge from various areas in Switzerland. Organohalogen Compounds 20 (1994), 79-84.

Rappe, C.; R. Andersson; C. Studer; G. Karlaganis: Decrease in the Concentrations of PCDDs and PCDFs in Sewage Sludge from Switzerland. Organohalogen Compounds 33 (1997), 82-87.

Rappe, C.; L.-O. Kjeller; R. Andersson: Analyses of PCDDs and PCDFs in sludge and water samples. Chemosphere 19 (1989), 13-20.

Reid, J. M.; M. McEvoy: Monitoring sewer atmospheres for organic vapours. J.Water Envir.Management 1 (1987), 161-170.

Remmers, J.; A. Dupuy; D. McDaniel; R. Harless; D. Steele: Polychlorinated-dibenzo-p-dioxin and dibenzofuran contamination in chloranil and carbazole violet. Chemosphere 25 (1992), 1505-1508.

Rhee, G.-Y.; R. C. Sokol; C. M. Bethoney; B. Bush: Dechlorination of polychlorinated biphenyls by Hudson river sediment organisms: specifity to the chlorination pattern of congeners. Environmental Science & Technology 27 (1993), 1190-1192.

Ricking, M.: Persönliche Mitteilung 2002.

Ricking, M.; H.-J. Pachur: Methodisches Konzept zur vergleichenden Messung von chlorierten Kohlenwasserstoffen in Sedimenten als Entscheidungsbasis für Sanierungsmaßnahmen. Berlin: Fachbereich Geowissenschaften GEOLAB, Freie Universität Berlin, 1999.

Ricking, M.; H.-M. Schulz: PAH-profiles in sediment cores from the Baltic Sea. Marine Pollution Bulletin 44 (2002), 551-576.

Ricking, M.; K. Terytze: Polychlorierte Dibenzo-p-dioxine, -furane (PCDD/F) und Analoga in Oberflächensedimenten und datierten aquatischen Sedimentkernen. Acta hydrochimica et hydrobiologica 23 (1995), 280-288.

Rieger, R.; K. Ballschmiter: Search for sources of CLxDD/CLxDF in sewage sludge of mixed industrial/domestic origin. Organohalogen Compounds 9 (1992), 203-206.

Rönz, B.; E. Förster: Regressions- und Korrelationsanalyse. Grundlagen - Methoden - Beispiele. Wiesbaden: Gabler 1992.

Rotard, W.; W. Christmann; W. Knoth: Occurrence of PCDD/PCDF in newspapers, magazines, books and other consumer paper products. Organohalogen Compounds 4 (1990), 381-386.

Rotard, W.; W. Christmann; W. Knoth; W. Mailahn: Bestimmung der Resorptionsverfügbarkeit von PCDD/F aus Kieselrot - Simulation der Digestion mit Böden. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung 7 (1995), 3-9.

Roth, M.; L. Cöteli: Sielhautkataster Zürich: Probenahme - Analytik - Auswertung. gwa 75 (1995), 988-995.

Ryan, J. J.; H. B. S. Conacher; L. G. Panopio; B. P.-Y. Lau; J. A. Hardy; Y. Masuda: Gas chromatographic separations of all 136 tetra- to octa-polychlorinated dibenzo-p-dioxins and polychlorinated dibenzofurans on nine different stationary phases. Journal of Chromatography 541 (1991), 131-183.

Sachs, L.: Angewandte Statistik. Berlin: Springer 1997.

Sakurai, T.; N. Suzuki; S. Masunaga; J. Nakanishi: Origin attribution of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans in sediment and soil from a Japanese freshwater lake area through congener-specific data analysis. Chemosphere 37 (1998), 2211-2224.

Sakurai, T.; N. Suzuki; M. Morita: Multivariate data analysis of dioxins in dated sediment cores collected in the Kanto Region of Japan. Organohalogen Compounds 46 (2000), 451-454.

Santl, H.; L. Gruber; E. Stohrer: Some new sources of polychlorinated dibenzodioxins (PCDDs) and dibenzofurans (PCDFs) in waste papers and recycled pulps. Chemosphere 29 (1994), 1995-2003.

Scheinberg, H.: Copper. E. Merian (Ed.): Metals and their Compounds in the Environment. Weinheim: VCH, 893-908, 1991.

Schintu, M.; S. Degetto: Sedimentary records of heavy metals in the industrial harbour of Portovesme, Sardinia, Italy. The Science of the Total Environment 241 (1999), 129-141.

Schramm, K.-W.; B. Henkelmann; A. Kettrup: PCDD/F Sources and Levels in River Elbe Sediments. Wat. Res. 29 (1995), 2160-2166.

Schramm, K.-W.; R. Winkler; P. Casper; A. Kettrup: PCDD/F in recent and historical Sediment Layers of Lake Stechlin, Germany. Water Research 31 (1997), 1525-1531.

Schulte, E.; R. Malisch: Berechnung der wahren PCB-Gehalte in Umweltproben. I. Ermittlung der Zusammensetzung zweier technischer PCB-Gemische. Fresenius Zeitschrift Analytische Chemie 314 (1983), 545-551.

Schulz, H.-M.; M. Ricking: Müllkippe Ostsee? Das Akkumulationspotential der Sedimente des Arkona-Beckens (südliche Ostsee) für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. TUC Contact 9 (2001), 52-56.

Schwarzbauer, J.: Screening, Identifizierung und quantitative Analyse organischer Substanzen in Sediment und Schwebstoff des Elbesystems. Dissertation, Fachbereich Chemie, Universität Hamburg 1997.

Schwarzbauer, J.; M. Ricking; S. Franke; W. Francke: Halogenated Organic Contaminants in Sediments of the Havel and Spree Rivers (Germany). Part 5 of Organic Compounds as Contaminants of the Elbe River and Its Tributaries. Environmental Science and Technology 35 (2001), 4015-4025.

Schwarzbauer, J.; M. Ricking; R. Littke: DDT-related organic substances bound to organic macromolecular matter in sediments of the Teltow Canal, Berlin, Germany. Environmental Science and Technology 37 (2003), 488-495.

She, J.: Polyhalogenierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane: Untersuchungen über Quellen, Ausbreitung und Verbleib. Doktorarbeit, Universität Tübingen 1992.

Simcik, M. F.; S. J. Eisenreich; K. A. Golden; S.-P. Liu; E. Lipiatou; D. L. Swckhamer; D. T. Long: Atmospheric loading of polycyclic aromatic hydrocarbons to Lake Michigan as recorded in the sediments. Environmental Science and Technology 30 (1996), 3039-3046.

Simcik, M. F.; S. J. Eisenreich; P. J. Lioy: Source Apportionment and Source/Sink Relationship of PAHs in the coastal Atmosphere of Chicago and Lake Michigan. Atmospheric Environment 33 (1999), 5071-5079.

Simpson, C. D.; C. F. Harrington; W. R. Cullen: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Contamination in Marine Sediments near Kitimat, British Columbia. Environmental Science and Technology 32 (1988), 3266-3272.

Sommer, H. J.: Sielhautkataster der Stadt Zürich, Situation der Stadtentwässerung. Gas, Wasser, Abwasser 75 (1995), 977-1009.

Stechmann, H.: Charakterisierung kraftfahrzeugspezifischer partikelförmiger Emissionen und Quantifizierung ihrer Beiträge zu Aerosolen und Gewässerverunreinigungen. Doktorarbeit, Fachbereich Chemie, Universität Hamburg 1993.

Stoeppler, M.: Cadmium. E. Merian (Ed.): Metals and their Compounds in the Environment. Weinheim: VCH, 803-851, 1991.

Strandberg, B.; B. v. Bavel; P.-A. Bergqvist; D. Broman; R. Ishaq; C. Näf; H. Pettersen; C. Rappe: Occurence, Sedimentation, and Spatial Variations of Organochlorine Contaminants in Settling Particulate Matter and Sediments in the Northern Part of the Baltic Sea. Environmental Science and Technology 32 (1998), 1754-1759.

Sunderman, F. W.; A. Oskarsson: Nickel. E. Merian (Ed.): Metals and their Compounds in the Environment. Weinheim: VCH, 1101-1126, 1991.

Swanson, S. E.: Dioxins in the bleach plant. A study of the occurence and formation of polychlorinated dibenzofurans and polychlorinated dibenzo-*p*-dioxins in the chlorine bleaching of wood pulp. PhD Thesis, University of Umeå 1988.

Swerev, M.: Chemie und Analytik der Polychlordibenzodioxine und -dibenzofurane: Muster und Quellen der PCDD und PCDF in Umweltproben. Doktorarbeit, Fakultät für Naturwissenschaften und Mathematik, Universität Ulm 1988.

Terytze, K.: Anreicherung und Verteilung von Schwermetallen und anderen Elementen in Oberflächensedimenten der Berliner Gewässer und ihres Umlands. Acta hydrochimica et hydrobiologica 21 (1993), 8-20.

Tolosa, I.; J. M. Bayona; J. Albaiges: Aliphatic and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons and Sulfur/Oxygen Derivatives in Northwestern Mediterranean Sediments: Spatial and Temporal Variability, Fluxes, and Budgets. Environmental Science and Technology 30 (1996), 2495-2503.

Tommasini, S.; G. R. Davies; T. Elliott: Lead isotope composition of tree rings as bio-geochemical tracers of heavy metal pollution: a reconnaissance study from Firenze, Italy. Applied Geochemistry 15 (2000), 891-900.

Trapp, S.; M. Matthies: Dynamik von Schadstoffen - Umweltmodellierung mit CemoS. Berlin: Springer 1996.

USGS: Minerals Yearbook. http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/myb/, 2001.

van Zoest, R.; G. T. M. van Eck: Historical Input and Behaviour of Hexachlorobenzene, Polychlorinated Biphenyls and Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in two Dated Sediment Cores from the Scheldt Estuary, SW Netherlands. Marine Chemistry 44 (1993), 95-103.

Vanier, C.; M. Sylvestre; D. Planas: Persistence and Fate of PCBs in Sediments of the Saint Lawrence River. The Science of the Total Environment 192 (1996), 229-244.

Varlemann, R.: Das Gefrierkernverfahren. BMBF (Ed.): Die Belastung der Elbe - Teil 2: Die Hintergrundbelastungen der deutschen Nebenflüsse, 12, 2000.

VDI: VDI-3498 Blatt 2: Messen von polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen. Messen mit kleinem Filter. Messen von Immissionen. Messen von InnenraumluftVDI-DIN Handbuch Reinhaltung der Luft Band 5. Berlin: Beuth Verlag, 2001.

Venkatesan, M. I.: Occurrence and Possible Sources of Perylene in Marine Sediments - a Review. Marine Chemistry 25 (1988), 1-27.

Vogt, R.; W. Lorenz; M. Bahadir; H. Hopf; W. Schmidt: Determination of PCDD/F in Technical Grade p-Chloranil Synthesized from HCH-Wastes and in o-Chloranil Prepared in Teaching Laboratories. Fresenius Environmental Bulletin 3 (1994), 673-678.

von Burg, R.; M. R. Greenwood: Mercury. E. Merian (Ed.): Metals and their Compounds in the Environment. Weinheim: VCH, 1045-1088, 1991.

von Gunten, H. R.; M. Sturm; R. N. Moser: 200-Year Record of Metals in Lake Sediments and Natural Background Concentrations. Environmental Science and Technology 31 (1997), 2193-2197.

Wagrowski, D. M.; R. A. Hites: Insights into the Global Distribution of Polychlorinated Dibenzo-p-dioxins and Dibenzofurans. Environmental Science and Technology 34 (2000), 2952-2958.

Wakimoto, T.; N. Kannan; M. Ono; R. Tatsukawa; Y. Masuda: Isomer-Specific Determination of Polychlorinated Dibenzofurans in Japanese and American Polychlorinated Biphenyls. Chemosphere 17 (1988), 743-750.

Weber, E.: Einführung in die Faktorenanalyse. Stuttgart: Fischer 1974.

Weber, H.; A. Kettrup; R. Hengstmann; R. Hamann; E. Weßling: Erfassung von Emissionen polychlorierter Dibenzofurane und Dibenzo-p-Dioxine durch die Analyse von Sielhäuten. Korrespondenz Abwasser 38 (1991), 1642-1651.

Weerasinghe, N. C. A.; M. L. Gross; D. J. Lisk: Polychlorinated dibenzodioxins and polychlorinated dibenzofurans in sewage sludges. Chemosphere 14 (1985), 557-564.

Wenning, R. J.; D. J. Paustenbach; M. A. Harris; H. Bedbury: Principal Components Analysis of Potential Sources of Polychlorinated Dibenzo-P-Dioxin and Dibenzofuran Residues in Surficial Sediments from Newark Bay, New-Jersey. Arch.Environ.Contam.Toxicol. 24 (1993), 271-289.

West, R. H.; P. G. Hatcher: Polychlorinated biphenyls in sewage sludge and sediments of the New York Bight. Mar.Pollut.Bull. 11 (1980), 126-129.

Wetterauer, B.; H. Hollert; M. Ricking; T. Schulze: Toxicity of DDT-metabolites DDA, DDMU, DDMS and DDCN and their occurence in sediment samples from NE-Germany. in preparation (2003)

WHO: Mercury. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Perspectives No.1, 1976.

WHO: Lead. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Perspectives No.3, 1977.

WHO: DDT and its Derivatives. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Perspectives No.9, 1979.

WHO: Chromium. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 61, 1988.

WHO: DDT and its Derivatives: Environmental Aspects. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Perspectives No. 83, 1989a.

WHO: Lead: Environmental Aspects. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Perspectives No.85, 1989b.

WHO: Mercury: Environmental Aspects. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Perspectives No.86, 1989c.

WHO: Polychlorinated dibenzo-para-dioxins and dibenzofurans. Geneva: International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No.88, 1989d.

WHO: Chlorobenzenes Other than Hexachlorobenzene. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 128, 1991a.

WHO: Lindane. Geneva: WHO-ICPS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 124, 1991b.

WHO: Nickel. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 108, 1991c.

WHO: Cadmium. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 134, 1992a.

WHO: Cadmium - Environmental Aspects. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 135, 1992b.

WHO: Polychlorinated Biphenyls and Terphenyls, 2nd edition. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 140, 1993.

WHO: Hexachlorobenzene. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 195, 1997.

WHO: Selected Non-heterocyclic Polycyclic Aromatic Hydrocarbons. Geneva: WHO-IPCS International Programme on Chemical Safety, Environmental Health Criteria No. 202, 1998.

Winter, M.: Webelements. www.webelements.com, 2001.

Wintermeyer, D.; W. Rotard: Dioxin-Emission und Deposition in der Bundesrepublik Deutschland. Versuch einer Bilanzierung. Staub - Reinhaltung der Luft 54 (1994), 81-86.

Wold, S.; C. Albano; W. J. Dunn; U. Edlund; K. Esbensen; P. Geladi; S. Hellberg; E. Johansson; W. Lindberg; M. Sjöström: Multivariate data analysis in chemistry. Proceedings of the NATO advanced study on chemometrics. Mathematics and statistics in chemistry. Cosenza, Italy. Dordrecht Holland: D. Reidel publishing company 1984.

Yunker, M. B.; R. W. MacDonald; W. Cretney, J.; B. R. Fowler; F. A. McLaughlin: Alkane, Terpene and polycyclic aromatic Hydrocarbon Geochemistry of the Mackenzie River and Mackenzie Shelf: Riverine Contributions to Beaufort Sea coastal Sediment. Geochimica et Cosmochimica Acta 57 (1993), 3041-3061.

Yunker, M. B.; R. W. Macdonald; D. Goyette; D. W. Paton; B. R. Fowler; D. Sullivan; J. Boyd: Natural and anthropogenic inputs of hydrocarbons to the Strait of Georgia. The Science of the Total Environment 225 (1999), 181-209.

Yunker, M. B.; R. W. MacDonald; R. H. Mitchell; B. R. Fowler; R. Brewer; S. Sylvestre: PAH source and composition in the Fraser river basin as reflected by PAH ratios. 20th International Meeting on Organic Geochemistry, Nancy 2001.

Yunker, M. B.; L. R. Snowdon; R. W. Macdonal; J. N. Smith; M. G. Fowler; D. N. Skobo; M. F. A.; A. I. Danyushevskaya; V. I. Petrova; G. I. Ivanov: Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Composition and Potential Sources for Sediment Samples from the Beaufort and Barents Seas. Environmental Science and Technology 30 (1996), 1310-1320.

Zeng, E. Y.; C. L. Vista: Organic pollutants in the coastal environment off San Diego, California. 1. Source identification and assessment by compositional indices of polycyclic aromatic hydrocarbons. Environmental Toxicology and Chemistry 16 (1997), 179-188.

Zook, C.; J. Feng: 1,1,1-Trichloro-2,2-bis-(4'-chlorophenyl)ethane (DDT) Pathway Map. http://umbbd.ahc.umn.edu/ddt/ddt_map.html, 2001.

Zook, C.; J. Feng: 1,1,1-Trichloro-2,2-bis-(4'-chlorophenyl)ethane (DDT) Anaerobic Pathway Map. http://umbbd.ahc.umn.edu/ddt2/ddt2_map.html, 2002.

ANHÄNGE

Anhang 1 bis Anhang 3 (ab S. 191) können kostenlos als PDF-Datei von folgender Webseite heruntergeladen werden:

http://edocs.tu-berlin.de/diss/verlagsausgabe/diss_verlag_2002_koch_matthias.html

9 ANHANG 1: ERGÄNZUNGEN ZUM HAUPTTEIL

Zur Erläuterung der in dieser Dissertation durchgeführten Arbeiten wird im folgenden Anhang 1 ergänzendes Material zusammengestellt.

9.1 ERGÄNZUNGEN ZU ABSCHNITT 3.1.1, 3.1.3 UND 3.1.4: ELEMENTE IN SIELHÄUTEN

Tabelle 50 Verteilung der Gehalte von Elementen in Sielhautproben auf Basis der Trockenmasse (mg/kg TM)

mg/kg TM	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn	Fe
N=	373	373	373	194	373	373	373	373	255	373	373	373	373	373	373	373
niedrigster Wert	0,05	0,01	0,6	1,2	113	252	213	166	62	158	2392	6	0,9	2,8	8	305
10% Perzentil	1,7	0,09	12	39	513	1680	2901	2301	426	1116	17264	42	3,5	16	80	3260
25% Perzentil	3,4	0,15	20	76	969	2392	5851	4978	728	1986	28842	93	9,0	27	142	6994
50% Perzentil	5,8	0,26	30	254	1825	3536	10350	9645	1242	3046	46197	165	16,9	45	237	12416
75% Perzentil	9,4	0,41	44	450	3187	6212	17823	14003	1972	4650	74193	289	27,0	88	439	23885
90% Perzentil	14,1	0,67	70	643	5435	13938	23559	25514	3453	6496	123311	438	45,3	199	852	41688
höchster Wert	191,2	11,17	1231	1301	69167	53860	111440	113547	8961	28608	264589	2621	114,9	12343	99249	382652

mg/kg TM	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ru	As
N=	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	33	373	373	373	373	373
niedrigster Wert	0,11	1,0	0,4	7	0,10	0,05	0,21	4,2	0,11	0,41	12	0,44	0,14	0,04	0,14	0,003	0,21
10% Perzentil	1,9	12	69	383	1,2	0,27	1,5	27,6	0,56	3,0	64	1,5	0,5	0,17	2,0	0,011	1,5
25% Perzentil	3,5	18	146	641	1,9	0,58	2,5	41,9	0,88	5,3	102	2,1	0,9	0,26	3,7	0,023	2,5
50% Perzentil	5,9	28	268	1076	3,1	1,21	4,1	63,4	1,47	8,8	140	4,0	2,3	0,44	6,7	0,047	4,1
75% Perzentil	10,2	50	555	1651	4,8	2,09	7,0	111,3	2,12	13,5	202	6,8	7,1	0,73	15,9	0,115	7,0
90% Perzentil	16,6	110	1754	3932	6,4	3,49	12,3	221,3	3,17	20,1	264	8,6	13,6	1,17	56,8	0,272	12,3
höchster Wert	65,7	7152	30609	113647	30,5	31,24	127,6	2393,8	37,40	48,9	1405	10,8	82,0	24,19	650,2	0,796	127,6

Tabelle 50 (Fortsetzung) Verteilung der Gehalte von Elementen in Sielhautproben auf Basis der Trockenmasse (mg/kg TM)

mg/kg TM	Rh	Ag	Pd	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
N=	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373
niedrigster Wert	0,0005	0,03	0,01	0,01	0,2	0,01	1,0	0,013	16	0,17	0,4	0,06	0,23	0,03	0,009	0,05
10% Perzentil	0,010	0,4	0,05	0,43	1,1	0,21	2,4	0,15	97	2,0	4,1	0,5	1,6	0,25	0,09	0,35
25% Perzentil	0,017	1,1	0,08	0,76	2,3	0,34	3,8	0,34	187	3,4	8,3	0,9	3,1	0,51	0,16	0,63
50% Perzentil	0,028	1,6	0,13	1,26	6,1	0,76	7,9	0,69	348	6,2	14,5	1,5	5,5	0,94	0,27	1,16
75% Perzentil	0,048	2,7	0,21	2,55	19,6	2,02	21,3	1,22	549	10,1	23,5	2,6	9,5	1,54	0,40	1,87
90% Perzentil	0,100	4,4	0,36	8,24	76,0	5,55	54,6	1,86	860	16,1	38,4	3,9	14,9	2,30	0,62	3,13
höchster Wert	1,474	4831,9	1,30	661,03	711,9	194,51	2608,6	96,58	3046	798,2	641,6	49,8	79,9	18,19	13,84	481,62

mg/kg TM	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
N=	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373	373
niedrigster Wert	0,004	0,025	0,005	0,007	0,001	0,005	0,002	0,0012	0,009	0,0004	0,002	0,005	0,001	0,5	0,003	0,05
10% Perzentil	0,034	0,18	0,032	0,09	0,012	0,08	0,010	0,008	0,23	0,009	0,05	0,28	0,039	16	0,45	0,31
25% Perzentil	0,076	0,41	0,067	0,20	0,027	0,17	0,023	0,019	0,50	0,019	0,17	0,56	0,071	38	0,81	0,49
50% Perzentil	0,131	0,68	0,119	0,33	0,046	0,30	0,042	0,044	0,96	0,033	0,38	1,23	0,115	73	1,53	0,78
75% Perzentil	0,198	1,09	0,186	0,52	0,075	0,48	0,069	0,128	2,63	0,057	0,77	3,23	0,193	189	2,82	1,31
90% Perzentil	0,314	1,70	0,264	0,75	0,109	0,67	0,096	0,286	8,77	0,115	1,51	8,19	0,400	406	5,56	2,16
höchster Wert	2,240	12,30	1,878	5,29	2,508	6,34	0,606	1,657	268,90	2,698	28,37	465,51	3,281	7991	495,30	303,02

Tabelle 51 Verteilung der Gehalte von Elementen in Sielhautproben auf Basis des Glühverlustes (mg/kg GV)

mg/kg GV	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn
N=	357	357	357	188	357	357	357	357	248	357	357	357	357	357	357
niedrigster Wert	0,1	0,01	1,5	3	191	264	404	445	259	391	5811	6	1	2,9	8
10% Perzentil	2,9	0,13	23	64	1338	2708	5604	6120	1053	2813	31792	79	5	26	116
25% Perzentil	5,9	0,29	43	159	2418	4509	12258	12252	1686	5248	54646	180	16	49	271
50% Perzentil	13,7	0,59	71	552	4255	8507	26370	20680	2705	7522	99886	387	37	111	545
75% Perzentil	28,1	1,37	110	1047	7284	16303	46380	36669	5051	10701	205551	826	83	291	1361
90% Perzentil	61,9	2,76	187	1561	14795	41257	75485	58556	8271	15231	505351	1993	187	638	3718
höchster Wert	1070,3	45,69	2278	17153	114178	626278	589900	468236	25889	113927	21488883	43818	2968	33359	694048

mg/kg GV	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ru
N=	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	32	357	357	357	357
niedrigster Wert	327	0,1	1,0	1,0	18	0,10	0,05	0,22	5	0,1	0,5	12	0,49	0,18	0,04	0,15	0,003
10% Perzentil	5092	3,1	17	109	673	1,8	0,5	2,2	52	1,1	6	127	2,3	1,0	0,26	4,1	0,021
25% Perzentil	12906	6,4	36	319	1303	4,0	1,2	5,2	97	2,1	10	197	3,9	1,7	0,52	8,0	0,046
50% Perzentil	28551	14,0	68	676	2492	7,7	2,8	9,2	163	3,6	21	314	10,7	5,5	1,07	16,1	0,100
75% Perzentil	78099	32,8	163	1753	5164	13,7	6,6	22,1	296	5,6	39	580	28,2	21,8	2,18	53,7	0,376
90% Perzentil	154160	62,7	371	4242	10579	25,2	14,2	48,3	543	8,8	79	1057	63,4	50,2	4,56	212,9	1,098
höchster Wert	1796490	695,0	42848	43479	653146	282,2	147,8	641,0	5925	155,5	1132	9556	94,1	640,2	53,29	1337,9	6,994

Tabelle 51 (Fortsetzung) Verteilung der Gehalte von Elementen in Sielhautproben auf Basis des Glühverlustes (mg/kg GV)

mg/kg GV	As	Rh	Ag	Pd	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
N=	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357
niedrigster Wert	0,22	0,0005	0,05	0,04	0,03	0,2	0,05	1	0,02	16	0,2	0,4	0,06	0,24	0,03	0,010	0,05
10% Perzentil	2,2	0,018	1,1	0,09	0,8	2,4	0,36	5	0,3	173	2,9	6	0,7	2,5	0,4	0,14	0,5
25% Perzentil	5,2	0,033	1,9	0,16	1,5	4,8	0,78	10	0,6	381	6,5	15	1,7	6,0	0,9	0,31	1,2
50% Perzentil	9,2	0,070	3,6	0,31	3,1	16,7	1,93	21	1,7	859	15,6	37	4,0	13,7	2,2	0,63	2,8
75% Perzentil	22,1	0,149	7,8	0,63	7,9	58,6	5,80	55	3,5	1573	32,2	69	7,9	28,1	4,6	1,21	5,7
90% Perzentil	48,3	0,313	17,5	1,08	24,6	202,0	22,38	132	7,5	3269	68,3	180	17,4	62,3	10,9	2,77	12,8
höchster Wert	641,0	2,094	10504,1	8,50	1786,6	3214,1	483,91	3094	114,6	17832	1157,0	3011	359,9	1431,4	257,1	67,50	620,5

mg/kg GV	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
N=	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357
niedrigster Wert	0,004	0,026	0,005	0,007	0,001	0,005	0,002	0,0014	0,01	0,0008	0,003	0,006	0,001	1,1	0,003	0,05
10% Perzentil	0,06	0,30	0,05	0,14	0,022	0,14	0,016	0,017	0,5	0,018	0,14	0,58	0,06	31	0,69	0,48
25% Perzentil	0,14	0,73	0,12	0,37	0,047	0,32	0,040	0,036	1,1	0,036	0,40	1,12	0,15	69	1,45	0,91
50% Perzentil	0,32	1,68	0,29	0,82	0,111	0,73	0,102	0,098	2,3	0,075	0,81	2,81	0,29	181	3,82	1,86
75% Perzentil	0,62	3,40	0,55	1,57	0,223	1,42	0,199	0,401	7,8	0,171	1,71	9,14	0,63	529	8,75	4,42
90% Perzentil	1,47	8,35	1,36	3,74	0,540	3,30	0,480	0,982	25,3	0,347	4,24	29,26	1,37	1377	21,51	8,49
höchster Wert	35,16	183,85	30,33	95,10	13,695	81,08	10,933	15,354	1108,9	9,547	163,06	520,12	11,84	23159	5003,03	1249,55

Tabelle 52 Verteilung der Gehalte von Elementen in Sielhautproben auf Basis des Glührückstandes (mg/kg GR)

mg/kg GR	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr	Mn
N=	357	357	357	188	357	357	357	357	248	357	357	357	357	357	357
niedrigster Wert	0,09	0,03	0,7	2,0	121	528	448	199	76	186	2499	16	1,0	9,8	40
10% Perzentil	5,0	0,23	20	68	832	3283	6512	3630	709	1933	32637	129	12,3	41	209
25% Perzentil	7,4	0,33	36	144	1800	5277	11789	9961	1355	3241	67439	210	21,5	61	308
50% Perzentil	11,6	0,54	63	392	4212	8189	22228	19138	2644	6054	114808	345	33,9	93	499
75% Perzentil	18,0	0,79	105	855	7732	14104	35851	38475	5261	12015	162477	556	50,3	189	817
90% Perzentil	26,0	1,23	182	1782	15965	24769	55506	67570	8590	22514	227460	877	73,3	339	1584
höchster Wert	309,9	21,00	2022	23745	91534	156730	470227	441454	61772	151028	1324863	5682	274,9	19592	115810

mg/kg GR	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Ru
N=	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	32	357	357	357	357
niedrigster Wert	2324	1,2	3,8	0,6	12	0,7	0,20	1,0	12,1	0,22	0,6	19	2,0	0,21	0,13	0,43	0,004
10% Perzentil	9402	5,4	27	167	758	2,7	0,75	3,3	48,5	1,06	6,4	125	4,3	1,1	0,37	4,5	0,028
25% Perzentil	15075	7,8	40	288	1420	4,1	1,31	5,3	74,6	1,65	11,8	199	5,5	2,4	0,59	8,0	0,055
50% Perzentil	25033	11,7	57	549	2254	6,6	2,39	8,6	133,1	3,04	18,8	292	7,1	5,3	0,94	14,6	0,122
75% Perzentil	46419	19,3	99	1215	3986	9,3	4,33	14,3	240,4	4,97	29,2	444	10,8	14,6	1,46	35,9	0,246
90% Perzentil	78571	28,6	244	3414	7878	13,3	6,52	24,8	597,5	7,80	43,4	654	12,6	27,6	2,31	109,2	0,482
höchster Wert	486217	242,5	8659	103409	137588	72,4	61,73	212,2	6494,2	96,65	260,5	4183	30,5	118,0	44,31	1805,2	2,982

Tabelle 52 (Fortsetzung) Verteilung der Gehalte von Elementen in Sielhautproben auf Basis des Glührückstandes (mg/kg GR)

mg/kg GR	Rh	Ag	Pd	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
N=	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357
niedrigster Wert	0,004	0,04	0,02	0,02	0,3	0,01	1,1	0,02	63	0,78	1,0	0,16	0,60	0,10	0,04	0,11
10% Perzentil	0,021	0,9	0,10	1,01	2,4	0,40	4,2	0,48	229	5,1	12,1	1,3	4,7	0,74	0,23	0,95
25% Perzentil	0,032	2,0	0,16	1,61	4,8	0,84	7,8	0,76	404	8,0	19,3	2,0	7,5	1,23	0,37	1,58
50% Perzentil	0,057	3,6	0,28	2,73	12,7	1,74	17,7	1,39	700	12,2	29,3	3,2	11,3	1,90	0,53	2,24
75% Perzentil	0,099	6,3	0,47	4,94	49,3	4,02	42,9	2,26	1117	19,6	43,3	4,9	17,7	2,88	0,78	3,55
90% Perzentil	0,197	10,3	0,83	16,11	147,4	11,61	182,3	3,45	1873	29,5	68,5	7,0	23,6	4,00	1,09	5,26
höchster Wert	4,980	17534,1	18,97	1049,25	995,4	384,02	16615,6	615,19	10783	5084,4	1069,4	82,9	150,2	34,18	19,57	2152,03

mg/kg GR	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
N=	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357	357
niedrigster Wert	0,021	0,099	0,019	0,050	0,009	0,046	0,005	0,003	0,012	0,0008	0,004	0,009	0,010	0,8	0,003	0,16
10% Perzentil	0,106	0,61	0,097	0,30	0,037	0,26	0,035	0,019	0,49	0,017	0,08	0,46	0,089	48	1,08	0,69
25% Perzentil	0,171	0,93	0,159	0,46	0,061	0,40	0,051	0,043	1,09	0,034	0,33	1,22	0,145	85	1,84	1,10
50% Perzentil	0,259	1,40	0,238	0,68	0,092	0,59	0,079	0,097	2,10	0,068	0,86	2,77	0,234	158	3,26	1,65
75% Perzentil	0,379	2,03	0,343	0,96	0,136	0,85	0,123	0,273	5,83	0,127	2,00	6,56	0,383	311	5,83	2,58
90% Perzentil	0,526	2,75	0,475	1,37	0,191	1,18	0,167	0,581	18,82	0,271	3,63	18,20	0,744	746	8,66	4,97
höchster Wert	4,211	23,12	4,582	9,94	3,468	28,34	1,139	2,383	354,98	17,183	34,35	4433,40	15,109	15951	549,72	400,02

Tabelle 53 Übersicht über anthropogene bzw. industrielle Einflüsse auf die Elementgehalte der Sielhäute

Element	Anreicherung gegenüber Erdkruste	Schiefe der Verteilung	Variationskoeffizient
Li	niedrig	niedrig	mittel
Be	niedrig	niedrig	mittel
B	hoch	niedrig	mittel
F	mittel	sehr niedrig	niedrig
Na	niedrig	mittel	mittel
Mg	niedrig	hoch	mittel
Al	niedrig	mittel	niedrig
P	sehr hoch	niedrig	niedrig
S	hoch	mittel	niedrig
K	niedrig	niedrig	niedrig
Ca	hoch	mittel	niedrig
Ti	sehr niedrig	mittel	mittel
V	niedrig	niedrig	niedrig
Cr	mittel	hoch	sehr hoch
Mn	mittel	hoch	sehr hoch
Fe	mittel	hoch	niedrig
Co	niedrig	mittel – hoch	hoch
Ni	hoch	hoch	hoch
Cu	hoch	hoch	hoch
Zn	sehr hoch	mittel	hoch
Ga	mittel	niedrig	niedrig
Ge	niedrig	niedrig – mittel	mittel
As	mittel	mittel – hoch	mittel
Br	sehr hoch	hoch	mittel
Se	hoch	niedrig	mittel
Rb	sehr niedrig	niedrig	niedrig
Sr	hoch	niedrig – mittel	niedrig
Y	niedrig	niedrig – mittel	niedrig – mittel
Zr	sehr niedrig	sehr hoch	mittel
Nb	sehr niedrig	mittel	mittel
Mo	mittel	sehr hoch	hoch
Ru	hoch	hoch	mittel
Rh	sehr hoch	mittel	mittel
Ag	sehr hoch	mittel	sehr hoch
Pd	hoch	mittel	niedrig
Cd	sehr hoch	hoch	sehr hoch
Sn	mittel	sehr hoch	mittel – hoch
Sb	hoch	hoch	hoch

Tabelle 53 (Fortsetzung) Übersicht über anthropogene bzw. industrielle Einflüsse auf die Elementgehalte der Sielhäute

Element	Anreicherung gegenüber Erdkruste	Schiefe der Verteilung	Variationskoeffizient
I	sehr hoch	hoch	hoch
Cs	niedrig	niedrig – mittel	hoch
Ba	hoch	niedrig	niedrig
La	niedrig	niedrig	hoch
Ce	niedrig	niedrig – mittel	mittel
Pr	sehr niedrig	mittel	mittel
Nd	niedrig	mittel	niedrig
Sm	niedrig	niedrig – mittel	niedrig
Eu	hoch	niedrig	mittel
Gd	niedrig	niedrig	hoch
Tb	niedrig	niedrig	niedrig
Dy	niedrig	niedrig – mittel	niedrig
Ho	niedrig	niedrig	niedrig
Er	niedrig	niedrig –mittel	niedrig
Tm	niedrig	niedrig	mittel
Yb	niedrig	niedrig	niedrig
Lu	niedrig	niedrig – mittel	niedrig
Hf	sehr niedrig	sehr hoch	mittel
W	sehr niedrig	sehr hoch	hoch
Re	hoch	mittel	mittel
Pt	hoch	mittel	mittel
Au	sehr hoch	mittel	mittel
Hg	hoch	hoch	hoch
Tl	mittel	mittel	mittel
Pb	hoch	hoch	hoch
Th	niedrig	mittel	sehr hoch
U	niedrig	mittel	sehr hoch

Die Einstufung der Anreicherung gegenüber der Erdkruste in niedrig-mittel-hoch basiert auf folgendem Ansatz:

$$A = \frac{c}{10000 \cdot H}$$

A: Anreicherungsgrad

C: Gehalt des Elements in der Sielhaut, in mg/kg TM

H: Häufigkeit des Elements in der Lithosphäre (oberhalb 16 km) plus Hydrosphäre (Ozeane) und Atmosphäre, in Massen-% (Fluck und Heumann (1991)

Für jedes Element wird der Median des Anreicherungsgrades über alle Proben gebildet. Die hier ermittelten Anreicherungsgrade A werden in folgende Klassen eingeteilt:

A < 0,1 stark abgereichert

0,1 < A < 1,0 abgereichert

1 < A < 10 angereichert

A > 10 stark angereichert

Da hier eine starke Häufung der Elemente in der Gruppe „abgereichert“ auftrat, wurden zusätzlich die Perzentile dieser Anreicherungsgrade und vier Gruppen mit den Grenzen 25 %, 50 % und 75 % Perzentile gebildet. Letztlich erfolgte eine subjektive Einordnung basierend auf beiden Ansätzen. Die Einordnung hinsichtlich „sehr niedrig“ und „sehr hoch“ erfolgte, wenn ein Element für beide Ansätze als „stark abgereichert“ bzw. „stark angereichert“ eingestuft wurde.

Zur Einordnung der Schiefe der Verteilung wurden die Schiefemaße I, II und III herangezogen. Diese werden wie folgt berechnet[135]:

$$Schiefe\,I = \frac{3 \cdot (\bar{x} - \tilde{x})}{s}$$

$\bar{x}$: Mittelwert

$\tilde{x}$: Median

s: Standardabweichung

$$Schiefe\,II = \frac{(DZ_9 - \tilde{x}) - (\tilde{x} - DZ_1)}{(DZ_9 - \tilde{x}) + (\tilde{x} - DZ_1)}$$

DZ_9: 9. Dezilkoeffizient, 90 % Perzentil

DZ_1: 1. Dezilkoeffizient, 10 % Perzentil

$\tilde{x}$: Median

$$Schiefe\,III = \frac{(Q_3 - \tilde{x}) - (\tilde{x} - Q_1)}{(Q_3 - \tilde{x}) + (\tilde{x} - Q_1)}$$

Q_3: 3. Quartil, 75 % Perzentil

Q_1: 1. Quartil, 25 % Perzentil

$\tilde{x}$: Median

Für die Zuordnung der Schiefe in niedrig – mittel – hoch wurden Perzentile der einzelnen Schiefemaße über alle Elemente gebildet. Elemente, die für alle drei Schiefemaße unter bzw. im Bereich der 25 % Perzentile lagen, wurden unter „niedrig“ eingestuft, die sich im Bereich des 50 % Perzentils (Median) befinden unter „mittel“, die sich über bzw. im Bereich des 75 % Perzentils unter „hoch“ eingestuft. Die Übergangsbereiche niedrig – mittel bzw. mittel – hoch wurden gewählt, wenn die drei Schiefemaße für ein Element stark

[135] Basierend auf: Sachs (1997)

variierten. Eine Einstufung in sehr niedrig bzw. sehr hoch erfolgte, wenn diese im Bereich des 10 % Perzentils bzw. 90 % Perzentils lagen.

Der Variationskoeffizient V gilt als Indikator für die Streuung der Verteilung und wird wie folgt berechnet:

$$V = \frac{s}{\bar{x}}$$

$$V_r(\%) = \frac{s/\bar{x}}{\sqrt{n}} \cdot 100$$

V: Variationskoeffizient

S: Standardabweichung

$\bar{x}$: Mittelwert

V_r: relativer Variationskoeffizient, in %

n: Anzahl der Proben

Ähnlich wie für die Schiefemaße wurde hier die Verteilung von V und Vr anhand der Perzentile betrachtet und in niedrige – mittlere – hohe Streuung eingeordnet.

Tabelle 54 Signifikant positive Korrelationen einiger Schwermetalle

Schwermetall	Signifikant positiv korreliert mit
Cr	Li, Be, Mg, Ti, V, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Zr, Nb, Mo, Rh, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Hg, Tl, Pb, Th, U
Ni	Li, Be, B, Mg, S, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Hg, Tl, Pb, Th, U
Cu	Be, B, Mg, P, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, Ge, As, Br, Se, Zr, Nb, Mo, Rh, Ag, Cd, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Lu, Hf, W, Au, Hg, Tl, Pb, Th, U
Zn	Li, Be, B, Mg, Al, P, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, As, Br, Se, Rb, Zr, Nb, Mo, Rh, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Hg, Tl, Pb, Th, U
Cd	Li, Be, Mg, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Zr, Nb, Mo, Rh, Ag, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Pt, Hg, Tl, Pb, Th, U
Hg	Be, B, Al, P, Ca, Cr, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Br, Se, Sr, Mo, Ru, Rh, Ag, Cd, Sn, Sb, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Yb, Hf, W, Pt, Au, Tl, Pb, Th, U
Pb	Li, Be, Na, Mg, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Rb, Zr, Nb, Mo, Rh, Ag, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Pt, Hg, Tl, Th, U

Tabelle 55 Signifikant positive Korrelationen einiger Halogene[136]

Halogen	Signifikant positiv korreliert mit
F	Na, Al, S, Ti, Ge, Sr, Nb, Ru, Rh, Tm, Hf
Br	B, Na, S, K, Mn, Fe, Cu, As, Zr, I, Hf, Hg
I	B, Na, P, K, Mn, Cu, As, Br, Rb, Nb, Rh, Ba, Eu, Gd

Tabelle 56 Signifikant positive Korrelationen einiger Alkali- und Erdalkalimetalle

Alkali- bzw. Erdalkalimetall	Signifikant positiv korreliert mit
Na	B, F, P, K, Ti, Fe, Br, Se, Sr, Zr, Ag, I, Sm, Eu, Gd, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Pt, Au, Pb, Th, U
Mg	Li, Be, Al, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, As, Se, Rb, Sr, Zr, Nb, Mo, Ru, Rh, Cd, Sn, Sb, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Tl, Pb, Th, U
K	B, Na, Mg, Al, P, Mn, Fe, Co, Ge, Br, Se, Rb, Zr, I, Cs, Hf, Au, Tl, Pb
Ca	Mg, Mn, Sr, Ru, Rh, Ba, Eu, Pt, Au, Hg, U
Rb	Li, Be, B, Mg, Al, K, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Zn, Ga, As, Se, Zr, Nb, Ru, Cd, Sb, I, Cs, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, Tl, Pb, Th, U
Sr	B, F, Na, Mg, Al, P, Ca, Ga, Se, Ru, Rh, Ba, Pt, Au, Hg, U

Tabelle 57 Signifikant positive Korrelationen einiger Edelmetalle

Edelmetall	Signifikant positiv korreliert mit
Ru	F, Mg, S, Ca, Ti, Mn, Co, Ni, Ga, Ge, Se, Rb, Sr, Rh, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Pt, Au, Hg, U
Rh	B, F, Mg, P, S, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Se, Sr, Zr, Nb, Mo, Ru, Ag, Cd, Sn, Sb, I, Cs, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Er, Tm, Yb, Lu, Hf, W, Pt, Au, Hg, Tl, Pb, Th, U
Ag	Na, Al, Cu, Ga, Se, Zr, Rh, Cd, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Sm, Gd, Hf, Au, Hg, Tl, Pb
Pt	B, Na, P, Ca, Sr, Ru, Rh, Cd, Sn, Ba, La, Ce, Pr, Nd, Eu, W, Au, Hg, Th, U
Au	B, Na, Al, P, K, Ca, V, Mn, Fe, Cu, Ga, Ge, Se, Sr, Zr, Ru, Rh, Ag, Ba, La, Ce, Pr, Tm, Lu, Hf, Pt, Hg

[136] Darüber hinaus ist Fluor signifikant negativ mit Beryllium und Bor korreliert.

9.2 ERGÄNZUNGEN ZU ABSCHNITT 3.1.5: GRUNDLEGENDE QUELLTYPEN

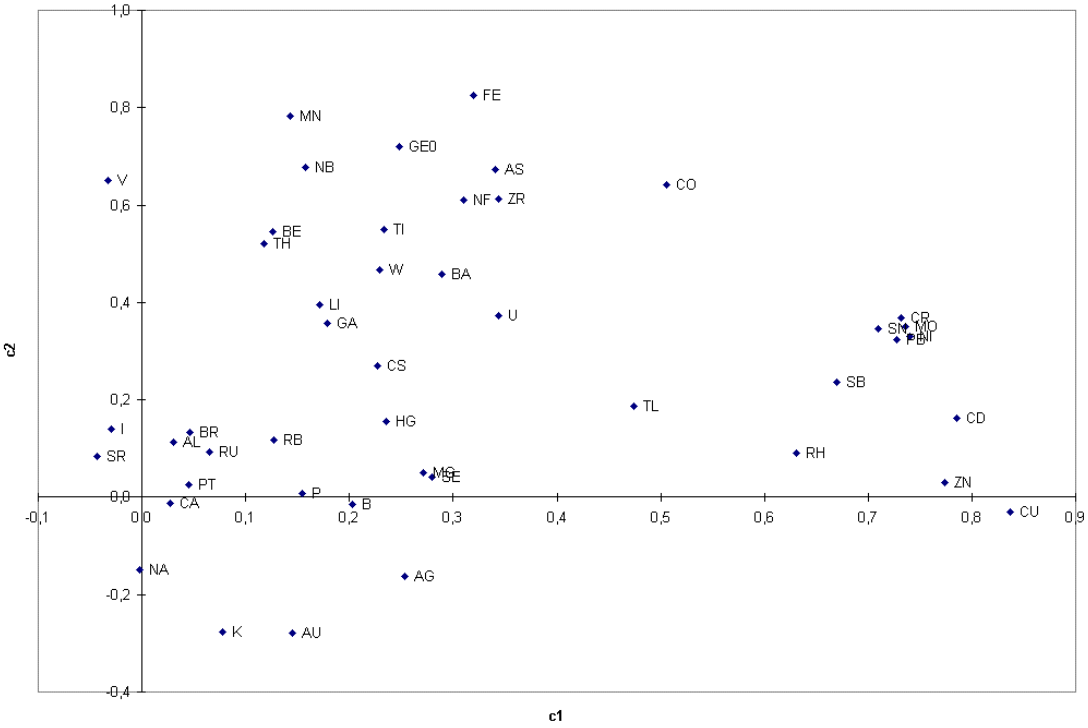


Bild 67 Scoreplot der Faktoren 1 und 2

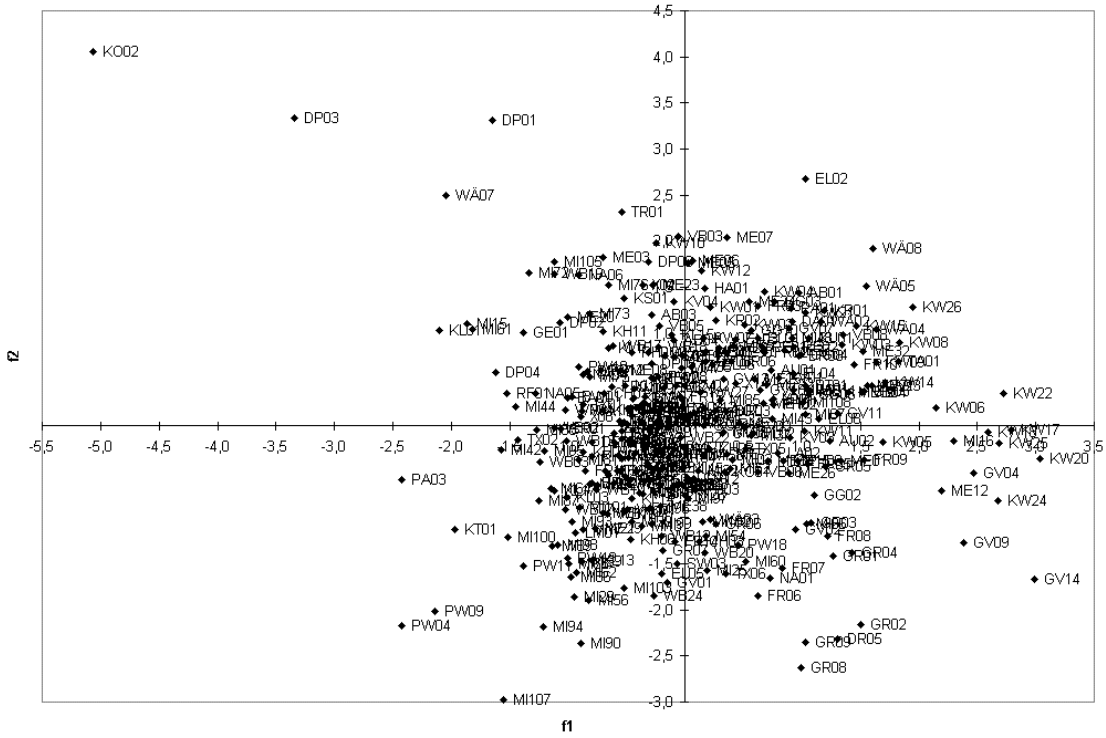


Bild 68 Ladungsdiagramm der Faktoren 1 und 2

9.3 ERGÄNZUNGEN ZU ABSCHNITT 3.1.7: INDIKATORELEMENTE UND SYSTEMATISCHE UNTERSCHIEDE ZWISCHEN HERKUNFTSBEREICHEN

Im Folgenden werden die Diskriminanzanalysen für die Branchen bzw. Herkunftsbereiche Deponie, Druckereien, Elektrotechnik/Elektronik, Forschungseinrichtungen, Galvanik, Krankenhäuser, Kfz-Werkstätten, metallbe- und –verarbeitende Betriebe, Nahrungsmittelindustrie, Verkehrsbetriebe, Wäschereien und Wohngebiete im Detail dokumentiert.

9.3.1 Deponie

Proben im Abstrom von Deponien zeichnen sich durch überdurchschnittlich hohe Gehalte[137] von Eisen, Germanium, Arsen und Barium aus.

Bei der Diskriminanzanalyse der transformierten Werte mit schrittweiser Aufnahme erfüllen insgesamt zehn Elemente die Kriterien für die Minimierung des Wilks-Lambda[138]. Die Elemente werden in der folgenden Reihenfolge aufgenommen: Eisen, Antimon, Blei, Arsen, Kobalt und Barium. Tabelle 58 gibt eine Übersicht über die entsprechenden standardisierten kanonischen Diskriminanzfunktionskoeffizienten.

Tabelle 58 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten für die schrittweise Vorwärtsmethode der Proben mit Deponien als Quelle

	Funktion
Element	1
B	.319
Mn	-.372
Fe	.916
Co	-.347
Cu	-.385
Ga	-.309
As	.622
Sb	-.470
Ba	.409
Pb	-.282

Die Trennung der beiden Probengruppen ist auf diesem Weg nur mäßig erfolgreich. Zwar werden insgesamt 98,1 % aller Proben korrekt klassifiziert. Dies gilt aber nur für 2 von 6 der Deponieproben. Bild 69 zeigt die Verteilung der Deponieproben und der übrigen

[137] Basierend auf dem Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte: D.h. die Nullhypothese „Die Mittelwerte der beiden Gruppen sind gleich“ wird mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit (Signifikanzniveau) von < 5 % abgelehnt.

[138] In einzelnen wurden folgende Kriterien für die Aufnahme bzw. den Ausschluß der Variablen angewendet: Minimaler partieller F-Wert für die Aufnahme ist 3,84; maximaler partieller F-Wert für den Ausschluß ist 2,71. Weitere Details sind in Abschnitt 7.4.7 auf Seite 172 erläutert.

Proben entsprechend der kanonischen Diskriminanzfunktion nach der schrittweisen Vorwärtsmethode.

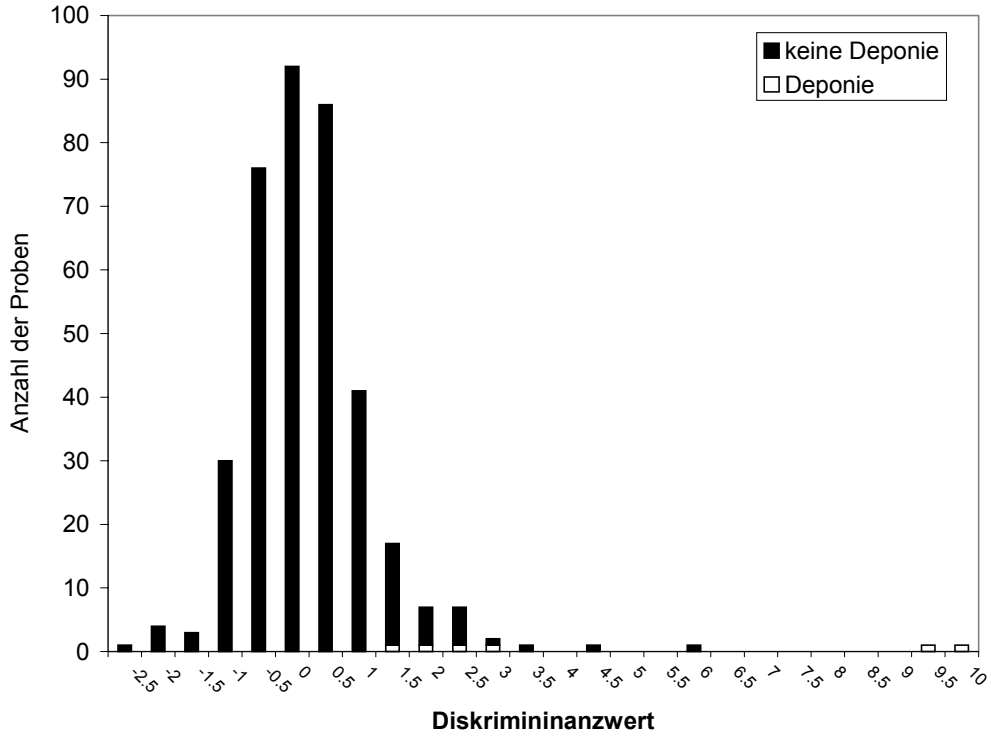


Bild 69 Verteilung von Proben mit Deponien als Quelle und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion in der schrittweisen Vorwärtsmethode

Die Diskriminanzfunktion aller Variablen erlaubt eine bessere Trennung der Proben von Deponien als Quelle von den übrigen Proben. Insgesamt sind 98,9 % (Originalklassifizierung) bzw. 97,8 % (mit Kreuzvalidierung[139]) korrekt klassifiziert. Von den Deponien beeinflussten Proben werden 4 von 6 Proben (Original-Klassifizierung) bzw. 2 von 6 Proben (mit Kreuzvalidierung) korrekt klassifiziert. Das folgende Bild 70 zeigt die Verteilung der beiden Probengruppen entsprechend der Diskriminanzfunktion mit allen Variablen.

[139] Die Kreuzvalidierung ist in Abschnitt 7.4.7 auf Seite 172 erläutert.

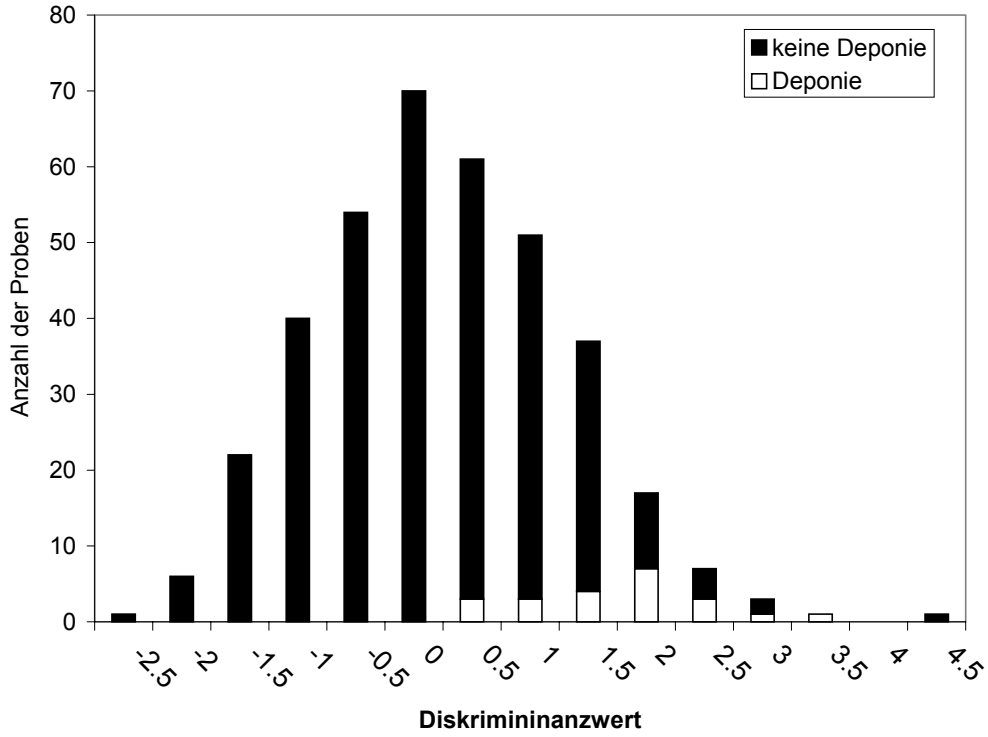


Bild 70 Verteilung der von Deponien beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion mit allen Variablen

Insgesamt zeigt sich, dass insbesondere hohe Eisen- und Arsengehalte auf Einträge aus Deponien hinweisen. Die Trennung zwischen von Deponien beeinflussten Proben und übrigen Proben ist grundsätzlich möglich, ist aber nur mit Wissen einer Vielzahl von Elementen einigermaßen gesichert erfolgreich.

9.3.2 Druckereien

In Sielhäuten im Abstrom von Druckereien wurden substantiell höhere Brom- und Silbergehalte als in den übrigen Proben gefunden. Für alle übrigen Elemente sind keine wesentlichen Unterschiede feststellbar.

Die Diskriminanzanalyse mit schrittweiser Aufnahme einzelner Variablen selektiert Silber, Platin und Quecksilber als wesentliche Variablen der kanonischen Diskriminanzfunktion. Tabelle 59 zeigt die standardisierten kanonischen Diskriminanzfunktionskoeffizienten dieser Variablen. Die Verteilung der beiden Probengruppen (Druckereien als Quelle und übrige Proben) wird in Bild 71 dargestellt. Die vorhergesagten Gruppenzugehörigkeiten sind für die von Druckereien beeinflussten Proben unzureichend, nur 2 von 8 Proben werden korrekt zugeordnet.

Tabelle 59 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten für die von Druckereien beeinflussten Proben

	Funktion
Element	1
Ag	-.956
Pt	.508
Hg	.465

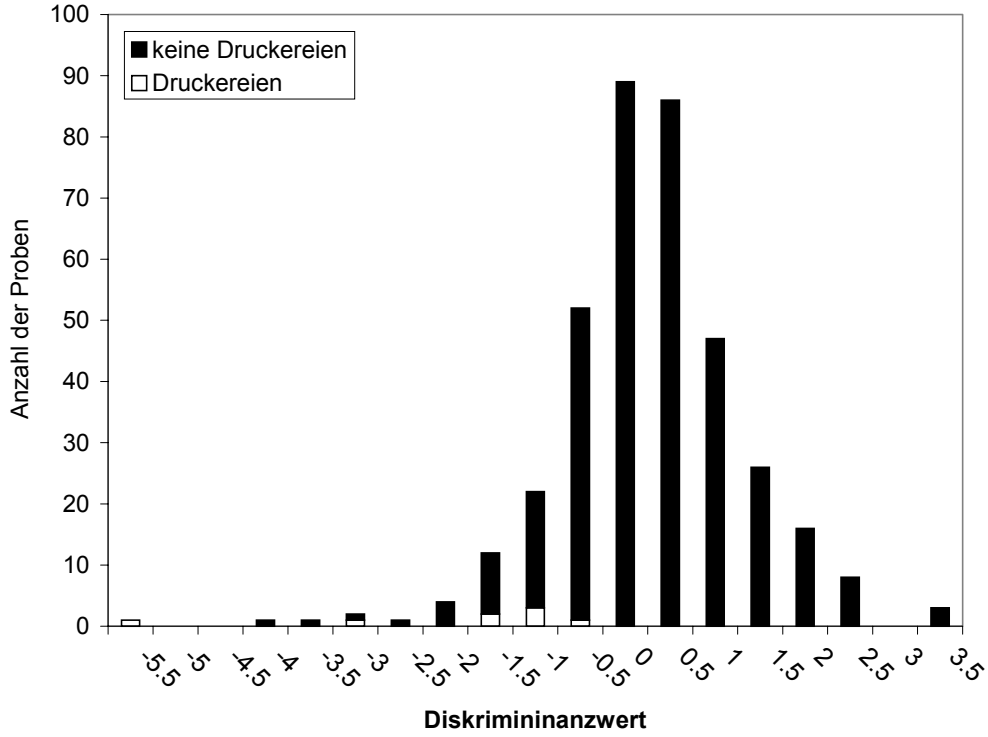


Bild 71 Verteilung der von Druckereien beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend obiger Diskriminanzfunktion

Die Diskriminanzanalyse der transformierten Werte für alle Variablen selektiert anfangs Silber und Platin als bedeutende Elemente. Silber hat in den Druckereien eine höhere, Platin eine niedrigere Belastung als in den übrigen Proben. Bild 72 zeigt die Verteilung der von Druckereien beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion. Die Vorhersagegenauigkeit der Gruppenzugehörigkeit erreicht insgesamt 99,2 % (Original-Klassifizierung) bzw. 95,7 % (mit Kreuzvalidierung). Für die von Druckereien beeinflussten Proben werden allerdings nur 6 von 8 Proben (Original-Klassifizierung) bzw. 2 von 8 Proben (Kreuzvalidierung) korrekt zugeordnet.

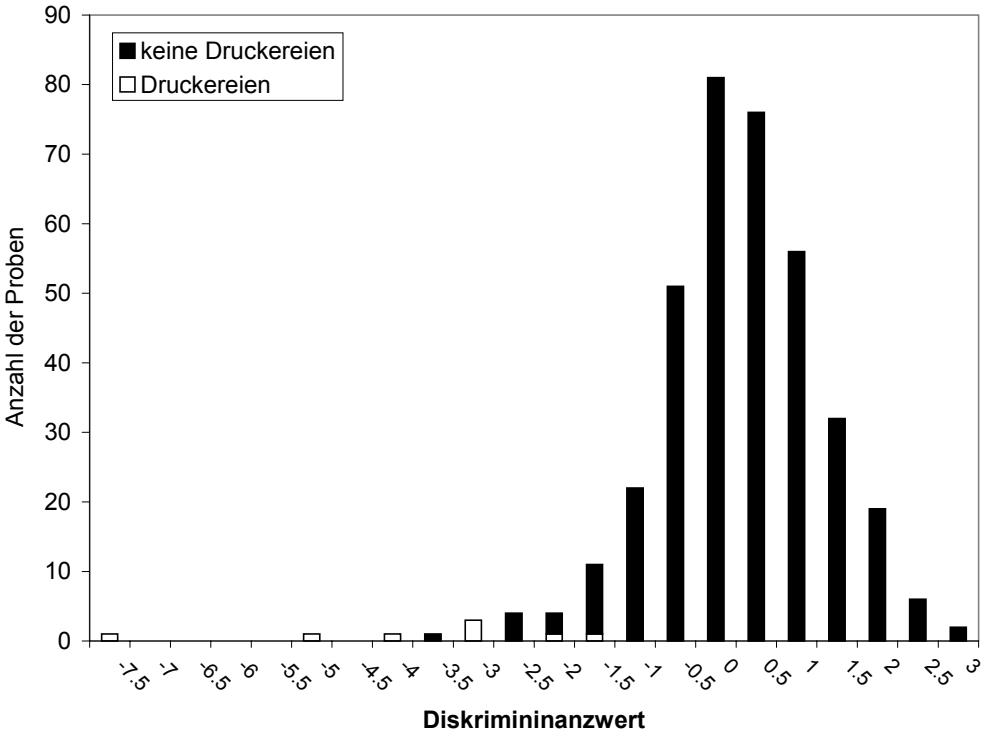


Bild 72 Verteilung der von Druckereien beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion für alle Variablen

Insgesamt kann ein hoher Silbergehalt als möglicher Indikator für Einträge aus Druckereien verwendet werden. Die Anwendung der Diskriminanzanalyse erzielt bei den von Druckereien beeinflussten Proben nur für alle Variablen eine einigermaßen zuverlässige Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit.

9.3.3 Elektrotechnik/Elektronik

In den Sielhautproben im Abstrom elektrotechnischer und elektronischer Betriebe zeigen eine Reihe von Elementen erheblich höhere Belastungen: Bor, Natrium, Mangan, Kobalt, Nickel, Cer, Europium, Thallium und Thorium.

Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse nach der Methode mit schrittweiser Aufnahme von Variablen werden die folgenden Elemente in der angegebenen Reihenfolge aufgenommen: Thorium, Samarium, Europium, Barium, Cer, Praseodymium, Uran und Selen. Die jeweiligen standardisierten Diskriminanzfunktionskoeffizienten sind in der folgenden Tabelle 60 zusammengefasst. Positive Koeffizienten (Europium, Cer, Thorium, Selen) deuten auf höhere Gehalte in Sielhautproben beeinflusst durch elektrotechnische/elektronische Betriebe hin, während negative Werte (Samarium, Praseodymium, Barium, Uran) auf entsprechend niedrigere Belastungen in diesen Proben hinweisen. Die Verteilung der beiden Probengruppen (Bild 73) entsprechend obiger Diskriminanzfunktion. Es werden insgesamt 98,1 % aller Proben korrekt klassifiziert, allerdings trifft dies nur für 3 von 8 Proben der Quelle Elektrotechnik/Elektronik zu.

Tabelle 60 Kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten für die Proben beeinflusst durch die Quelle Elektrotechnik/Elektronik sowie für die übrigen Proben nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

	Funktion
Element	1
Se	.215
Ba	-.547
Ce	1.064
Pr	-.871
Sm	-1.477
Eu	1.519
Th	.646
U	-.306

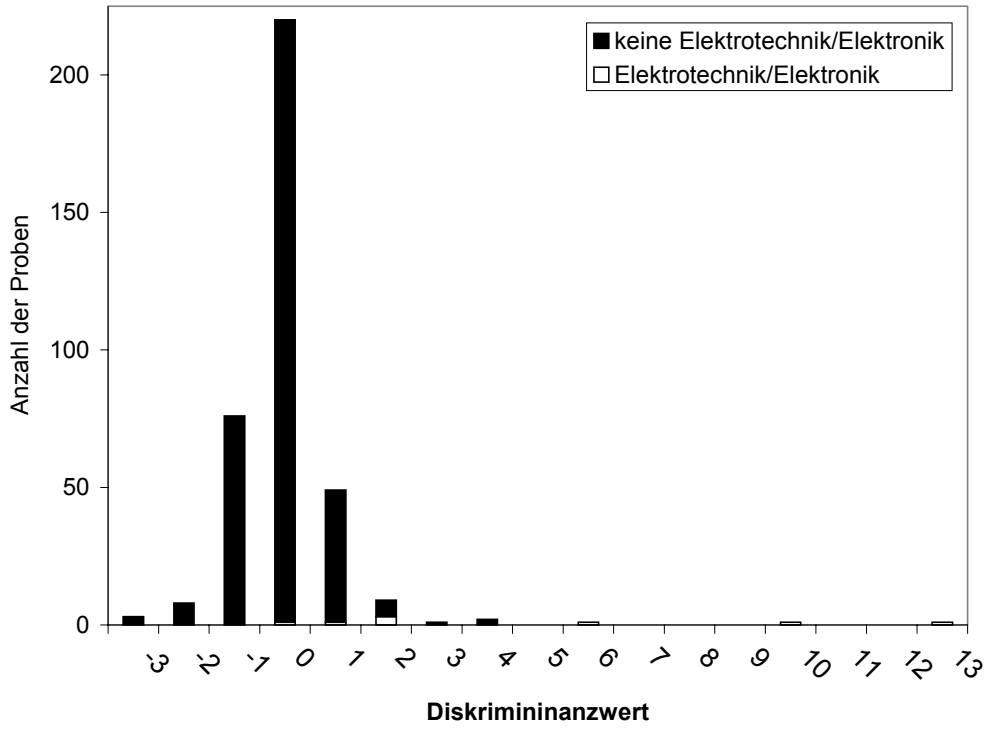


Bild 73 Verteilungen der beiden Probengruppen (Quelle Elektrotechnik/Elektronik sowie übrige) entsprechend der obigen Diskriminanzfunktion

Für die Diskriminanzfunktion nach der Methode aller Variablen erscheinen die Elemente Europium, Samarium, Lutetium, Cer und Praseodymium als besonders wichtig. Während Europium, Lutetium und Cer mit einem positiven Diskriminanzfunktionskoeffizienten auf eine höhere Belastung in den Proben beeinflusst durch Elektrotechnik-/Elektronikbetriebe hinweisen, zeigen die Elemente Samarium und Praseodymium mit einem negativen Koeffizienten in diesen Proben eher eine vergleichsweise niedrige Belastung an. Die

Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit liegt bei insgesamt 99,5 % für die Originalklassifizierung bzw. 97,6 % für die Kreuzvalidierung. Für die Proben beeinflusst durch Elektrotechnik-/Elektronikbetriebe werden 6 von 8 Proben (Originalklassifizierung) bzw. 3 von 8 Proben (Kreuzvalidierung) korrekt zugeordnet. Eine Übersicht über die Verteilung der Proben entsprechend der Diskriminanzanalyse der Variable gibt Bild 74.

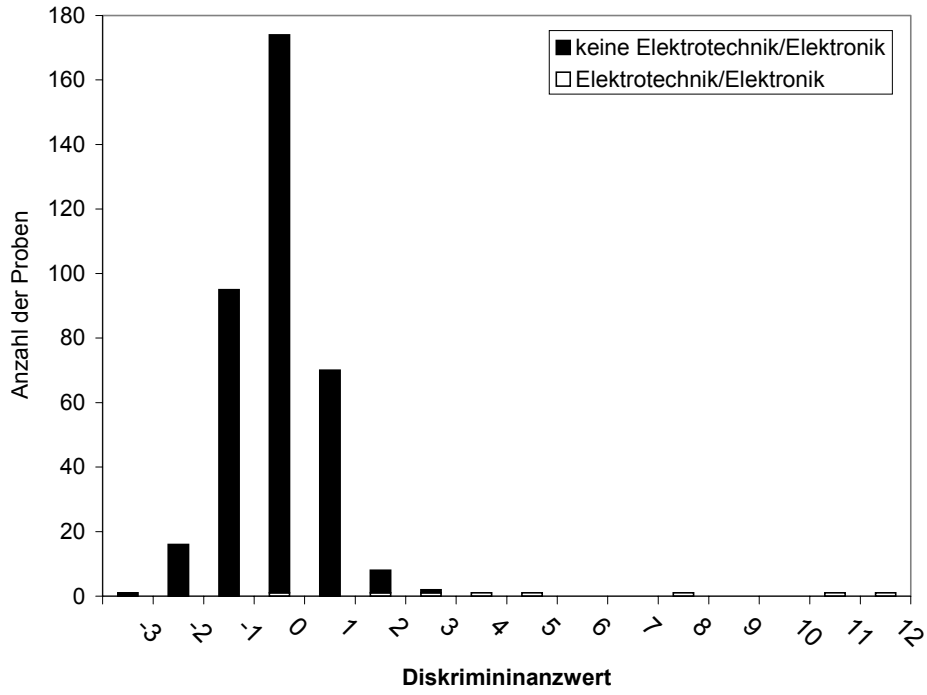


Bild 74 Verteilung der Proben beeinflusst durch Elektrotechnik-/Elektronikbetriebe und der übrigen Proben für die Diskriminanzanalyse der transformierten Werte mit allen Variablen

Insgesamt können die Lanthanoide Europium und Cer als Indikator für Einträge aus elektrotechnischen/elektronischen Betrieben gelten. Die Trennung der Proben beeinflusst durch elektrotechnische/elektronische Betriebe mit Hilfe der Diskriminanzanalyse ist oft besser als für andere Quellbereiche möglich, eine eindeutige Trennung bleibt aber auch hier schwierig.

9.3.4 Forschungseinrichtungen

Für eine Reihe von Elementen waren die Gehalte in Sielhäuten im Abstrom von Forschungseinrichtungen signifikant höher als in den übrigen Proben: Kobalt, Selen, Jod, Caesium, Lanthan, Thulium, Platin, Quecksilber und Thallium.

Bei der Diskriminanzanalyse mit der schrittweisen Aufnahme der Variablen werden insgesamt 9 Elemente berücksichtigt: Thallium, Quecksilber, Selen und Platin mit positiven Koeffizienten, d.h. einer höheren Belastung in den Proben mit der Quelle Forschungseinrichtungen. Demgegenüber haben Chrom, Thorium, Strontium, Aluminium und Bor negative Koeffizienten. Die standardisierten kanonischen Diskriminanzfunktionskoeffizienten sind in der folgenden Tabelle 61 angegeben. Die Größe des standardisierten

Diskriminanzkoeffizienten gibt einen Hinweis bzgl. deren Wichtigkeit. Hier zeigen Thallium und Chrom die größte diskriminatorische Bedeutung.

Tabelle 61 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten der Methode mit schrittweiser Aufnahme der Variablen

Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten

	Funktion
	1
B	-.253
AL	-.258
CR	-.472
SE	.453
SR	-.327
PT	.264
HG	.485
TL	.678
TH	-.389

Die davon abgeleitete Verteilung erreicht für insgesamt 97,3 % bzw. 96,8 % eine korrekte Klassifizierung, während für jeweils 7 von 16 Proben im Abstrom von Forschungseinrichtungen dies erreicht wird (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Die Verteilung der Probengruppen entsprechend obiger Diskriminanzfunktion zeigt folgendes Bild 75.

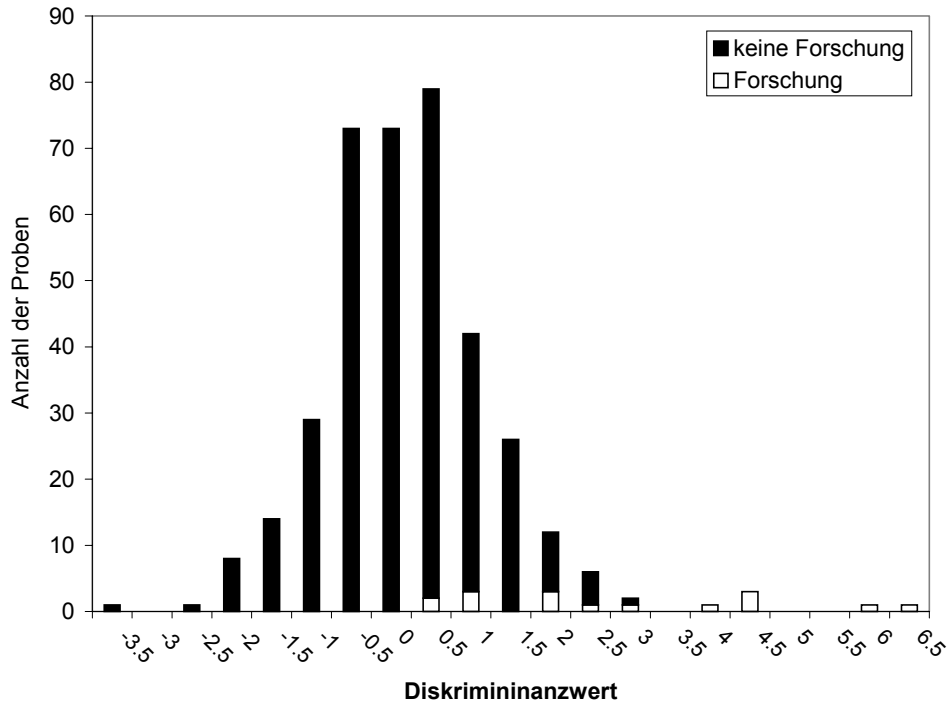


Bild 75 Verteilung der Proben der Forschungseinrichtung (weiß) und der übrigen Proben (schwarz) entsprechend der Diskriminanzfunktion nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

Für die Diskriminanzanalyse unter Berücksichtigung aller Variablen zeigen die Elemente Quecksilber, Thallium und Selen die stärkste Korrelation mit der Diskriminanzfunktion. Sie sind in den Proben beeinflusst von Forschungseinrichtungen in höheren Gehalten enthalten. Die Elemente Hafnium und Zirconium sind die wichtigsten Variablen mit niedrigerer Belastung in Proben beeinflusst von Forschungseinrichtungen. Mit dieser Diskriminanzfunktion werden insgesamt 98,7 % bzw. 96,0 % korrekt klassifiziert (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Von den durch Forschungseinrichtungen beeinflussten Proben werden allerdings nur 11 bzw. 3 von 16 Proben korrekt klassifiziert (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Die Verteilung der Probengruppen zeigt folgendes Bild 76.

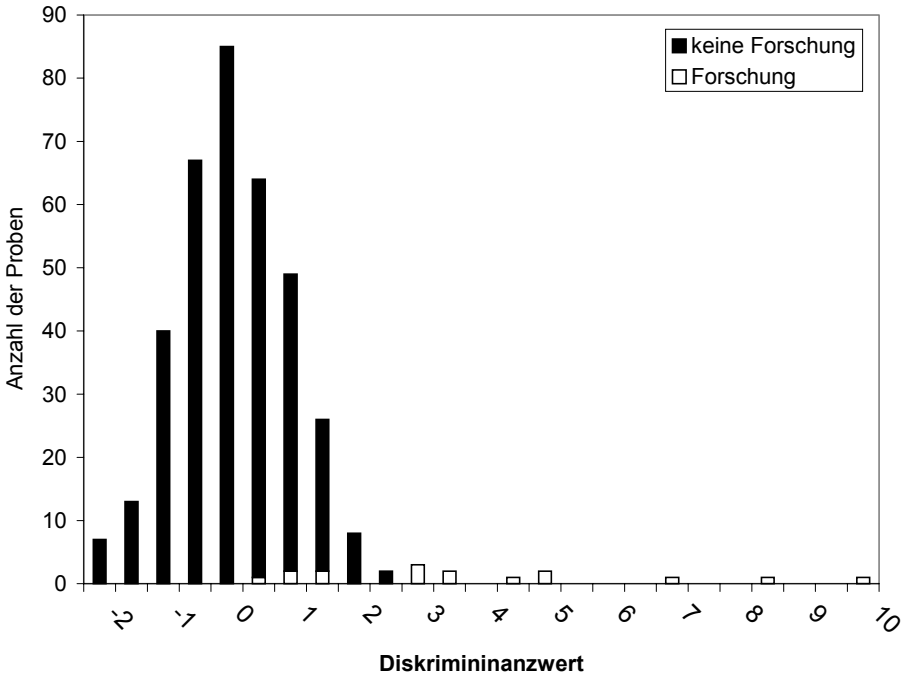


Bild 76 Verteilung der von Forschungseinrichtungen beeinflussten Proben und der übrigen Proben für die Diskriminanzanalyse mit allen Variablen

Insgesamt können die Elemente Quecksilber, Thallium und Selen als Indikatorelemente für die untersuchten Forschungseinrichtungen verwendet werden. Die Anwendung der Diskriminanzanalyse für die Trennung der Proben der Forschungseinrichtungen von den übrigen Proben ist nur mäßig erfolgreich.

9.3.5 Galvanik

In den Sielhäuten im Abstrom galvanischer Betriebe sind die Gehalte einiger Elemente erhöht. Neben den als Einsatzstoff in galvanischen Betrieben bekannten Schwermetallen Nickel, Kupfer, Zink, Silber, Zinn und Gold waren ebenfalls die Elemente Bor, Natrium, Magnesium, Kalium, Calcium, Kobalt, Selen, Rubidium, Ruthenium und Rhodium erhöht.

Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse schrittweise ausgewählter Variablen werden insgesamt 17 Elemente für die kanonische Diskriminanzfunktion selektiert. Als wesentliche Elemente

gelten hier Nickel, Blei, Chrom, Beryllium und Ruthenium. Die standardisierten kanonischen Diskriminanzfunktionskoeffizienten sind in der folgenden Tabelle 62 angegeben.

Tabelle 62 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten der Methode mit schrittweiser Aufnahme der Variablen

	Funktion
Element	1
Li	-.461
Be	.971
Ni	.522
Rb	.873
Ru	.438
Sb	-.448
Cs	-.448
Eu	-.441
Tm	-.536
Pb	.578
U	-.383

Hier werden 97,9 % aller Proben korrekt klassifiziert, allerdings nur 4 von 14 Proben der galvanischen Betriebe. Die Verteilung für beide Probengruppen entsprechend dieser Diskriminanzfunktion zeigt folgendes Bild 77.

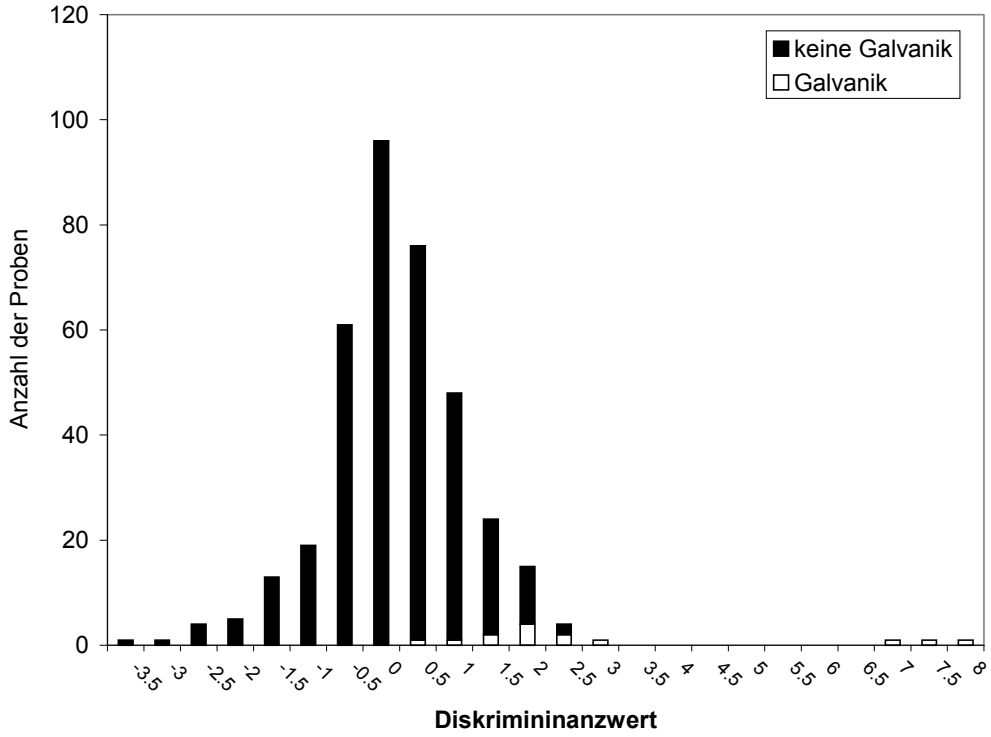


Bild 77 Verteilung der von galvanischen Betrieben beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion für die Methode mit schrittweiser Aufnahme der Variablen

Bei der Methode unter Berücksichtigung aller Variablen sind die Elemente Nickel, Chrom, Zink und Kupfer die bedeutendsten Variablen. Mit dieser Diskriminanzfunktion werden insgesamt 98,1 % bzw. 96,8 % korrekt klassifiziert (Originalklassifikation bzw. mit Kreuzvalidierung). Bei den von der Galvanikindustrie beeinflussten Proben werden entsprechend 7 bzw. 3 von 14 Proben korrekt klassifiziert. Folgendes Bild 78 zeigt die Verteilung der beiden Probengruppen.

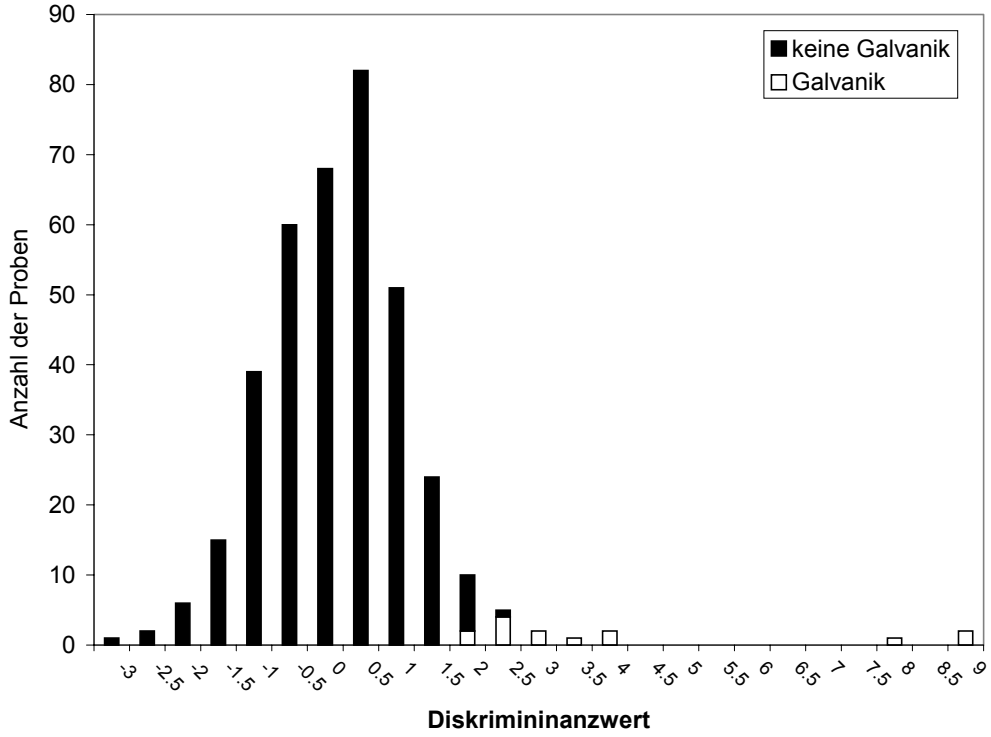


Bild 78 Verteilung der von Galvanikbetrieben beeinflussten Sielhautproben und der übrigen Proben für die Diskriminanzfunktion mit allen Variable

Insgesamt können ein Reihe von Schwermetallen, insbesondere Nickel und Chrom als Indikator für Einträge galvanischer Betriebe dienen. Die Trennung der galvanischen Betriebe von den übrigen Proben mit Hilfe der Diskriminanzanalyse kann i.d.R. nicht befriedigend gelöst werden.

9.3.6 Krankenhäuser

Die Sielhäute im Abstrom von Krankenhäusern unterscheiden sich in den Elementgehalten nur wenig von denen der übrigen Proben. Allein Barium lag hier substantiell höher.

Die Diskriminanzanalyse nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen wählt folgende sechs Element aus: Quecksilber, Barium, Arsen, Jod, Gold und Kobalt. Hiervon liegen Hg, Ba und I in den Krankenhäusern oft höher als in den übrigen Proben. Die entsprechenden Diskriminanzkoeffizienten sind in der folgenden Tabelle 63 dokumentiert.

Tabelle 63 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten für die von Krankenhäusern beeinflussten Proben nach der Methode mit schrittweiser Aufnahme der Variablen

	Funktion
Element	1
Co	-.436
As	-.518
I	.476
Ba	.547
Au	-.470
Hg	.771

Von allen Proben werden nach dieser Methode insgesamt 98,4 % korrekt klassifiziert, davon allerdings nur 6 von 12 der von Krankenhäusern beeinflussten Proben. Folgendes Bild 79 zeigt die Verteilung der beiden Probengruppen entsprechend dieser Diskriminanzfunktion.

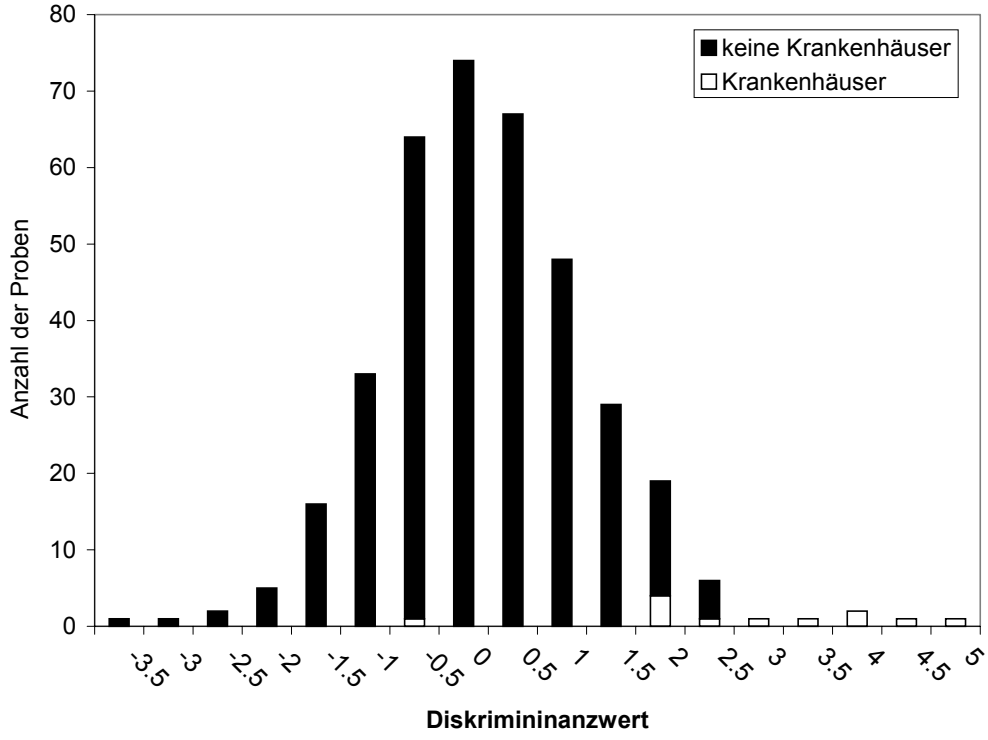


Bild 79 Verteilung der von Krankenhäusern beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

Nach der Methode der Berücksichtigung aller Variablen in der Diskriminanzfunktion sind für Krankenhäuser insbesondere die Elemente Quecksilber, Jod und Barium wesentlich. Die Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit ist für 98,1 % bzw. 96,8 % der Fälle korrekt (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Von den von Krankenhäusern beeinflussten Proben waren dies entsprechend 7 bzw. 6 von 12 Proben. Die Verteilung der

beiden Probengruppen entsprechend dieser Diskriminanzfunktion ist dem folgenden Bild 80 zu entnehmen.

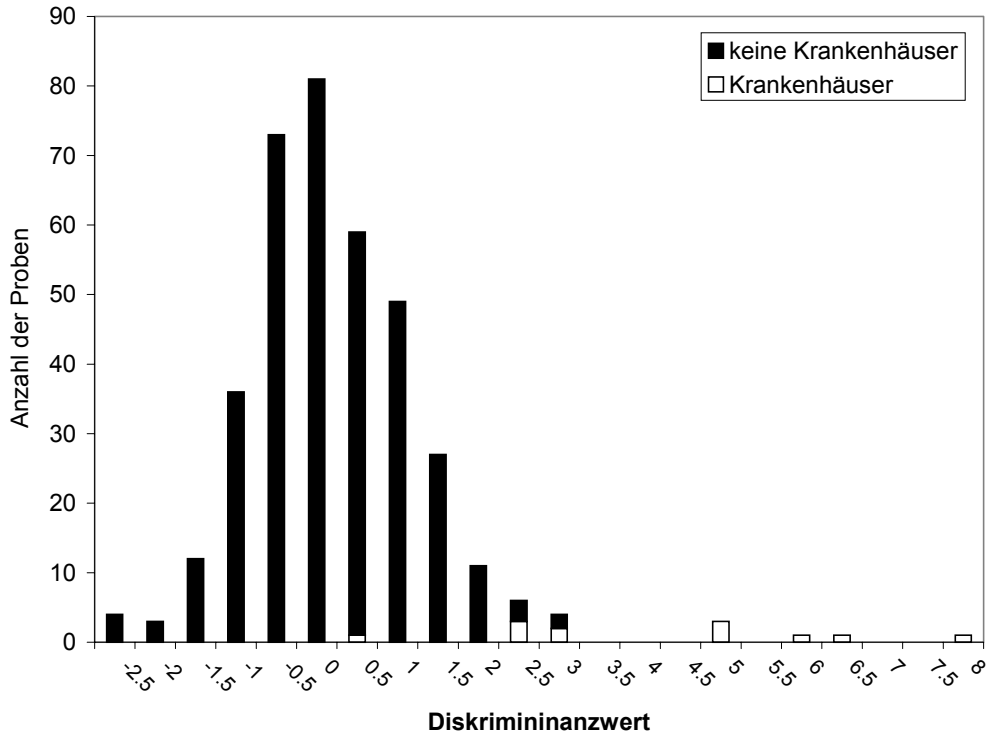


Bild 80 Verteilung der Krankenhausproben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion mit allen Variablen

Insgesamt erweisen sich Barium, Quecksilber und Jod als Indikator für Einträge aus Krankenhäusern. Die Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit ist nur befriedigend mit Hilfe dieser Diskriminanzfunktion möglich.

9.3.7 Kfz-Werkstätten

In den Sielhautproben der Kfz-Werkstätten zeigen eine Vielzahl von Elementen eine erhöhte Belastung. Zu diesen Elementen gehören Fluor, Schwefel, Titan, Vanadium, Eisen, Kobalt, Kupfer, Gallium, Germanium, Arsen, Rubidium, Zirconium, Molybdän, Antimon, Samarium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Lutetium und Hafnium.

In der Diskriminanzanalyse nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen werden insgesamt 11 Elemente ausgewählt. Die wichtigsten sind hier Antimon, Molybdän und Germanium. In der folgenden Tabelle 64 werden deren Diskriminanzfunktions-koeffizienten dokumentiert.

Tabelle 64 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten für die von Kfz-Werkstätten beeinflussten Proben nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

	Funktion
Element	1
Al	.223
Mn	-.201
Ni	-.345
Zn	.355
Ge	.619
Mo	.486
Sb	.587
La	-.220
W	-.518
Au	-.357
Hg	-.232

Mit dieser Diskriminanzfunktion wird die Gruppenzugehörigkeit von insgesamt 97,6 % bzw. 97,0 % aller Proben korrekt vorhergesagt (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Von den Kfz-Werkstattproben werden 18 bzw. 17 von 24 Proben korrekt klassifiziert. Die Verteilung der beiden Probengruppen entsprechend dieser Diskriminanzfunktion wird in dem folgenden Bild 81 dargestellt.

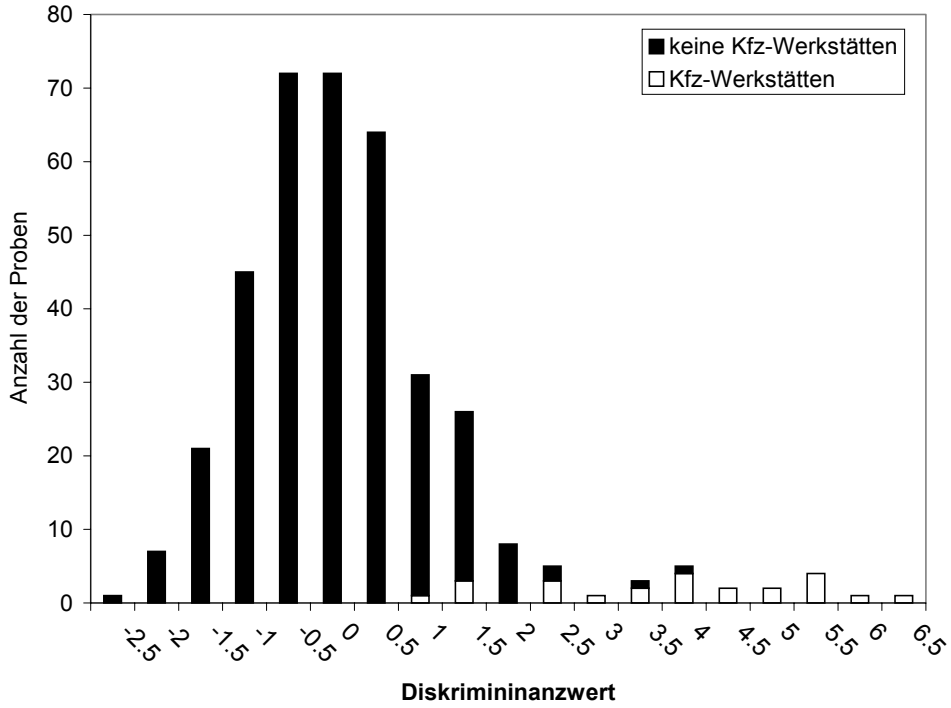


Bild 81 Verteilung der von Kfz-Werkstätten beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

Die Diskriminanzanalyse mit allen Variablen ermittelt Antimon, Zirconium, Hafnium und Molybdän als wichtigste Elemente zur Trennung der von Kfz-Werkstätten beeinflussten Proben von den übrigen Proben. Insgesamt werden 98,4 % bzw. 97,8 % aller Proben korrekt klassifiziert (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Für die Kfz-Werkstattproben sind dies entsprechend 20 bzw. 19 von 24 Proben. Die Verteilung der beiden Probengruppen ist dem folgenden Bild 82 zu entnehmen.

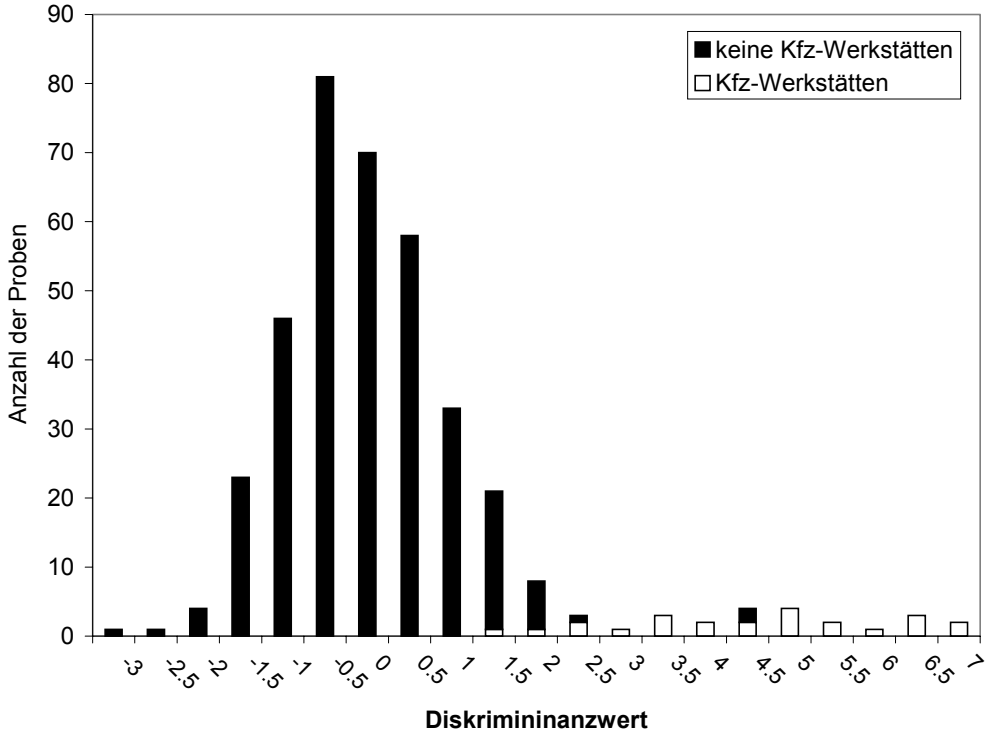


Bild 82 Verteilung der von Kfz-Werkstätten beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion mit allen Variablen

Insgesamt zeichnen sich von Kfz-Werkstätten beeinflusste Sielhautproben durch eine erheblich höhere Elementbelastung aus. Als Indikatorelemente sind Antimon, Zirconium, Hafnium, Molybdän und Germanium zu nennen. Die Diskriminanzanalyse erlaubt eine weitgehend akzeptable Trennung der von Kfz-Werkstätten beeinflussten Proben von den übrigen Proben.

9.3.8 Metallbe- und –verarbeitende Betriebe

Für die 35 Sielhautproben im Abstrom von metallbe- und –verarbeitenden Betrieben waren allein die Elemente Niob und Aluminium substantiell erhöht.

Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse nach der Methode der schrittweisen Aufnahme werden entsprechend Tabelle 65, Bild 83 und Bild 84 vier Elemente selektiert: Wolfram, Selen, Chrom und Cer. In der Strukturmatrix tauchen Wolfram und Chrom als bedeutendste Elemente auf.

Insgesamt werden nur 90 % bzw. 89,2 % der Fälle korrekt klassifiziert (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Von den durch metallbe- und -verarbeitende Betriebe beeinflussten Proben sind dies sogar nur 3 von 35 Proben.

Tabelle 65 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten für die Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

	Funktion
Element	1
Cr	.724
Se	-.528
Ce	-.401
W	.580

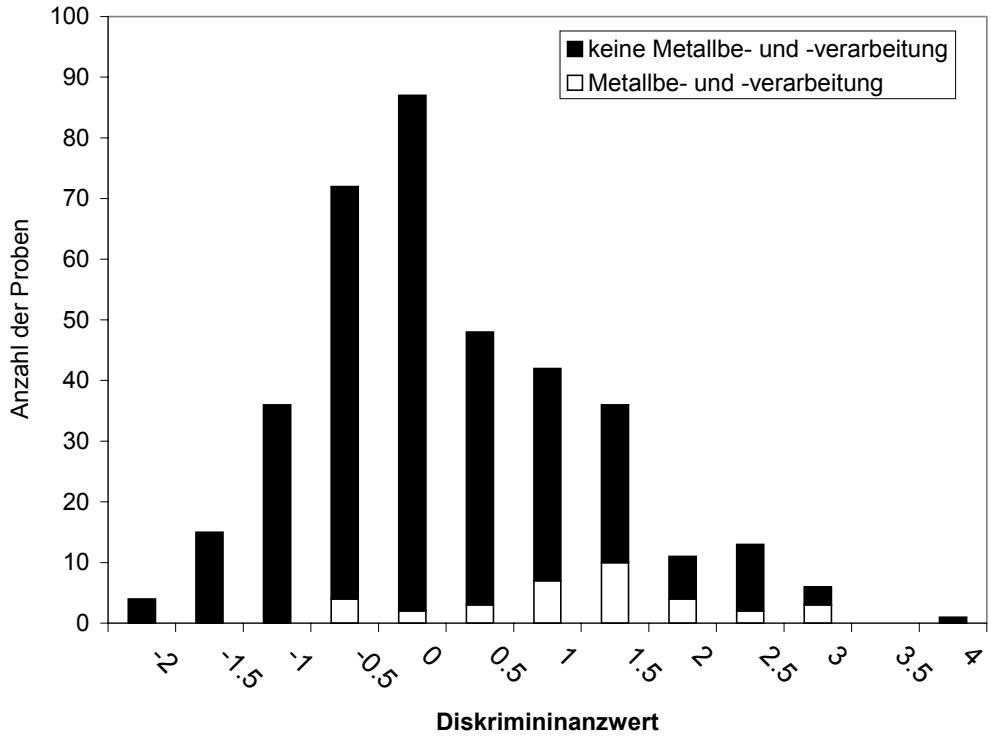


Bild 83 Verteilung der von metallbe- und –verarbeitenden Betrieben beeinflussten Proben sowie der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

In der Diskriminanzanalyse aller Variablen erschienen Wolfram, Nickel und Chrom als bedeutende Elemente.

Die Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit erreicht insgesamt 92,7 % bzw. 88,9 % aller Proben, für die metallbe- und –verarbeitenden Betrieben beeinflussten Proben erreicht diese allerdings nur 14 bzw. 8 von 35 Proben (jeweils Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung).

Die Verteilung der beiden Probengruppen ist in Bild 84 dargestellt.

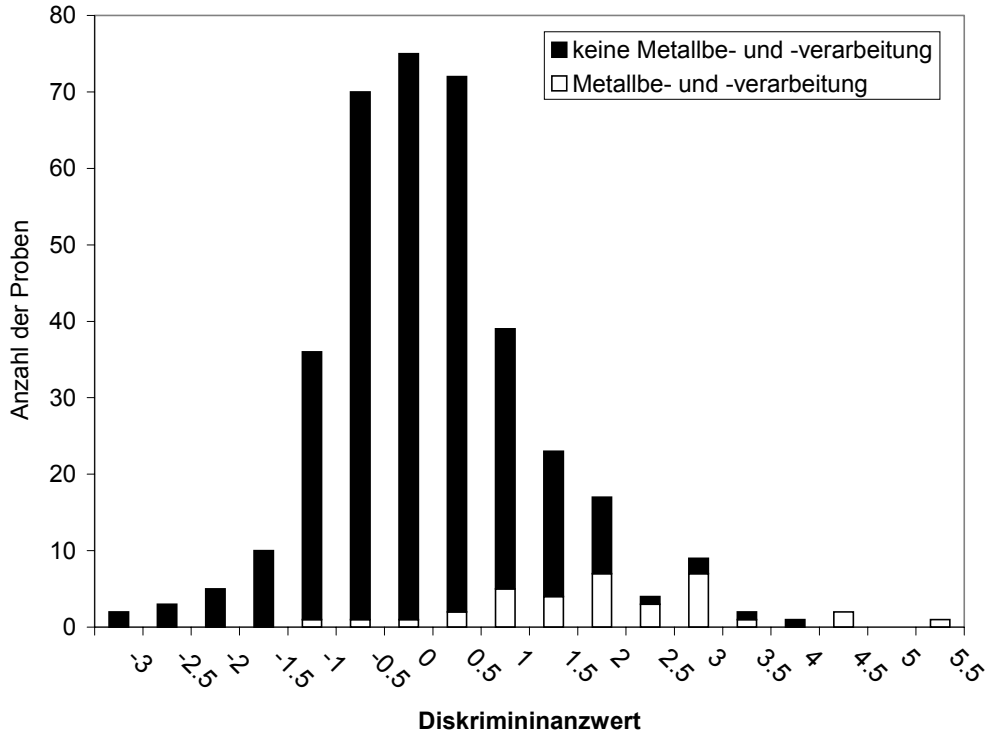


Bild 84 Verteilung der von metallbe- und –verarbeitenden Betrieben beeinflussten Proben sowie der übrigen Proben für die Diskriminanzmethode mit allen Variablen

Insgesamt erweist sich die Trennung der von metallbe- und –verarbeitenden Betrieben beeinflussten Proben als schwierig. Hohe Gehalte von Wolfram, Chrom und Nickel können auf Einträge aus diesem Industriezweig hinweisen.

9.3.9 Nahrungsmittelindustrie

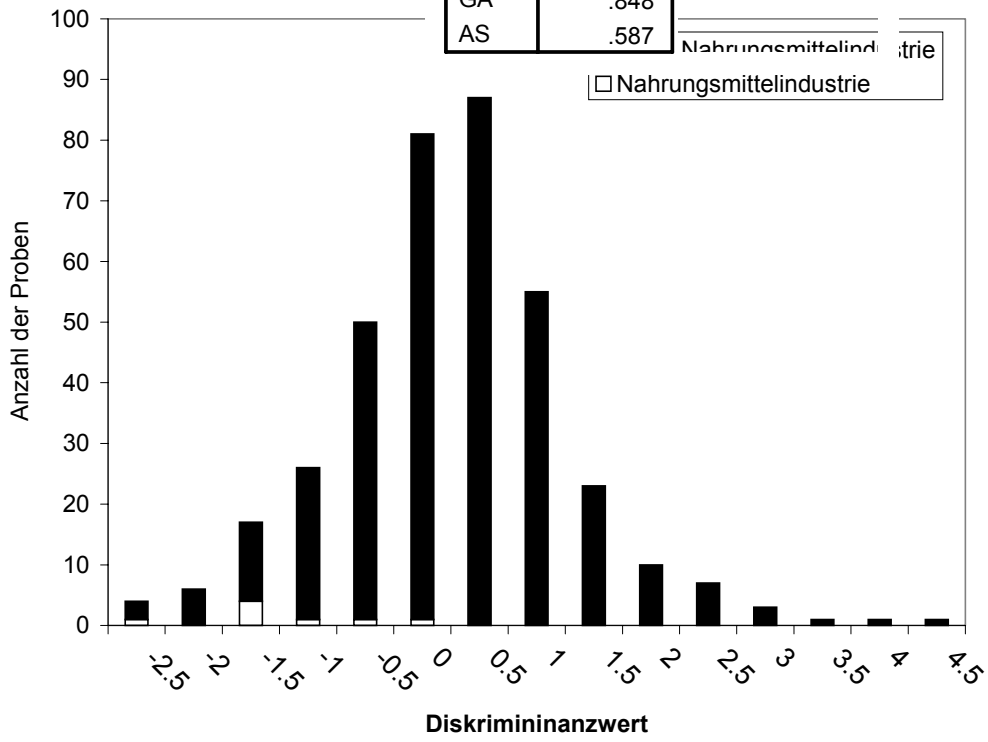
Für viele Elemente liegen die Gehalte in den Sielhäuten im Abstrom der Nahrungsmittelindustrie unterhalb der Gehalte in den übrigen Proben. Folgende Elemente zeigen hier signifikant höhere Gehalte entsprechend dem Gleichheitstest der Gruppenmittelwerte: Beryllium, Schwefel, Strontium, Neodymium, Samarium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Ytterbium und Lutetium.

In der Diskriminanzanalyse mit der schrittweisen Aufnahme von Variablen werden die Elemente Gallium, Vanadium und Arsen selektiert. Deren Diskriminanzfunktionskoeffizienten sind in Tabelle 66 genannt.

Tabelle 66 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten für die Methode der schrittweisen Annahme von Variablen

Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten

	Funktion
	1
V	-.788
GA	.848
AS	.587



Die Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit ist zwar für jeweils 97,8 % aller Proben korrekt, für die von Nahrungsmittelbetrieben beeinflussten Proben werden aber keine der 8 Proben korrekt klassifiziert (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Die Verteilung der Proben zeigt Bild 85.

Bild 85 Verteilung der von Nahrungsmittelbetrieben beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzmethode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

Bei der Anwendung der Diskriminanzanalyse mit allen Variablen zeigte die Strukturmatrix, dass Gallium, Kupfer, Arsen, Selen und Rhodium am stärksten mit der Diskriminanz-funktion korreliert sind. Die vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit ist zu 98,9% bzw. 96,0 % korrekt klassifiziert, für die Proben der Nahrungsmittelindustrie sind dies 4 bzw. 1 von 8 Proben (jeweils Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Die Verteilung der beiden Probengruppen zeigt folgendes Bild 86.

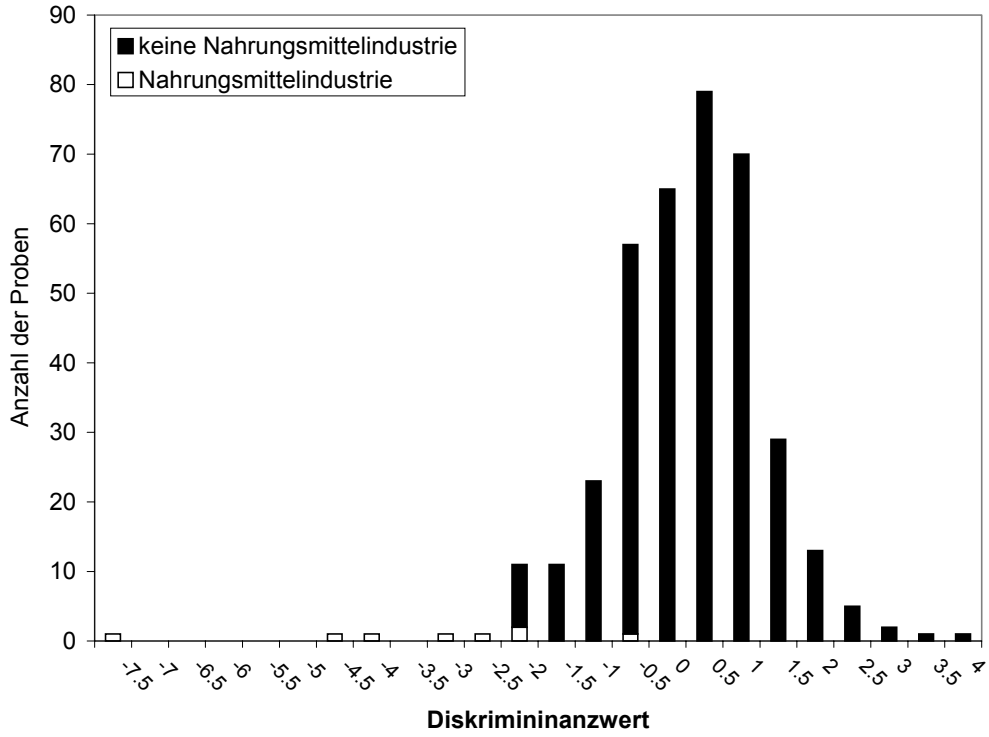


Bild 86 Verteilung der von Nahrungsmittelbetrieben beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzanalyse nach dem Verfahren mit allen Variablen

Insgesamt ist die Elementbelastung der von Nahrungsmittelbetrieben beeinflussten Proben eher niedrig einzustufen. Als Indikator für Einträge aus der Nahrungsmittelindustrie kommt evtl. Gallium in Frage. Die Trennung der von Nahrungsmittelbetrieben beeinflussten Proben von den übrigen Proben erfolgt meist nur unbefriedigend.

9.3.10 Verkehrsbetriebe

In den Sielhautproben im Abstrom der Verkehrsbetriebe befindet sich erheblich mehr Blei als in den meisten anderen Proben. Außerdem sind in einigen dieser Proben ebenfalls mehr Gallium, Ruthenium und Terbium enthalten.

Mit Hilfe der Diskriminanzanalyse, bei der die Variablen schrittweise aufgenommen werden, werden neue Element selektiert. Zu den Elementen mit höheren Gehalten in den von Verkehrsbetrieben beeinflussten Proben gehören hier Cadmium, Ruthenium und Gallium. Die entsprechenden Diskriminanzfunktionskoeffizienten sind in der folgenden Tabelle 67 dokumentiert.

Tabelle 67 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten der Diskriminanzmethode

	Funktion
Element	1
Al	.612
Ga	-.935
Ru	-.306
Ag	.471
Cd	-1.069
Sb	.460
Nf	.476
Au	.472
Tl	.559

Die Klassifizierungsergebnisse sind wie folgt: 97,8 % bzw. 97,6 % aller Proben werden korrekt klassifiziert (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Von den durch Verkehrsbetriebe beeinflussten Proben werden entsprechend 5 bzw. 4 von 8 Proben korrekt klassifiziert. In Bild 87 ist die Verteilung dieser beiden Probengruppen dargestellt.

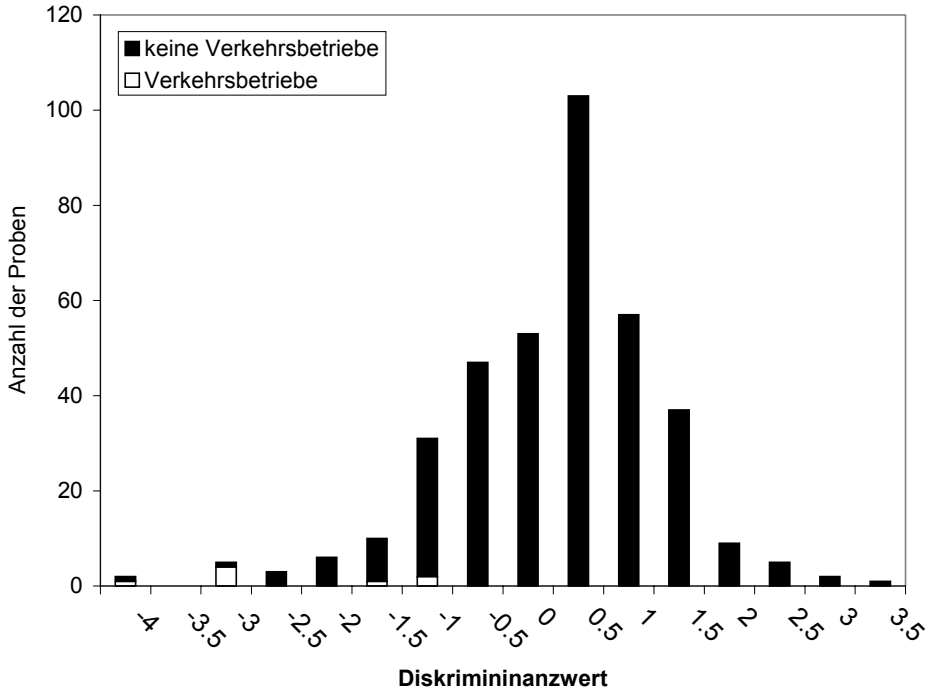


Bild 87 Verteilung der von Verkehrsbetrieben beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion mit schrittweiser Auswahl der Variablen

Mit der Diskriminanzanalyse unter Verwendung aller Variablen treten Cadmium, Eisen und Ruthenium als Elemente mit höherer Belastung in den von Verkehrsbetrieben beeinflussten Sielhautproben der hervor. Die Gruppenzugehörigkeit wird insgesamt für 99,5 % bzw. 96 % aller Proben korrekt vorhergesagt (Originalklassifizierung bzw. mit

Kreuzvalidierung). Für die von Verkehrsbetrieben beeinflussten Proben sind entsprechend 6 bzw. 2 von 8 Proben korrekt zugeordnet. Das folgenden Bild 88 zeigt die Verteilung der beiden Probengruppen.

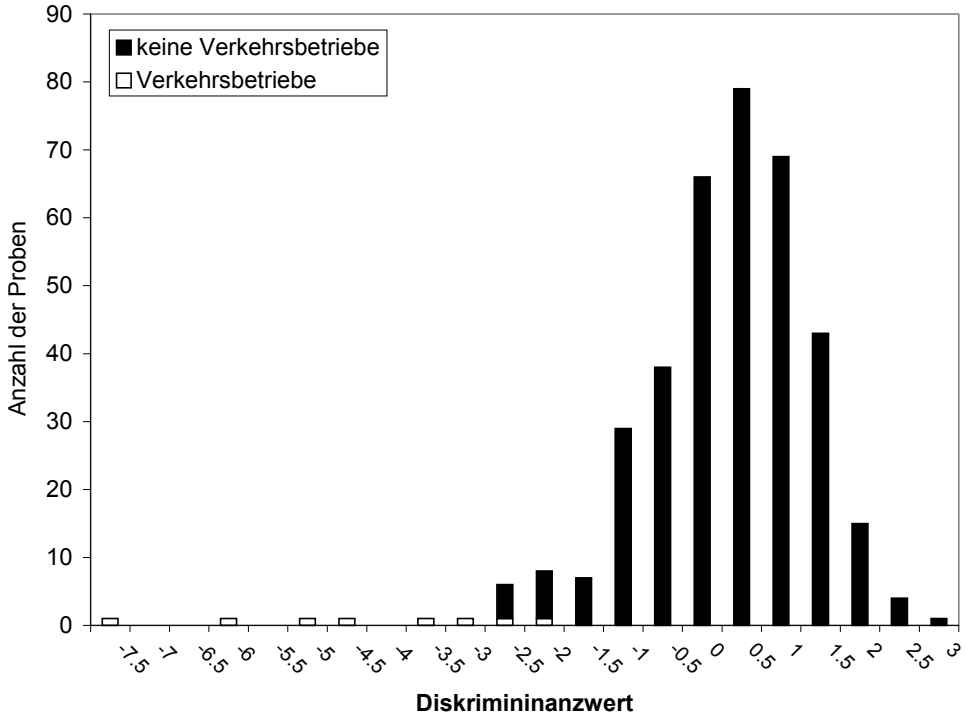


Bild 88 Verteilung der von Verkehrsbetrieben beeinflussten Proben und der übrigen Proben nach der Diskriminanzfunktion für alle Proben

Insgesamt sind zwar einzelne Elemente in den von Verkehrsbetrieben beeinflussten Proben mit oft höheren Gehalten festzustellen (z.B. Cadmium), die eindeutige Festlegung von Indikatorelementen erweist sich allerdings als schwierig. Die Trennung der von Verkehrsbetrieben beeinflussten Proben von den übrigen Proben ist zwar nicht zuverlässig möglich, aber oft besser als für andere Probengruppen.

9.3.11 Wäschereien

In einigen Sielhautproben von Wäschereien sind eine Vielzahl von Elementen mit erhöhten Gehalten zu finden: Natrium, Phosphor, Calcium, Kobalt, Zinn, Praseodymium, Neodymium, Wolfram, Platin, Gold und Uran. Einige der Elemente werden mit den Waschmitteln eingetragen, andere sind in Pigmenten und Farbstoffen der Textilien bzw. Schmutzpartikeln enthalten.

Mit der Diskriminanzanalyse, bei der die Variablen schrittweise aufgenommen werden, werden insgesamt 15 Elemente ausgewählt. Als wesentlich Elemente in der Strukturmatrix erweisen sich Wolfram, Platin, Phosphor, Kobalt und Zinn. Die Diskriminanzfunktions-koeffizienten dieser Analyse sind der folgenden Tabelle 68 zu entnehmen. Die Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit erfolgt zu 98,9 % bzw. 98,7 % korrekt (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Für die Wäschereiproben sind dies entsprechend 6 bzw. 5 von

8 Proben. In Bild 89 sind die beiden Probengruppen entsprechend der Diskriminanzfunktion grafisch dargestellt.

Tabelle 68 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten der Analyse mit schrittweiser Aufnahme der Variablen

	Funktion
Element	1
Al	-.276
P	.333
Co	.354
Se	-.295
Nd	2.303
Sm	-2.351
Eu	-.690
Er	.681
W	.215
Pt	.282
Hg	-.307
Tl	-.258
U	.228

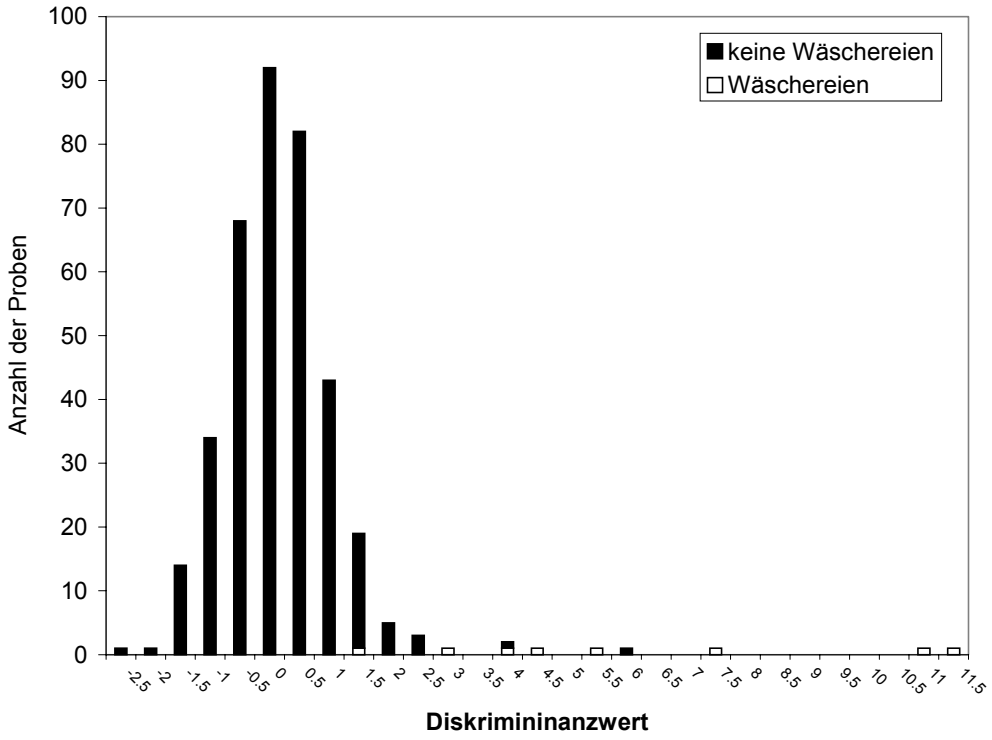


Bild 89 Verteilung der von Wäschereien beeinflussten Proben und der übrigen Proben nach der Diskriminanzmethode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

Die Diskriminanzanalyse nach der Methode mit allen Variablen identifiziert Wolfram, Platin, Phosphor und Gold als wesentliche Elemente. Diese Diskriminanzfunktion

ermöglicht insgesamt 99,7 % bzw. 98,1 % aller Proben korrekt zu klassifizieren (Originalklassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Für die von Wäschereien beeinflussten Proben stimmen für 7 bzw. 4 von 8 Proben die vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit mit der tatsächlichen überein. In dem folgenden Bild 90 ist die Verteilung der beiden Probengruppen dargestellt.

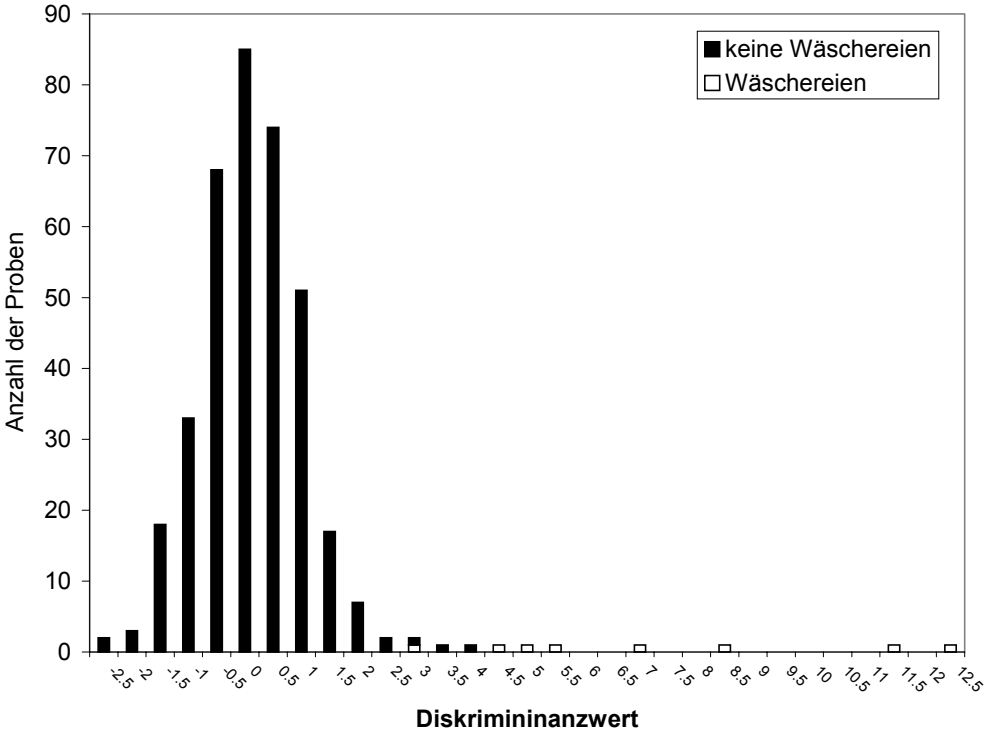


Bild 90 Verteilung der von Wäschereien beeinflussten Proben und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzfunktion für alle Variablen

Insgesamt zeichnen sich Wäschereiproben für eine Reihe von Elementen durch eine erhöhte Belastung aus. Insbesondere Wolfram, Platin, Gold und Phosphor können als Indikator für Elementeinträge aus Wäschereien gelten. Eine Trennung der von Wäschereien beeinflussten Proben von den übrigen Proben ist mit Hilfe der Diskriminanzanalyse akzeptabel möglich.

9.3.12 Wohngebiete

Die Sielhautproben aus Wohngebieten haben für fast alle Element eine niedrige durchschnittliche Belastung. Einzig für Aluminium sind in einigen Proben aus Wohngebieten überdurchschnittliche Gehalte zu finden. Mit der Diskriminanzanalyse nach der Methode der schrittweisen Aufnahme der Variablen erscheint Aluminium als Element mit höherer Belastung und Hafnium und Zirconium mit niedrigerer Belastung. Insgesamt werden fünf Variablen ausgewählt. Tabelle 69 gibt eine Übersicht über die Diskriminanzkoeffizienten.

Tabelle 69 Standardisierte kanonische Diskriminanzfunktionskoeffizienten für die Proben aus Wohngebieten nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

	Funktion
Element	1
Li	-.367
Mg	-.510
Al	.845
Ru	.549
Nf	-.418

Die Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit erreicht zwar insgesamt 93,8 %, ist aber für die Proben aus Wohngebieten mit 2 von 22 Proben völlig unzureichend. Die Verteilung der Proben ist in Bild 91 dargestellt.

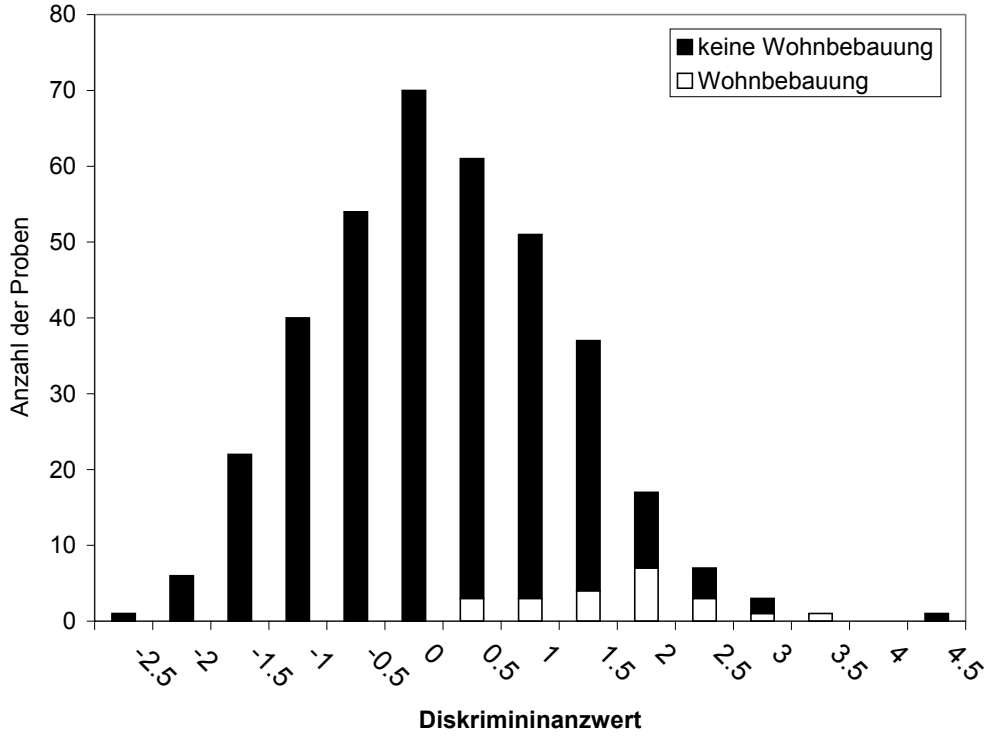


Bild 91 Verteilung der Proben aus Wohngebieten und der übrigen Proben für die Diskriminanzfunktion nach der Methode der schrittweisen Aufnahme von Variablen

Die Diskriminanzfunktion aller Variablen ermittelt ebenfalls Aluminium, Hafnium und Zirconium als wesentliche Variablen. Die vorhergesagte Gruppenzugehörigkeit der Probengruppen erreicht insgesamt 95,1 % bzw. 90,8 % für alle Proben (Original-Klassifizierung bzw. mit Kreuzvalidierung). Für die Proben aus Wohngebieten werden entsprechend 10 bzw. 4 von 22 Proben korrekt klassifiziert. In dem folgenden Bild 92 wird die Verteilung der beiden Probengruppen dargestellt.

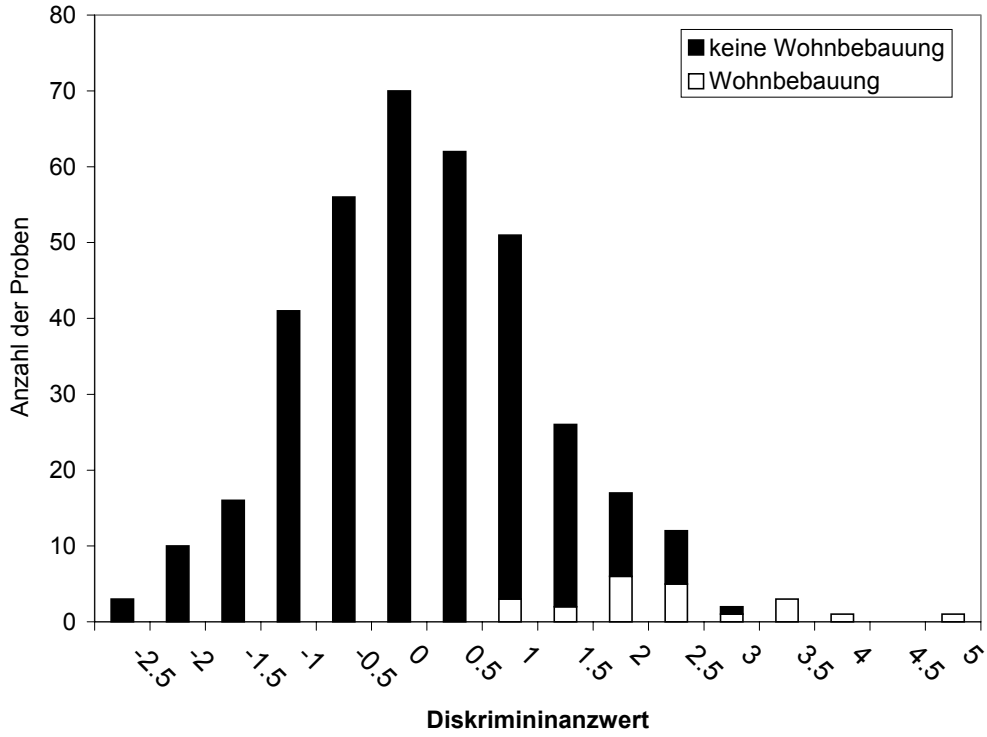


Bild 92 Verteilung der Proben aus Wohngebieten und der übrigen Proben entsprechend der Diskriminanzanalyse mit allen Variablen

Insgesamt zeichnen sich die Proben aus Wohngebieten durch vernachlässigbare Besonderheiten in der Elementbelastung aus. Es können keine eindeutigen Indikatorelemente für die Sielhäute aus Wohngebieten benannt werden. Auch gestaltet sich die Vorhersage der Gruppenzugehörigkeit als schwierig.

9.4 ERGÄNZUNGEN ZU ABSCHNITT 3.3.1: PCDD/F-GEHALTE IN SIELHÄUTEN

Tabelle 70 PCDD/F-Gesamtgehalte und I-TEq-Gehalte aller insgesamt 71 Sielhaut- und Klärschlammproben

Kürzel	Sielhautproben beeinflusst durch	Summe PCDD/F (µg/kg TM)	Summe I-TEq (ng I-TEq/kg TM)
ME22	Metallbe- und -verarbeitung	551,7	1529,5
WÄ06	Wäscherei	10,1	115,8
KL09	Klärschlamm	58,7	104,7
HA01	Gewerbe, Hafen	10,7	85,6
KL23	Klärschlamm	23,1	69,7
FH01	Flughafen	4,4	68,3
TX06	Textilverarbeitung	7,0	66,0
PH05	Pharma	2,1	42,6
TX07/KU02	Textilveredelung/Kunststofftechnik	7,0	34,9
WÄ07	Wäscherei	13,2	33,6
KW26	Autoverwertung	1,6	32,9
ME14	Metallbe- und -verarbeitung (Zinkgießerei)	8,2	31,4
PW14	Pumpwerk	8,9	20,9
KL08	Fäkaltank	7,8	18,2
WÄ09	Wäscherei	5,3	17,5
MI48	Industrie: Automobil etc.	3,3	17,4
GR10	Grauwasser vor UV	6,7	15,9
GR11	Grauwasser Rohabwasser	5,9	13,5
DP04	Deponie, Kompostierung	4,2	13,4
SW05	Schwimmbad	2,1	12,2
KM01	Kosmetik	1,7	11,3
DP07	Deponie	2,2	11,3
FL01	Fleischverarbeitung	3,4	11,0
KÜ03	Großküche, Schwimmbad	2,4	10,1
GR07	Grauwasser	3,6	10,1
X04	vor Textil	2,0	9,4
GG11	Industrie/Gewerbe	2,0	9,2
MI02	Zulauf Kläranlage	1,8	9,1
HA02	Gewerbe, Hafen	1,6	9,1
ME19	Metallbe- und -verarbeitung	1,4	7,9
MI01	Innenstadt	1,5	7,8
TX08	nach Textil	1,7	7,7
HL01	Halbleiter	1,6	7,7
MI67	Mischabwasser	2,0	6,9
SW01	Schwimmbad	1,8	6,6
ME23	Metallbe- und -verarbeitung	1,2	6,1

Tabelle 70 PCDD/F-Gesamtgehalte und I-TEq-Gehalte aller insgesamt 71 Sielhaut- und Klärschlammproben (Fortsetzung)

Kürzel	Bezeichnung	Summe PCDD/F (µg/kg TM)	Summe I-TEq (ng I-TEq/kg TM)
DP06	Deponie	1,0	5,8
WB25	Wohngebiet	1,5	5,5
ME17	Metallbe- und -verarbeitung	1,7	5,4
PH02	Pharma	1,3	5,1
KM02	Kosmetik	1,5	5,1
PH02	Pharma	1,3	4,8
SR01	Straßenablauf	1,0	4,6
AU02	Automobilindustrie	0,6	4,2
KW16	Kfz-Werkstatt	0,6	3,3
DR07	Druckerei	0,3	3,3
PH03	Pharma	0,9	3,1
WÄ10	Wäscherei	0,5	3,0
KH15	Krankenhaus	0,6	2,9
PW15	Pumpwerk	0,8	2,8
PW13	Hauptpumpwerk	0,6	2,6
AB04	Abfallbehandlung	1,1	2,4
PW17	Pumpwerk	1,0	2,4
SW02	Schwimmbad	0,7	2,3
FR16	Universität	0,6	2,2
CH01	Chemie/Pharma	0,4	2,1
KT01	Komposttoilette	0,2	2,0
DP08	Deponie	0,7	1,2
RF01	Reifenherstellung	0,2	1,1
ME21	Metallbe- und –verarbeitung	0,1	0,9
NA07	Lebensmittelverarbeitung	0,2	0,8
PW16	Pumpwerk	0,4	0,7
KH07	Krankenhaus	0,3	0,7
GE02	Gerberei	0,1	0,6
DP03	Deponie	0,2	0,5
PW02	Pumpwerk	0,3	0,5
KL19	Kläranlage	0,1	0,5
KL10	Kläranlage	0,1	0,3
PA02	Papierverarbeitung	0,1	0,2
KL24	Überschussschlamm	0,01	0,01

9.5 ERGÄNZUNGEN ZU ABSCHNITT 3.3.2: HOMOLOGENPROFILE

Im Folgenden sind die Homologenprofile der Sielhautproben dargestellt, die erheblich vom typischen Profil abweichen.

9.5.1 Hohe Anteile einzelner PCDD-Homologen

Die Homologen von PeCDD oder HxCDD weisen überdurchschnittlich hohe Gehalte auf. Dieses Profil war in drei Proben zu finden: zwei von Wäschereien beeinflusste Proben WÄ09 und WÄ06 (Bild 93) und eine Probe beeinflusst durch Textilverarbeitung (TX06). Da alle drei Proben im Zusammenhang mit Textilien stehen, ist im Folgenden zu überprüfen, ob diese durch Textilinhaltsstoffe (z.B. Farbstoffe auf Chloranil-Basis) beeinflusst sein können. Analysen von Christmann et al. (1989), Remmers et al. (1992) und Vogt et al. (1994) haben gezeigt, dass diese mit niederchlorierten PCDDs besonders belastet sein können.

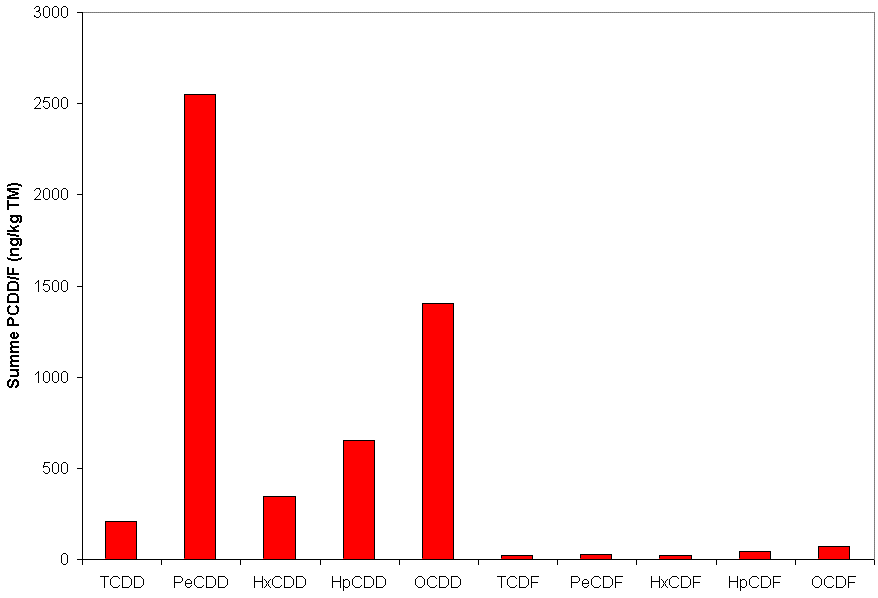


Bild 93 Homologenprofil einer Probe von einer Wäscherei beeinflusst (WÄ06)

9.5.2 Überdurchschnittlicher Anteil niederchlorierter Furane

In diesen Proben nimmt der Anteil mit zunehmendem Chlorierungsgrad ab und nicht wie in den meisten anderen Proben zu. Dieses Phänomen wurde für drei Sielhautproben festgestellt: im Abstrom eines Flughafens (FH01), eines Pharmabetriebes (PH05) und einer Autoverwertung KW26 (Bild 94). In diesen Proben liegt der Anteil von TeCDD und PeCDD jeweils über 10 % der Gesamt-PCDD/F Gehalte. Ein ähnliches Homologenprofil ist von Flugaschen bekannt (vgl. Swerev 1988). Inwieweit diese Quelle für die Schadstoffbelastung verantwortlich ist, muss in den folgenden Abschnitten überprüft werden.

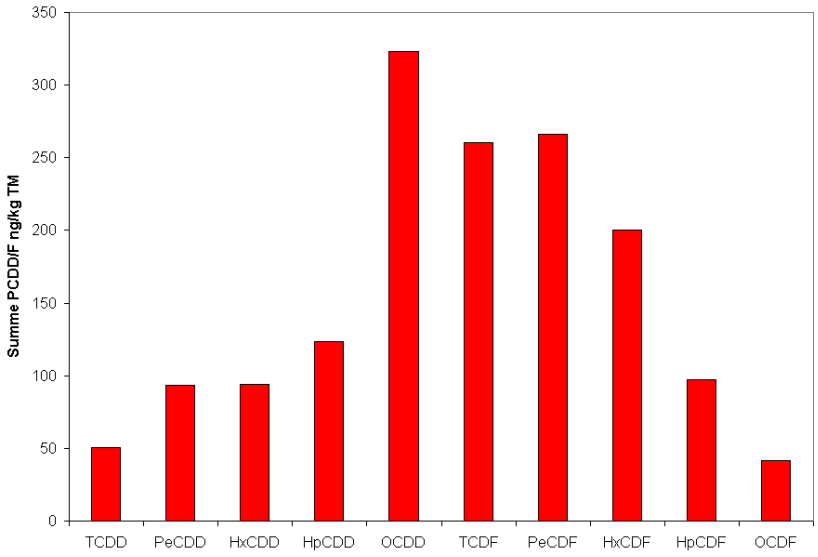


Bild 94 Homologenprofil der Sielhautprobe einer Autoverwertung (KW26)

9.5.3 Hohe Anteile höherchlorierter Furane

In einer hochbelasteten Sielhautprobe (ME22) im Abstrom eines metallbe- und -verarbeitenden Betriebs (Bild 95) lagen die Anteile von HpCDF und OCDF über denen der korrespondierenden Dioxine. Ein ähnliches Homologenprofil kann in bestimmten PCP-Proben auftreten[140].

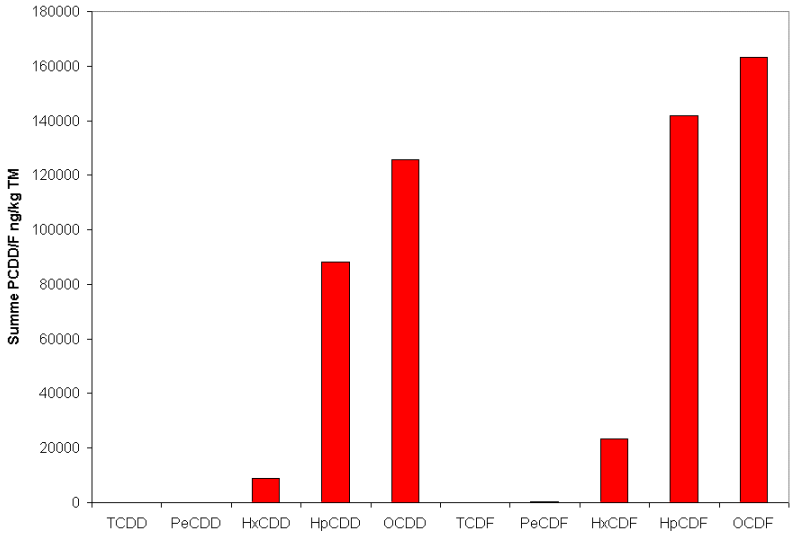


Bild 95 Homologenprofil eines metallbe- und –verarbeitenden Betriebs (ME22)

[140] vgl. Brunner (1990)

9.6 ERGÄNZUNGEN ZU ABSCHNITT 3.3.3: ISOMERENMUSTER

Im Folgenden ist die übliche Verteilung der Isomerenmuster dokumentiert. Anschließend werden außergewöhnliche Isomerenmuster und ihr Quellbezug erläutert.

9.6.1 Übliche PCDD/F-Isomerenmuster

In den Box-Whisker-Plots von Bild 96 bis Bild 103 sind die Isomerenmuster aller in den Proben gefundenen tetra- bis heptachlorierten Dioxine und Furane zusammengestellt[141].

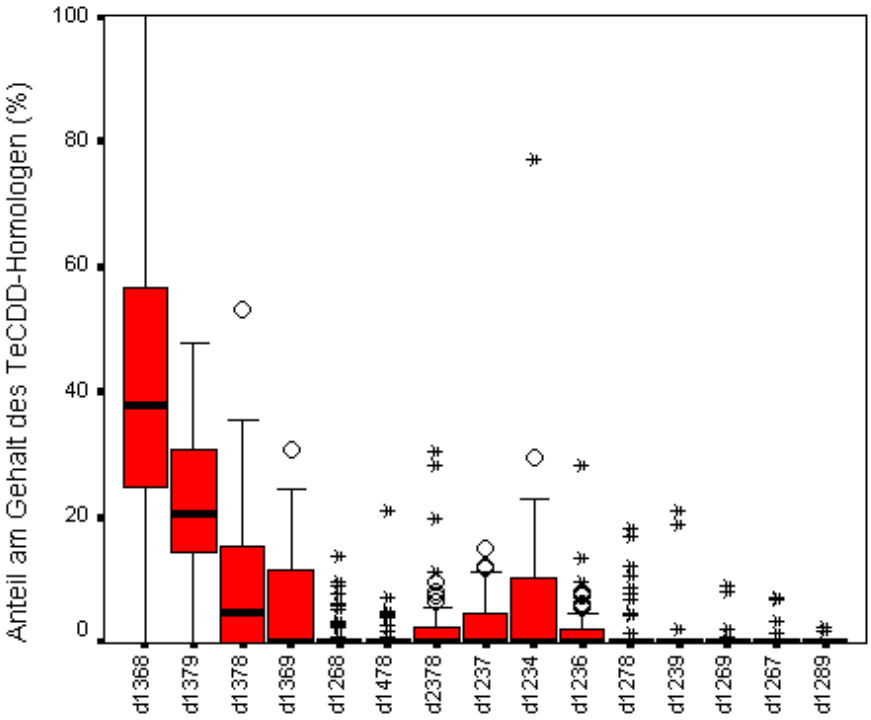


Bild 96 Muster der TeCDD-Isomere als Box-Whisker-Plot aller Sielhaut- und Klärschlammproben

[141] In den Box-Whisker Plots wurde aus Gründen der Übersichtlichkeit auf die Angabe koeluierender Isomere verzichtet.

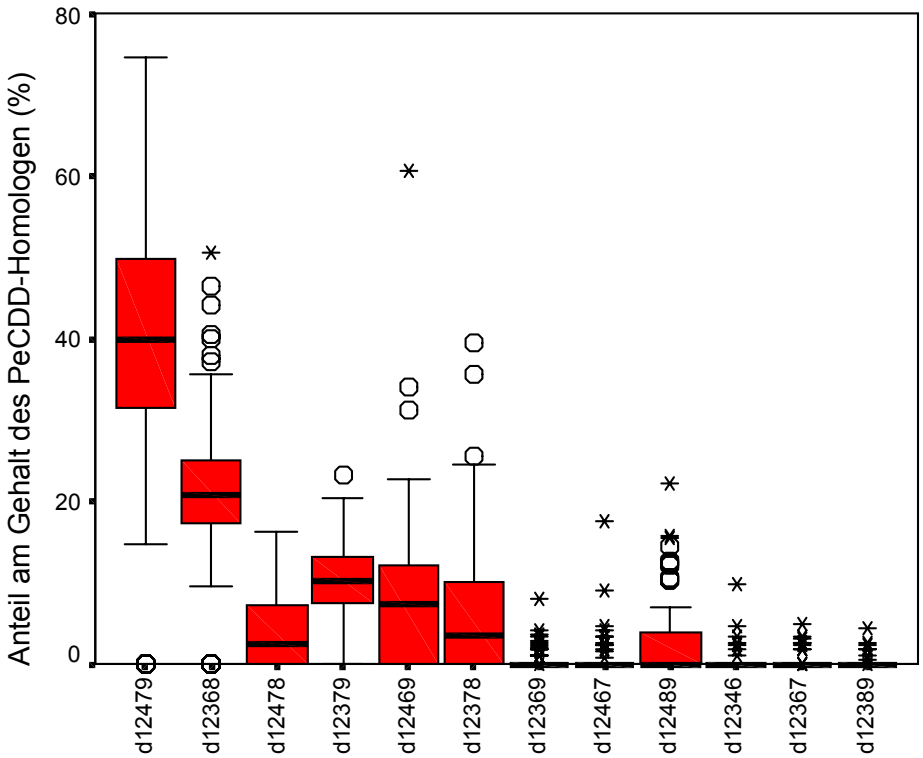


Bild 97 **Muster der PeCDD-Isomere als Box-Whisker-Plot aller Sielhaut- und Klärschlammproben**

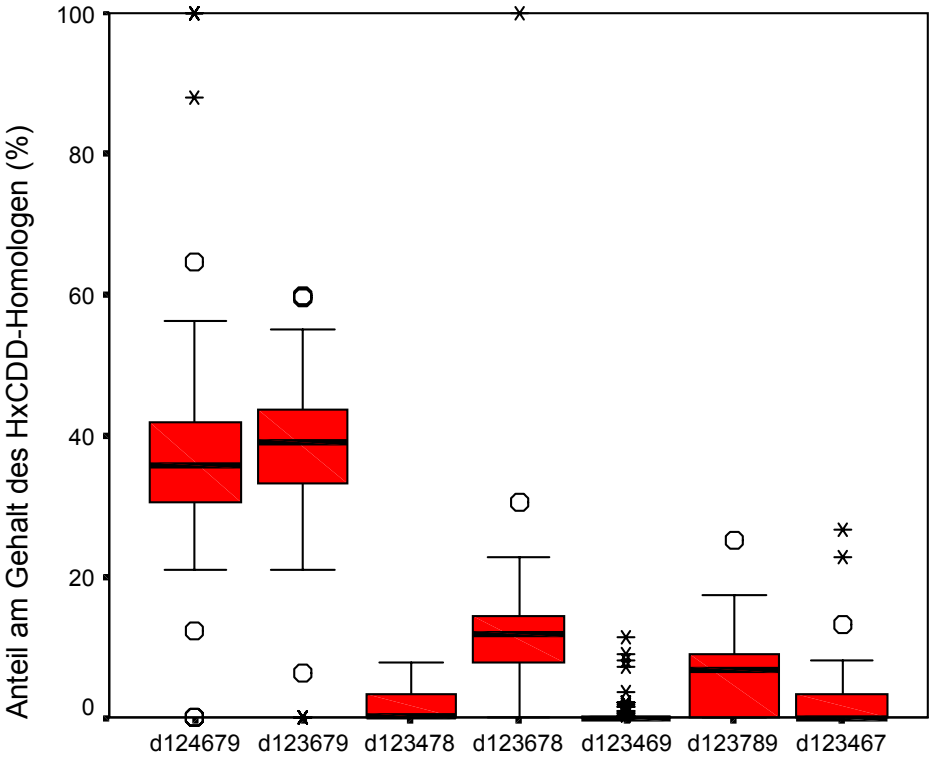


Bild 98 **Muster der HxCDD-Isomere als Box-Whisker-Plot aller Sielhaut- und Klärschlammproben**

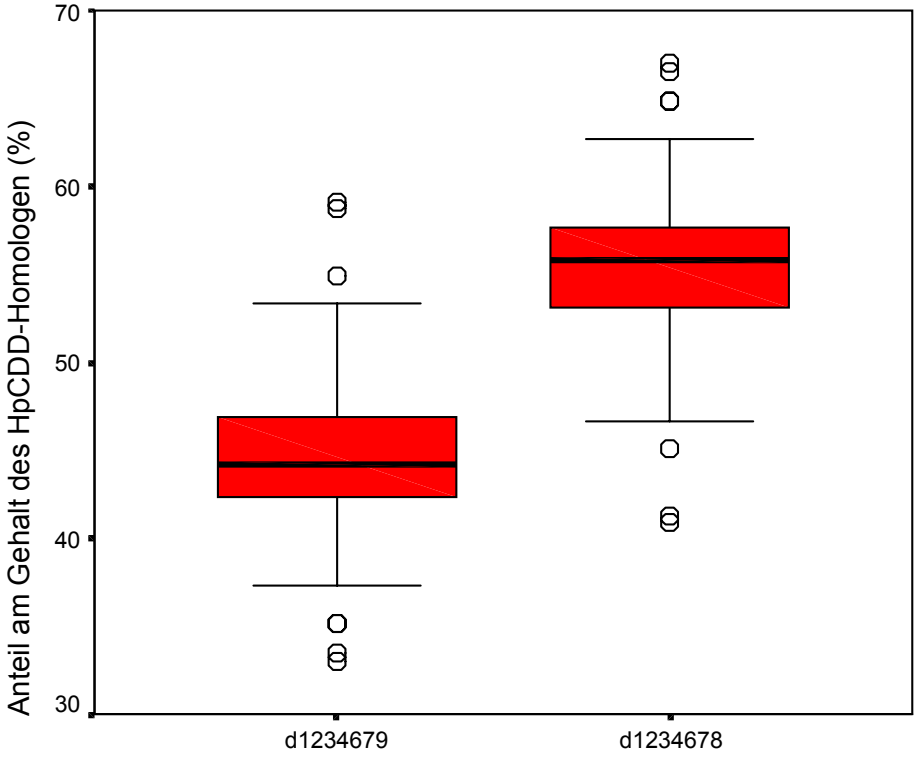


Bild 99 **Muster der HpCDD-Isomere als Box-Whisker-Plot aller Sielhaut- und Klärschlammproben**

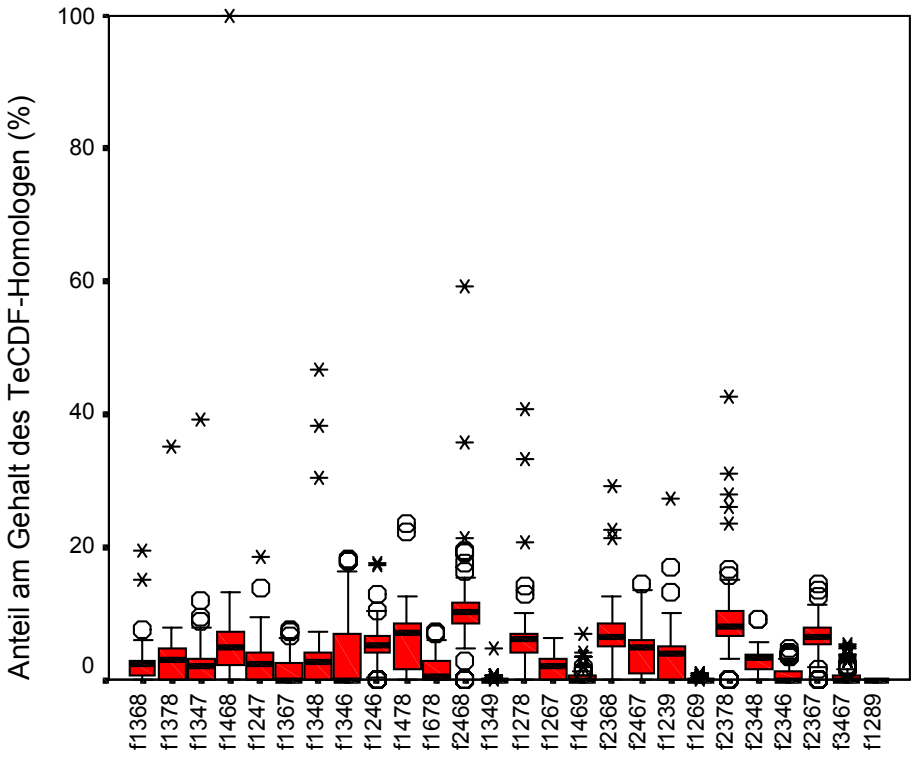


Bild 100 **Muster der TeCDF-Isomere als Box-Whisker-Plot aller Sielhaut- und Klärschlammproben**

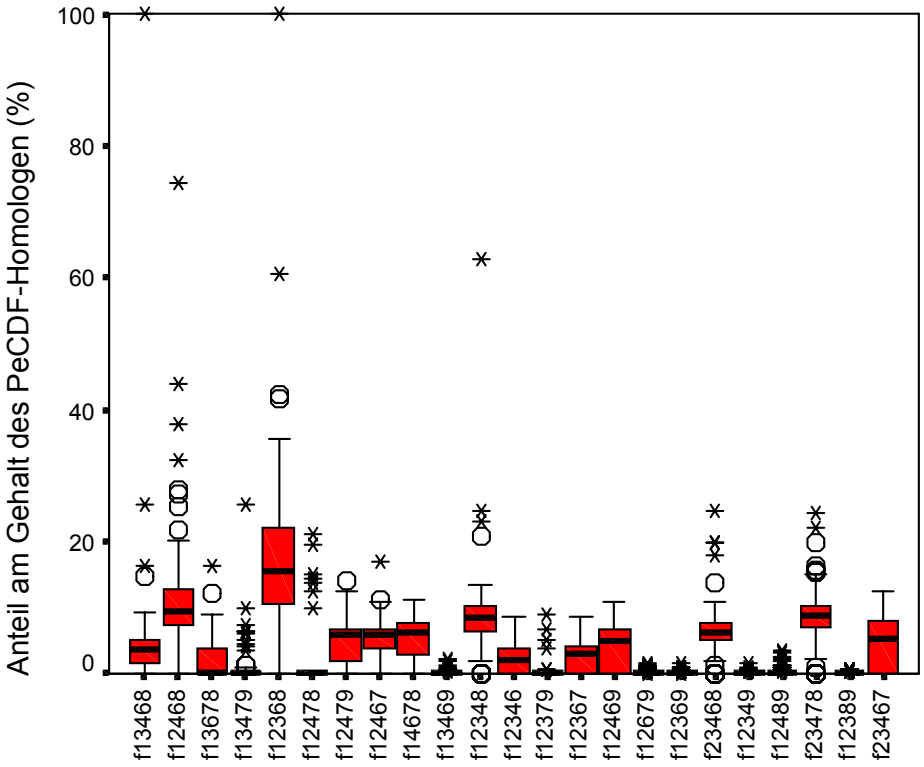


Bild 101 **Muster der PeCDF-Isomere als Box-Whisker-Plot aller Sielhaut- und Klärschlammproben**

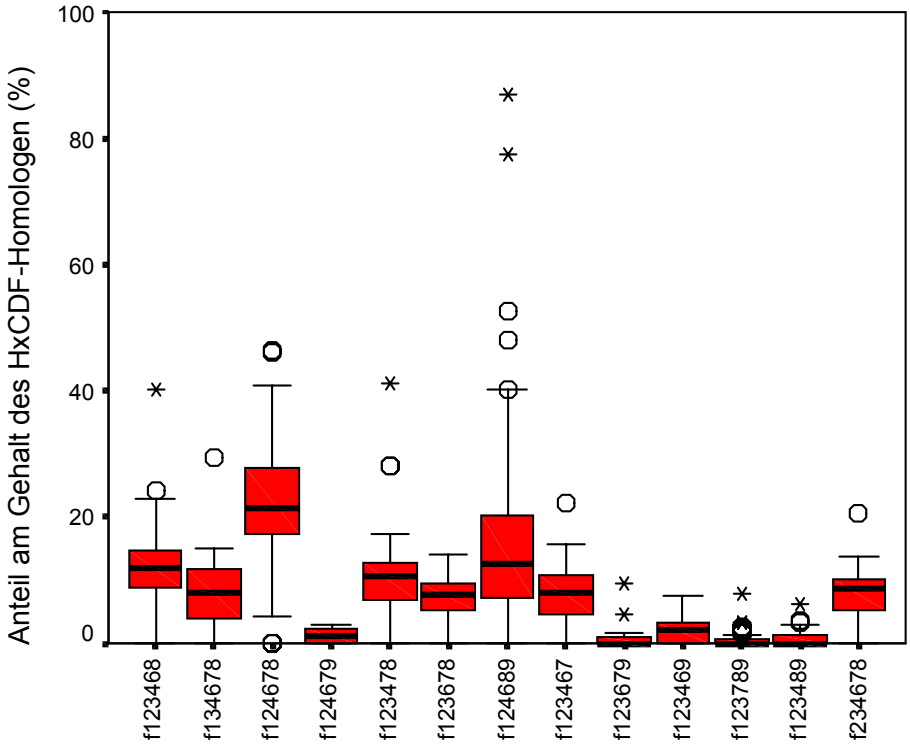


Bild 102 **Muster der HxCDF-Isomere als Box-Whisker-Plot aller Sielhaut- und Klärschlammproben**

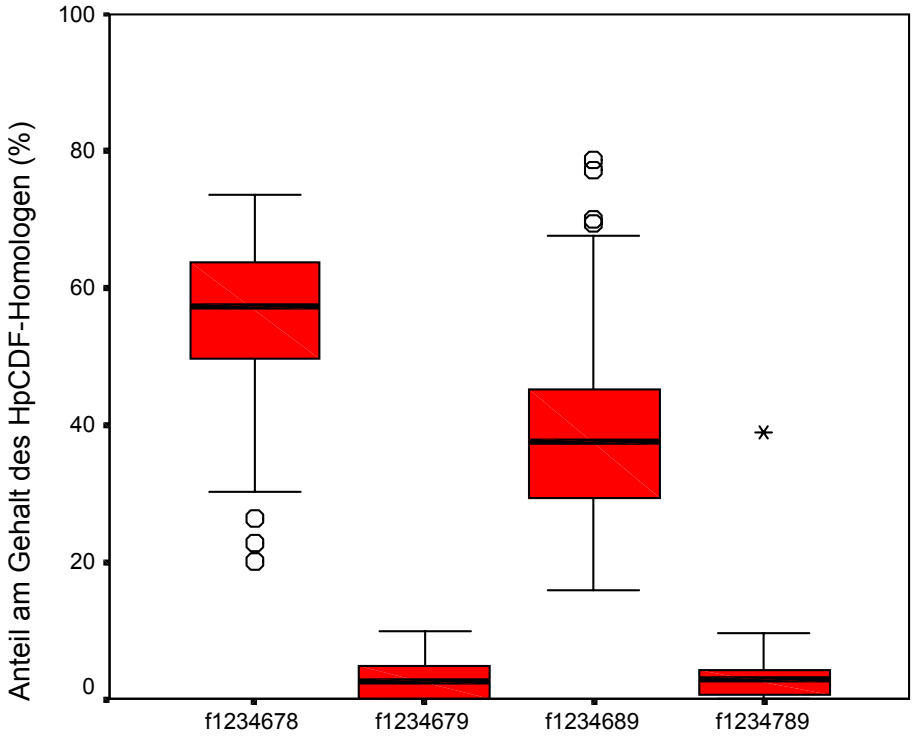


Bild 103 Muster der HpCDF-Isomere als Box-Whisker-Plot aller Sielhaut- und Klärschlammproben

9.6.2 Sielhautproben beeinflusst von Wäschereien und Textilverarbeitung

Im Folgenden werden die Isomerenmuster der Proben WÄ09, WÄ06, TX07/KU02 und TX06 erläutert.

9.6.2.1 Sielhautprobe im Abstrom einer Wäscherei WÄ09

Deren Isomerenmuster sind meist ähnlich denen vieler anderer Proben, außer für TeCDD. In Bild 104 ist die Dominanz der Kongenere 1,3,6,9-/1,2,4,7-/1,2,4,8-TeCDD und 1,2,3,4-/1,2,4,6-/1,2,4,9-/1,2,3,8-TeCDD zu erkennen. Diese sind in den meisten anderen Proben nur von untergeordneter Bedeutung.

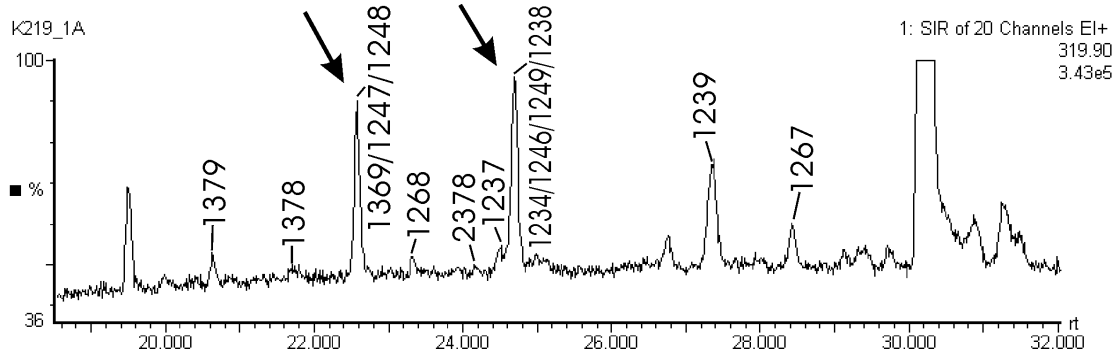


Bild 104 TeCDD-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom einer Wäscherei WÄ09

Während für 1,2,3,4-TeCDD bekannt ist, dass es in großen Mengen in PCP auftritt (Brunner 1990, S. 78), ist keine Quelle bekannt, die über erhöhte Anteile von 1,3,6,9-/1,2,4,7-/1,2,4,8-TeCDD verfügt.

Das in dieser Probe in großen Mengen enthaltene PeCDD verfügt über ein Isomerenmuster mit einer Dominanz von 1,2,4,7,9-/1,2,4,6,8-PeCDD sowie bedeutenden Anteilen von 1,2,3,6,8-PeCDD und 1,2,3,7,9-PeCDD (vgl. Bild 105). Große Anteile von 1,2,4,7,9-/1,2,4,6,8-PeCDD sind sowohl in chemischen als auch Verbrennungsquellen zu finden (z.B. Sickerwasserextraktöl: Brunner (1990, S. 104), MVA-Abgasprobe: Dawidowsky (1993, S. 32).

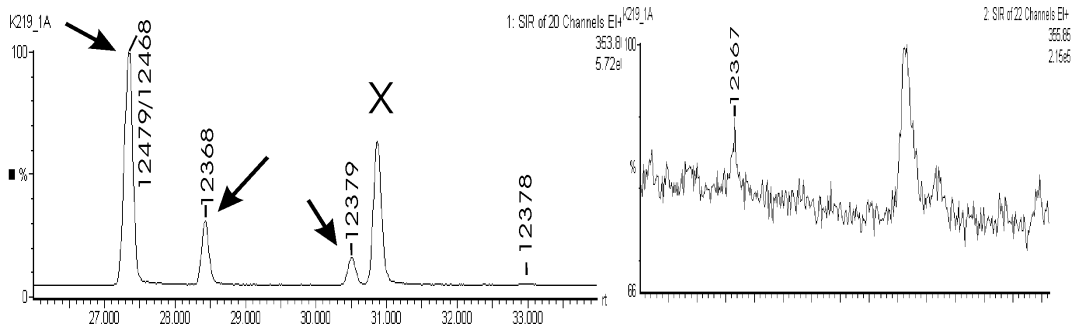


Bild 105 PeCDD-Massenfragmentogramm der von einer Wäscherei beeinflussten Probe WÄ09; X: Störpeak

Damit ist hier keine eindeutige Zuordnung der Belastungsquelle zu erzielen. Eine mögliche Erklärung ist, dass der Verursacher dieses Isomerenmusters bisher noch nicht eindeutig beschrieben wurde. Dies ist für Farbstoffe, die auf Chloranil basieren, der Fall. Von diesem sind zwar Homologenprofile bekannt, Isomerenmuster sind allerdings nicht verfügbar. Daher ist nicht auszuschließen, dass hier Chloranil einen wesentlichen Beitrag leisten könnte.

9.6.2.2 Die von einer Wäscherei beeinflusste Sielhautprobe WÄ06

Bild 106, Bild 107 und Bild 108 zeigen, dass diese Probe hohe Gehalte von 2,3,7,8-TeCDD, 1,2,3,4-/1,2,4,6-/1,2,4,9-/1,2,3,8-TeCDD, 1,2,3,9-TeCDD, sowie 2,3,4,6,8-PeCDF und 1,2,3,4,6,8-HxCDF aufweist.

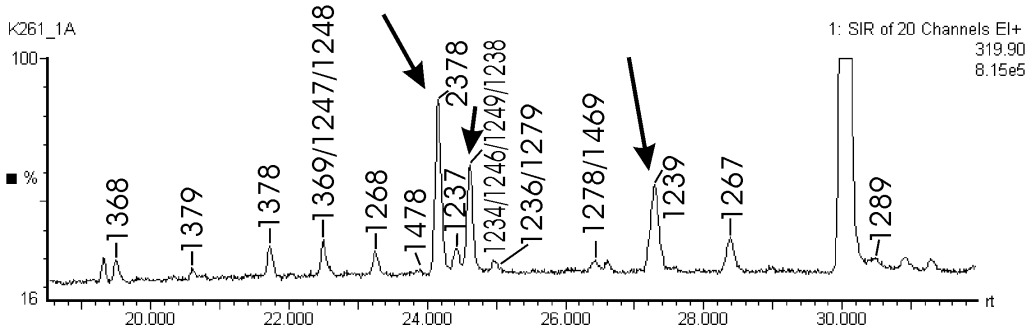


Bild 106 TeCDD-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe von einer Wäscherei beeinflusst (WÄ06)

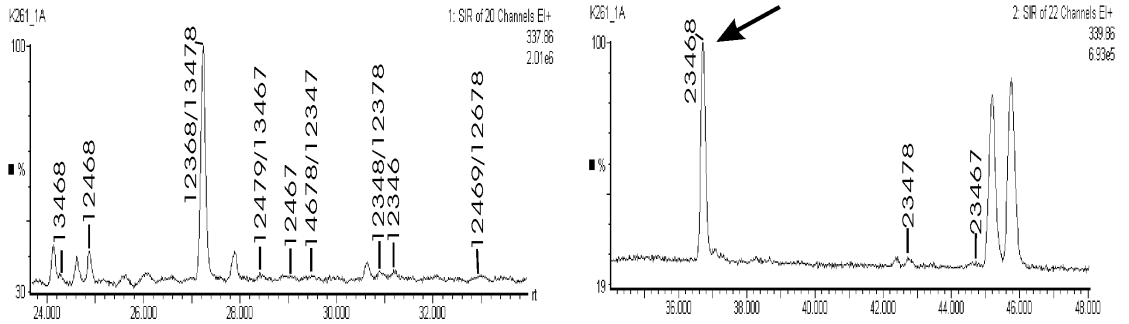


Bild 107 PeCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe beeinflusst durch eine Wäscherei (WÄ06)

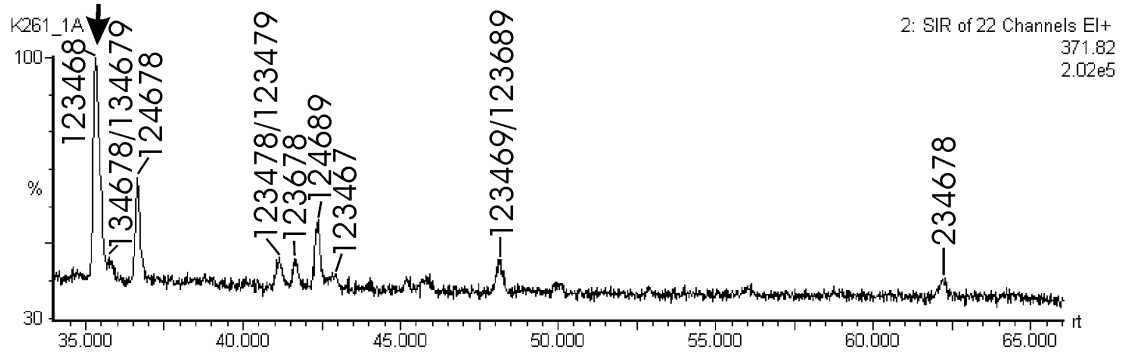


Bild 108 HxCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe beeinflusst durch eine Wäscherei (WÄ06)

Keine der Isomerenmuster der bekannten Quellen passen eindeutig zu dieser Probe. Entweder handelt es sich um eine Quelle, von der bisher keine Massenfragmentogramme veröffentlicht wurden oder es handelt sich um eine Mischung verschiedener Quellen. Ähnlich wie bei der Sielhautprobe WÄ09, TX06 und TX07/KU02 kann auch hier über den Einfluss von Chloranil-basierten Farbstoffen spekuliert werden.

9.6.2.3 Sielhaut aus dem Abstrom einer Textilveredelung/Kunststoffverarbeitung TX07/KU02

In den Massenfragmentogrammen dieser Proben treten folgende Kongenere in überdurchschnittlichen Gehalten auf: 1,2,3,7,8,9-HxCDD, 1,2,3,4,6,7-HxCDD, 1,2,4,7-TeCDF, 1,3,4,7,9-PeCDF. Die jeweiligen Massenfragmentogramme sind in Bild 109, Bild 110 und Bild 111 dargestellt.

1,2,4,7-TeCDF findet sich nur in Verbrennungsproben (Dawidowsky 1993, S. 33; Swerev 1988, S. 190) in bedeutenden Mengen. Für die übrigen Kongenere mit überdurchschnittlich hohen Belastungen (1,2,3,7,8,9-HxCDD, 1,2,3,4,6,7-HxCDD, 1,3,4,7,9-PeCDF) sind keine relevanten Quellen bekannt. Der für die Proben WÄ06, WÄ09 und TX06 genannte mögliche Einfluss einer unbekannten Quelle, evtl. Chloranil-basierte Farbstoffe gilt auch für diese Probe.

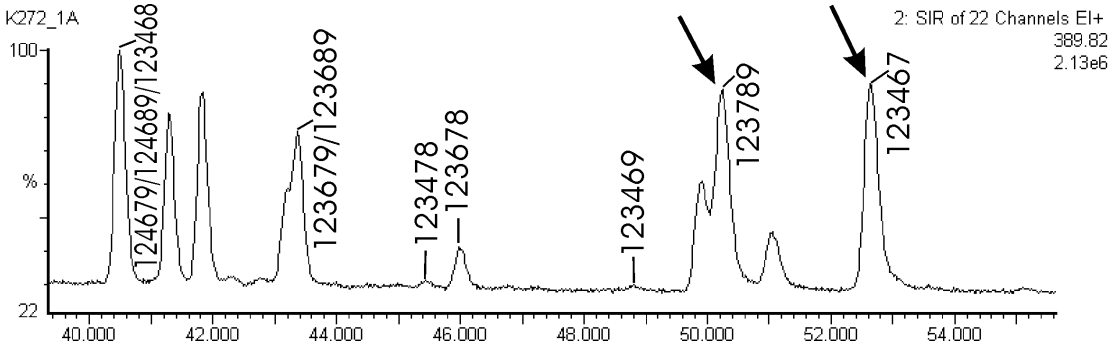


Bild 109 HxCDD-Massenfragmentogramm der Sielhaut aus dem Abstrom einer Textilveredelung/Kunststoffverarbeitung TX07/KU02

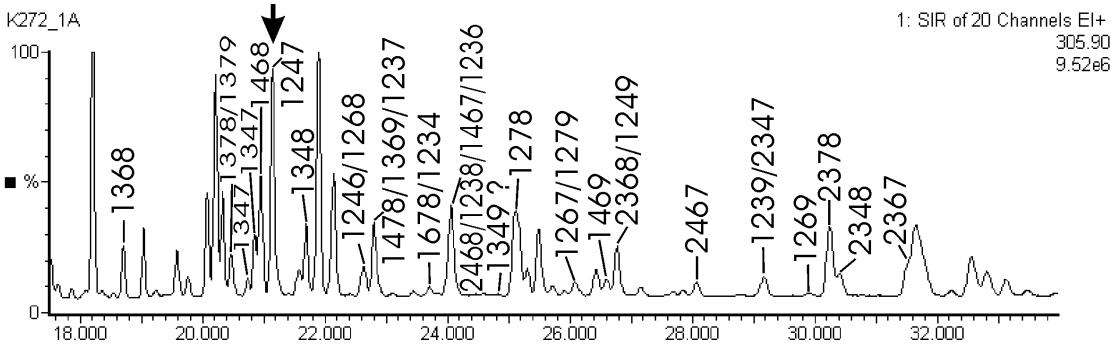


Bild 110 TeCDF-Massenfragmentogramm der Sielhaut aus dem Abstrom einer Textilveredelung/Kunststoffverarbeitung TX07/KU02

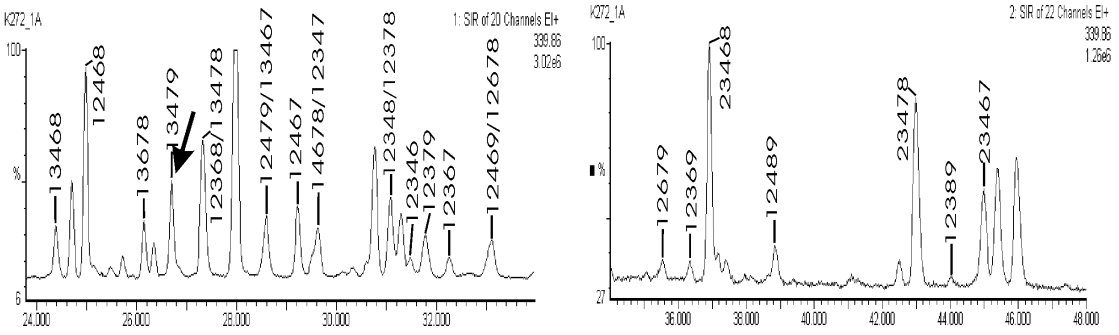


Bild 111 PeCDF-Massenfragmentogramm der Sielhaut aus dem Abstrom einer Textilveredelung/Kunststoffverarbeitung TX07/KU02

9.6.2.4 Sielhautprobe einer Textilverarbeitung TX06

Die Massenfragmentogramme dieser Probe weichen für eine Reihe von Homologen von den üblichen Isomerenmustern ab. Bei den Dioxinen sind 1,2,3,6,8-PeCDD und 1,2,4,6,7,9-/1,2,4,6,8,9-/1,2,3,4,6,8-HxCDD die höchsten Peaks, während sie sonst nicht so hervorstechen. Bei den Furanen sind dies: 1,3,4,7-TeCDF, 1,3,4,8-TeCDF, 1,2,3,4,8-/1,2,3,7,8-PeCDF, 1,2,3,4,6,8-HxCDF, 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF, 1,2,3,4,7,8,9-

HpCDF. Die einzelnen Massenfragmentogramme sind in Bild 112 bis Bild 117 dokumentiert.

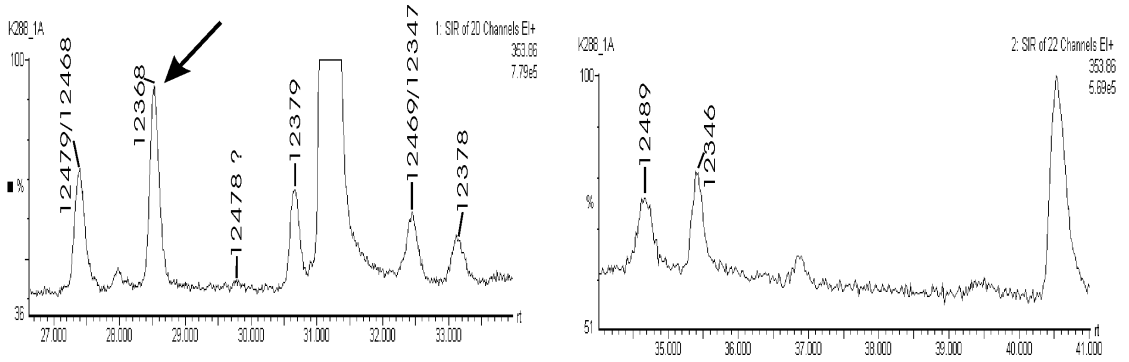


Bild 112 PeCDD-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe aus dem Abstrom eines textilverarbeitenden Betriebes TX06

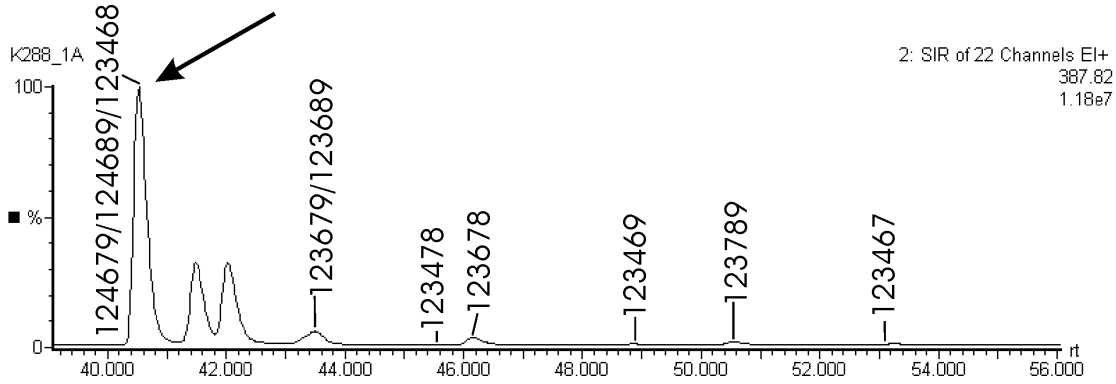


Bild 113 HxCDD-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe aus dem Abstrom eines textilverarbeitenden Betriebes TX06

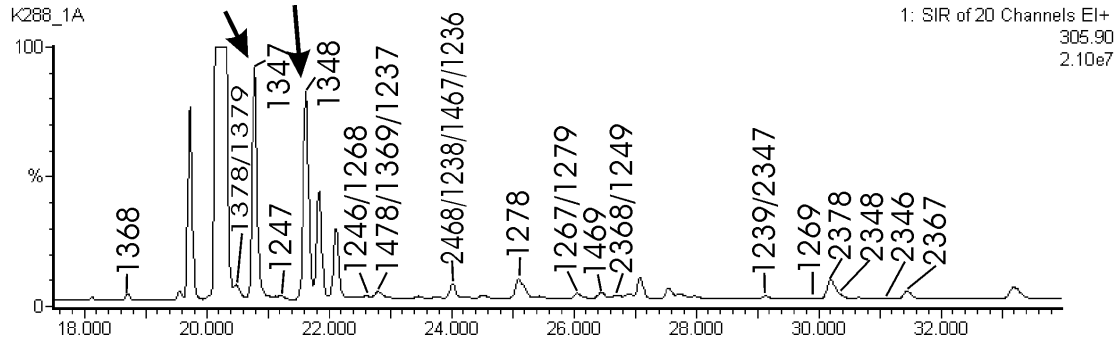


Bild 114 TeCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe aus dem Abstrom eines textilverarbeitenden Betriebes TX06

Keine einzelne bekannte Quelle zeigt dieses charakteristische Muster. Gewisse Ähnlichkeiten zwischen potentiellen Quellen und der Sielhautprobe TX06 sind für die Isomerenmuster einzelner Homologengruppen festzustellen: PCDD-Isomerenmuster von PCP-Na (Brunner 1990, S. 79), Verbrennungsproben für PeCDD, HxCDD und PeCDF (Swerev 1988, S. 190ff). Da allerdings eine Reihe charakteristischer Peaks in den

bekannten Quellen nicht zu finden sind, ist eher davon auszugehen, dass hier die Belastung von einer unbekannten Quelle stammt.

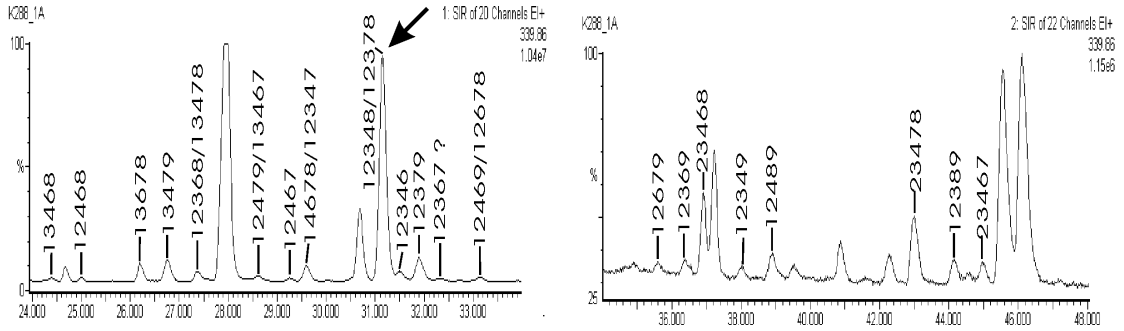


Bild 115 PeCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe aus dem Abstrom eines textilverarbeitenden Betriebes TX06

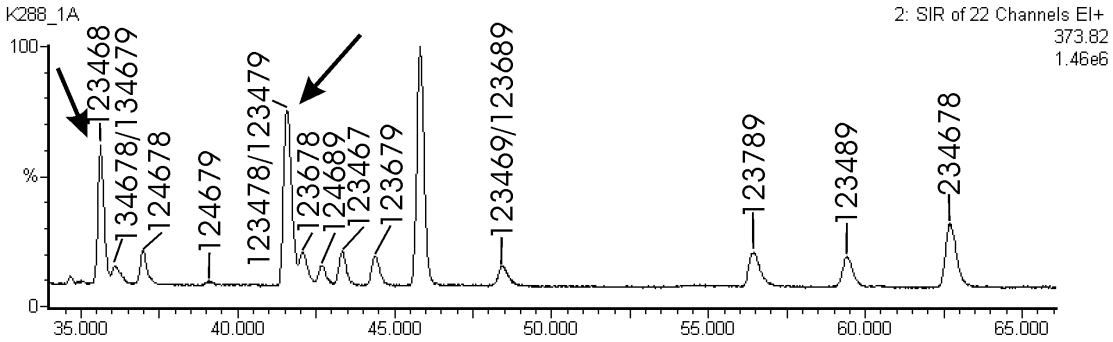


Bild 116 HxCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe aus dem Abstrom eines textilverarbeitenden Betriebes TX06

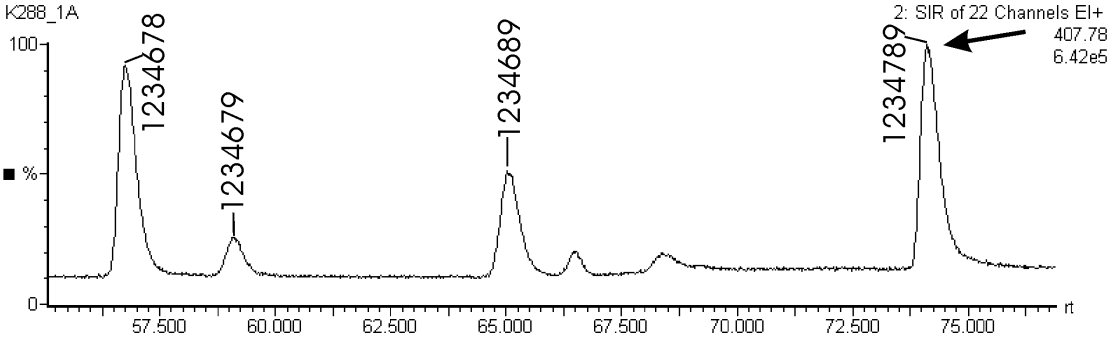


Bild 117 HpCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe aus dem Abstrom eines textilverarbeitenden Betriebes TX06

9.6.3 Sielhautproben mit deutlichem PCP-Einfluss

Proben mit außergewöhnlichen Mustern, die auf PCP als PCDD/F-Quelle hinweisen sind PW14, KL23, ME22 und WÄ07.

9.6.3.1 Sielhautprobe eines Pumpwerks PW14

Die Isomerenmuster dieser Probe ähneln weitgehend denen der übrigen Proben. Allein im PeCDD-Massenfragmentogramm in Bild 118 fällt auf, dass 1,2,4,6,9-/1,2,3,4,7-PeCDD ungewöhnlich hoch ist.

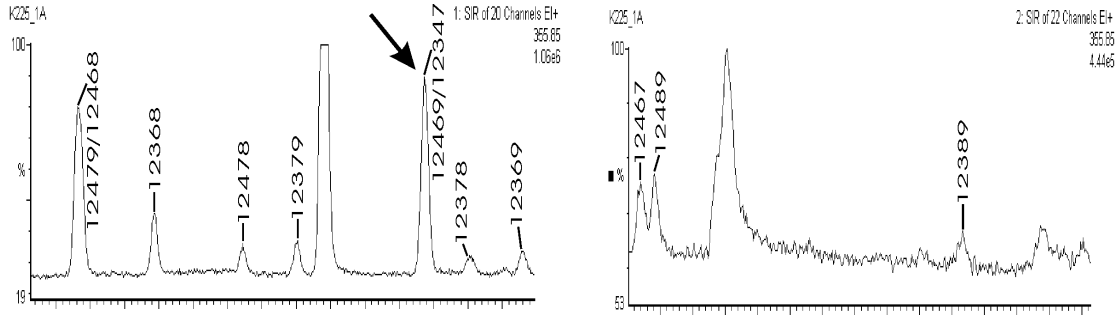


Bild 118 PeCDD-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe eines Pumpwerks PW14

Das PeCDD-Isomerenmuster ähnelt damit dem von PCP-Na (Brunner 1990, S. 78), während andere Homologen nur bedingt mit diesem Übereinstimmungen zeigen. Damit ist in dieser Probe nur für PeCDD der Einfluss von PCP nachweisbar.

9.6.3.2 Klärschlammprobe KL23

Ähnlich wie bei der Sielhautprobe im Abstrom einer Wäscherei WÄ09 fällt bei dieser Probe im TeCDD-Massenfragmentogramm von Bild 119 ein hoher Anteil von 1,2,3,4-/1,2,4,6-/1,2,4,9-/1,2,3,8-TeCDD auf.

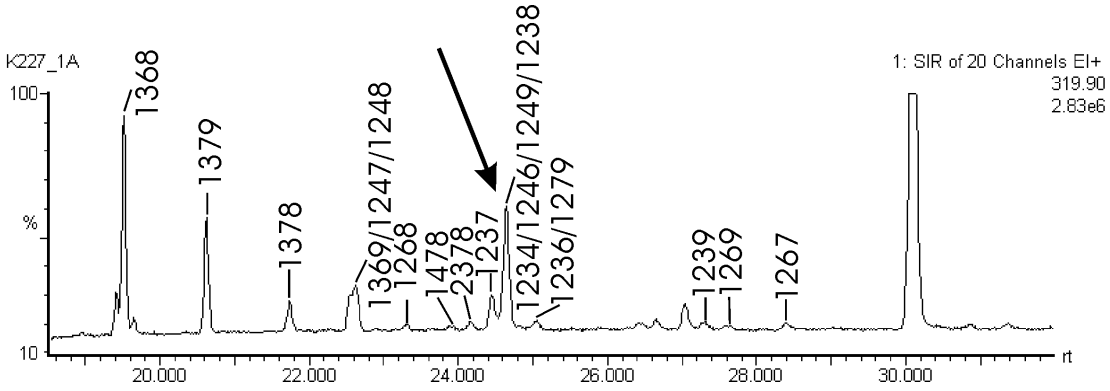


Bild 119 TeCDD-Massenfragmentogramm der Klärschlammprobe KL23

Dieses weist auf den Einfluss von PCP bzw. PCP-Na hin (Brunner 1990, S. 78-79).

9.6.3.3 Sielhautprobe im Abstrom eines metallbe- und –verarbeitenden Betriebs (ME22)

Diese Probe hat die höchste PCDD/F-Belastung aller Sielhautproben. Die Massenfragmentogramme zeichnen sich durch hohe Gehalte folgender Kongenere aus:

1,2,3,6,7,9-/1,2,3,6,8,9-HxCDD, 1,2,3,6,7,8-HxCDD, 1,2,4,6,8-PeCDF, 1,2,4,6,8,9-HxCDF und 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF. Alle genannten Dioxin- und Furan-Kongenere sind ebenfalls in großen Mengen in PCP bzw. PCP-Na zu finden (vgl. Brunner (1990, S. 76ff)). Damit kann PCP als Verursacher dieser hohen PCDD/F-Belastung eindeutig identifiziert werden. Die folgenden Bilden zeigen die Massenfragmentogramme von HxCDD (Bild 120), PeCDF (Bild 121), HxCDF (Bild 122) und HpCDF (Bild 123).

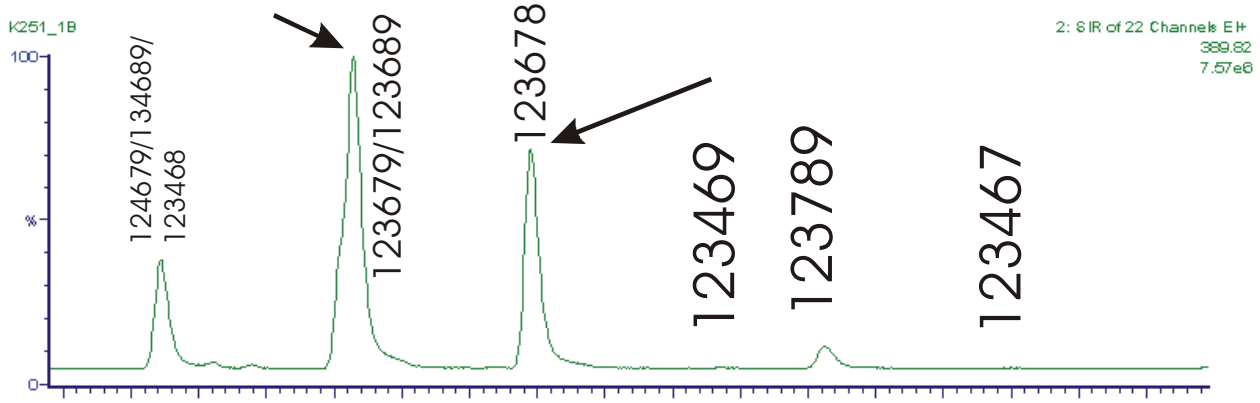


Bild 120 HxCDD-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines metallbe- und -verarbeitenden Betriebs (ME22)

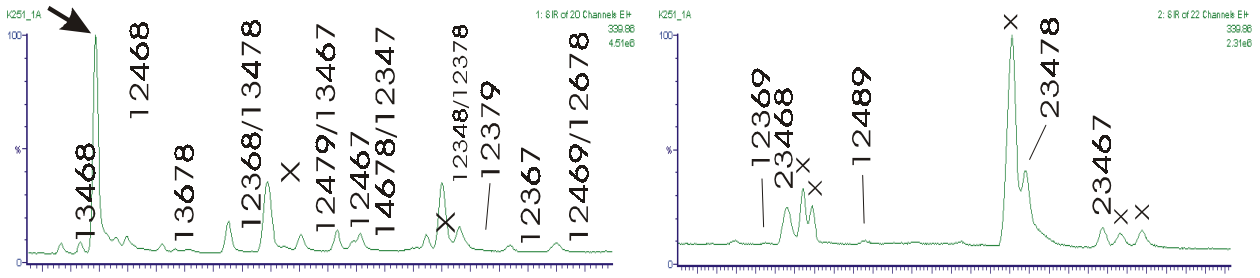


Bild 121 PeCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines metallbe- und -verarbeitenden Betriebs (ME22)

Bild 122 HxCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines metallbe- und -verarbeitenden Betriebs (ME22)

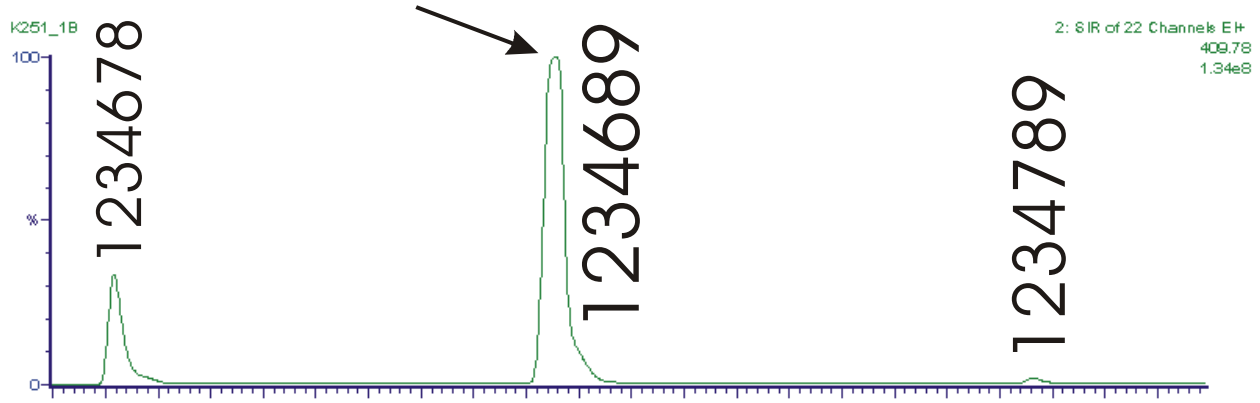


Bild 123 HpCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines metallbe- und -verarbeitenden Betriebs (ME22)

9.6.3.4 Die von einer Wäscherei beeinflusste Sielhautprobe WÄ07

Im HxCDF- und HpCDF-Massenfragmentogramm in Bild 124 und Bild 125 stechen 1,2,4,6,8,9-HxCDF und 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF hervor. Demgegenüber sind in den Dioxin-Massenfragmentogrammen keine besonderen Auffälligkeiten erkennbar.

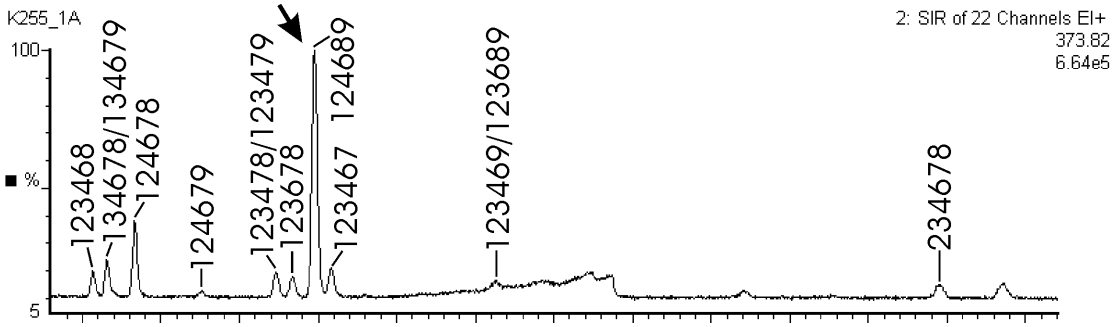


Bild 124 HxCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom einer Wäscherei (WÄ07)

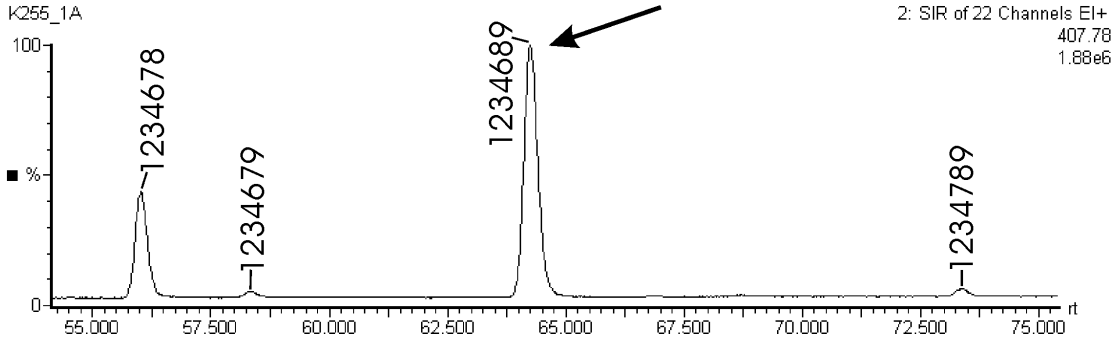


Bild 125 HpCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom einer Wäscherei (WÄ07)

Dieses Phänomen wird ebenfalls von Brunner (1990, S. 76-77) für PCP bzw. PCP-Na berichtet. Damit scheint substantieller Einfluss von PCP bzw. PCP-Na auf die

Furanbelastung vorzuliegen, ohne dass sich diese Charakteristika ebenfalls in den Dioxin-Massenfragmentogrammen wiederspiegeln. Eine Erklärungsmöglichkeit ist, dass das Homologenprofil von PCP die höchsten Gehalte für höherchlorierte Furane und nicht wie sonst üblich für höherchlorierte Dioxine zeigt ähnlich wie in der Sielhautprobe ME22.

9.6.4 Sielhautproben mit deutlichem PCB-Einfluss

Für die folgenden Sielhautproben wurde ein deutlicher Einfluss von PCB festgestellt: FH01 und PH05. Deren Isomerenmuster werden im Folgenden vorgestellt.

9.6.4.1 Sielhautprobe im Abstrom eines Flughafens FH01

In den Isomerenmustern dieser Probe sind folgende Auffälligkeiten festzustellen: 1,2,4,8,9-PeCDD und 1,2,4,7,8-PeCDF sind außergewöhnlich hoch. Im HxCDF-Massenfragmentogramm sind die Peaks 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF und 1,2,3,6,7-HxCDF ungewöhnlich hervorgehoben. Die korrespondierenden Massenfragmentogramme sind in Bild 126 (PeCDD), Bild 127 (PeCDF) und Bild 128 (HxCDF) dargestellt.

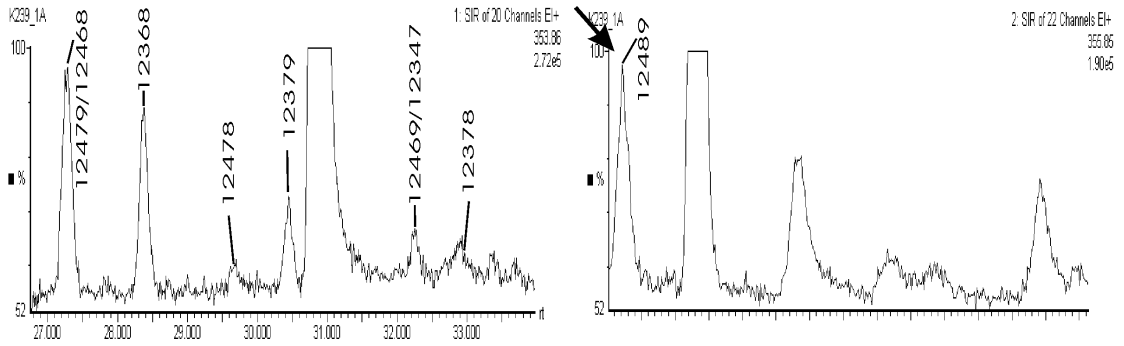


Bild 126 PeCDD-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines Flughafens FH01

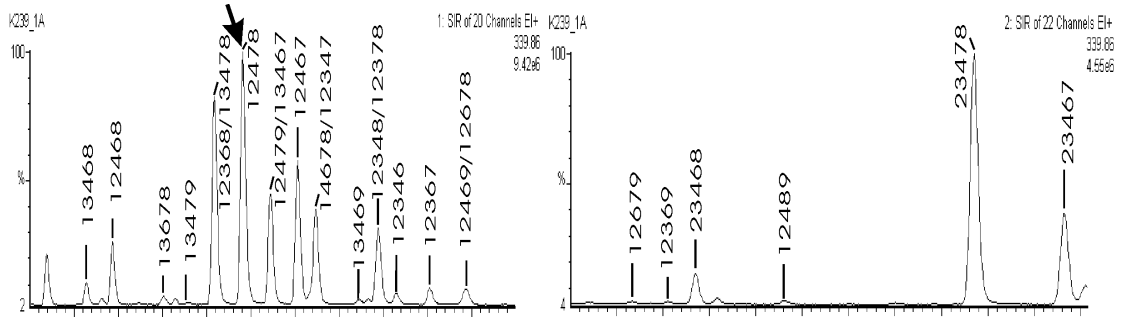


Bild 127 PeCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines Flughafens FH01

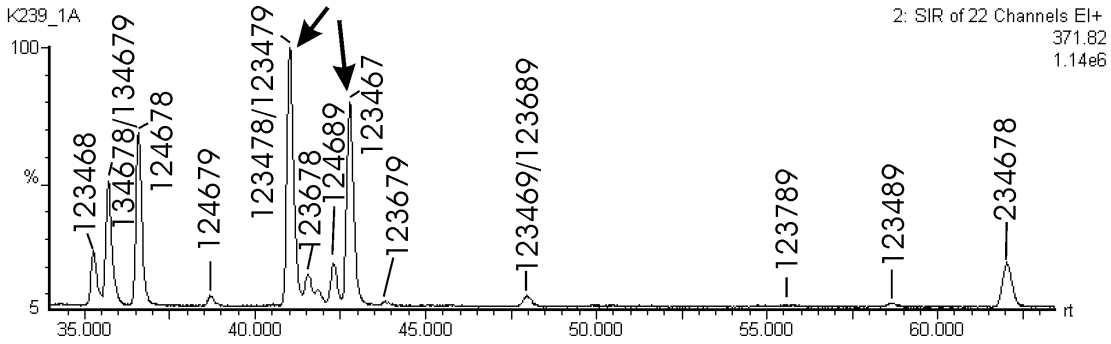


Bild 128 HxCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines Flughafens FH01

Für polychlorierte Biphenyle (PCBs), insbesondere Clophen A60, dominieren ebenfalls 1,2,4,7,8-PeCDF sowie 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF und 1,2,3,4,6,7-HxCDF die jeweiligen Isomerenmuster (Brunner (1990, S. 92). Dies weist auf einen erheblichen Einfluss von polychlorierten Biphenylen (PCBs) auf die Belastung, insbesondere der Furane, bei der Sielhautprobe im Abstrom des Flughafens FH01 hin.

9.6.4.2 Die von einem pharmazeutischen Betrieb beeinflusste Probe PH05

Während bei den Dioxinen die Isomerenmuster im Wesentlichen der üblichen Verteilung entsprechen, sind bei den PCDF-Isomerenmustern eine Reihe von Auffälligkeiten erkennbar. Außergewöhnlich hohe Belastungen sind in Bild 129, Bild 130 und Bild 131 für folgende Isomere: 2,3,7,8-TeCDF, 1,2,3,4,8-/1,2,3,7,8-PeCDF, 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF.

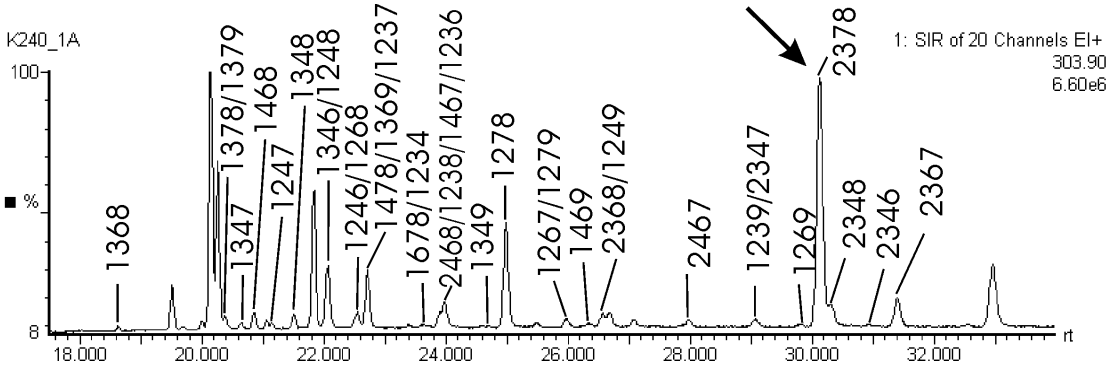


Bild 129 TeCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines Pharmabetriebes PH05

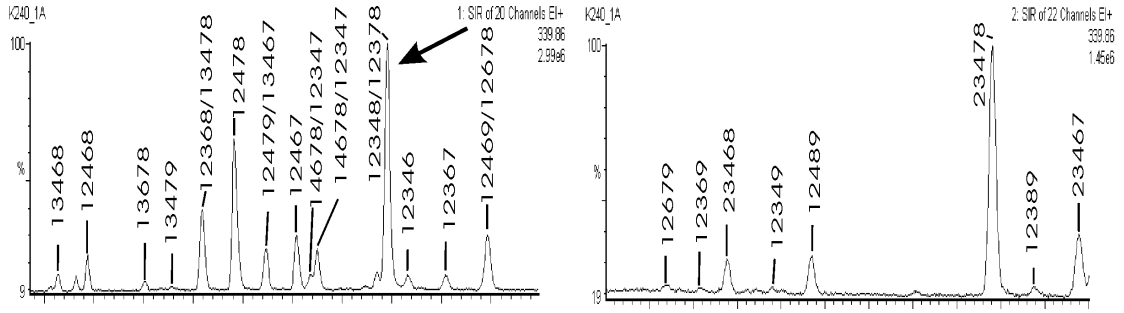


Bild 130 PeCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines Pharmabetriebes PH05

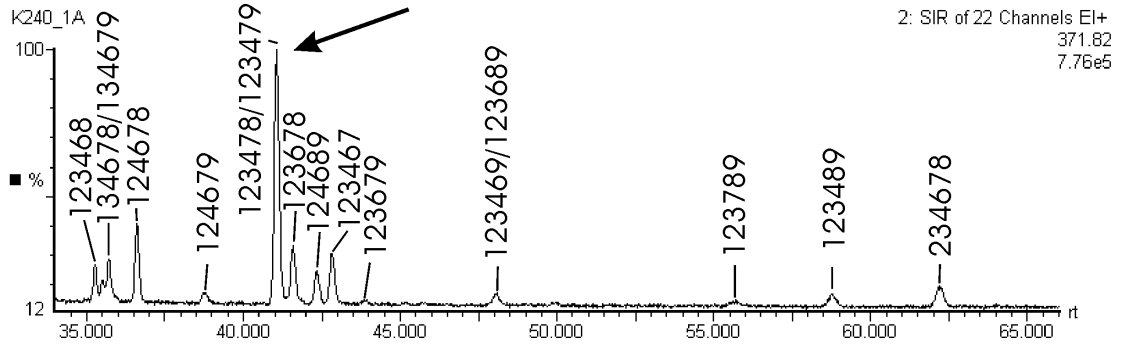


Bild 131 HxCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe im Abstrom eines Pharmabetriebes PH05

Auch in dieser Probe weisen die PCDF-Massenfragmentogramme auf eine von PCB beeinflusste Belastung hin. Die Massenfragmentogramme von Clophen A60 und Clophen A30 sind ebenfalls von 2,3,7,8-TeCDF, 1,2,4,7,8-PeCDF und 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF dominiert (Brunner 1990). 1,2,3,4,8-/1,2,3,7,8-PeCDF ist zwar in PCB auch in größeren Mengen zu finden, ist aber meist nicht so dominant wie in dieser Probe.

9.6.5 Sielhautproben mit anderen Einflüssen

Sielhautproben mit außergewöhnlichen Isomerenmustern mit anderen Einflüssen sind KW26 und HA01. Deren Isomerenmuster werden im folgenden Abschnitt erläutert.

9.6.5.1 Sielhautprobe aus dem Abstrom einer Autoverwertung KW26

In dieser Probe fallen nur Unterschiede im HxCDF-Massenfragmentogramm auf. Es enthält wenig 1,2,4,6,8,9-HxCDF, wohingegen die benachbarten Kongenere 1,2,3,4,7,8-/1,2,3,4,7,9-HxCDF, 1,2,3,6,7,8-HxCDF und 1,2,3,4,6,7-HxCDF überdurchschnittlich intensiv anzutreffen sind (vgl. Bild 132). Ein ähnliches Muster ist in MVA-Proben von Swerev (1988, S. 191) und Dawidowsky (1993, S. 33) zu erkennen. Da im HxCDF-Massenfragmentogramm von PCP meist 1,2,4,6,8,9-HxCDF das intensivste Kongener ist, weist dies darauf hin, dass diese Probe weniger von PCP als von Verbrennungsproben beeinflusst ist.

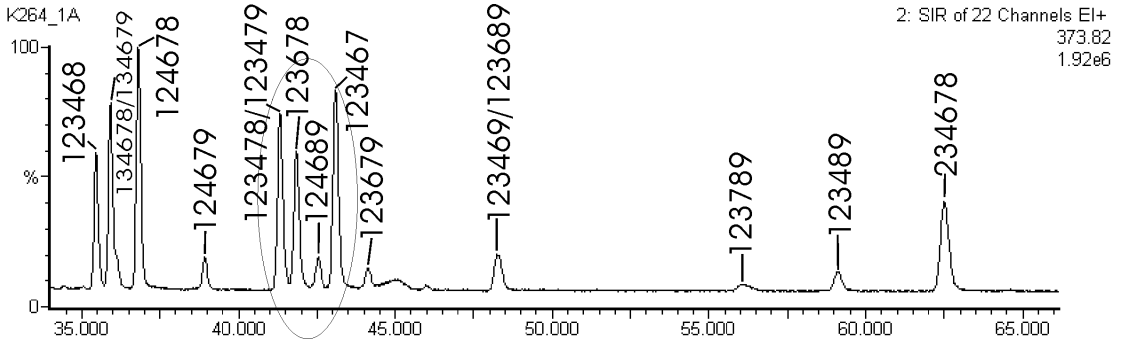


Bild 132 HxCDF-Massenfragmentogramm der Sielhautprobe aus dem Abstrom einer Autoverwertung KW26

9.6.5.2 Die von Gewerbegebiet und Hafen beeinflusste Sielhautprobe HA01

Die Massenfragmentogramme dieser Probe ähneln weitgehend der Mehrheit der Sielhautproben. Allein im PeCDF-Massenfragmentogramm fällt ein deutlicher Peak von 1,3,4,6,9-PeCDF auf (vgl. Bild 133). Von keiner der beschriebenen Quellen ist bekannt, dass diese einen so großen Anteil an 1,3,4,6,9-PeCDF enthalten.

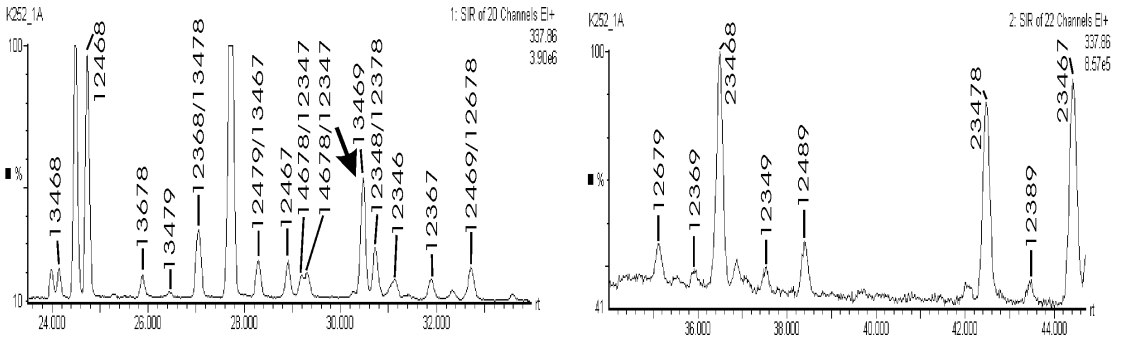


Bild 133 PeCDF-Massenfragmentogramm der Gewerbegebiet-/Hafenprobe HA01

9.7 ERGÄNZUNGEN ZU ABSCHNITT 3.3.7: CLUSTERANALYSE

In Ergänzung zur Clusteranalyse der PCDD/F-Gehalte in den Sielhäuten von Abschnitt 3.3.7 wurden drei weitere Clusteranalysen mit Variationen in der Datenbasis durchgeführt. Diese sind im Folgenden dokumentiert.

9.7.1 Clusteranalyse A

Dieser Clusteranalyse liegen folgende Annahmen zugrunde:

- absolute Gehalte,
- Werte unterhalb der Nachweisgrenze durch die Nachweisgrenze ersetzt,
- Box-Cox-Transformation,
- insgesamt 63 Peaks von Einzelkongeneren bzw. koeluierenden Kongeneren mit möglichst wenigen nicht-nachweisbaren Werten berücksichtigt.

Im Dendrogramm der Proben in Bild 134 orientieren sich die Proben im Wesentlichen nach der Belastungshöhe. Links liegen die Proben mit niedrigen PCDD/F-Gehalten, rechts sind die Proben mit hohen Gehalten zu finden. Im linken Cluster 1 sind die Proben mit den niedrigsten Belastungen, meist unter 1000 ng / kg TM und mit einem niedrigen Furananteil anzutreffen. Das rechte Cluster 3 beinhaltet die Proben mit den höchsten PCDD/F-Gehalten (über 2000 ng / kg TM) und mit überdurchschnittlichen Furananteilen. Das mittlere Cluster 2 umfasst die Proben mit mittleren PCDD/F-Gehalten und weder außergewöhnlich hohen noch außergewöhnlich niedrigen Furananteilen.

Für die Clusteranalyse der Variablen in Bild 135 sind Hauptunterscheidungskriterium die Zugehörigkeit zur Verbindungsgruppe Dioxine bzw. Furane und der Chlorierungsgrad (d.h. der Homologengruppe). Im linken Cluster 1 sind alle Dioxine, im rechten Cluster 2 fast vollständig die Furankongenere anzutreffen. Innerhalb dieser Cluster dient der Chlorierungsgrad als Hauptorientierung.

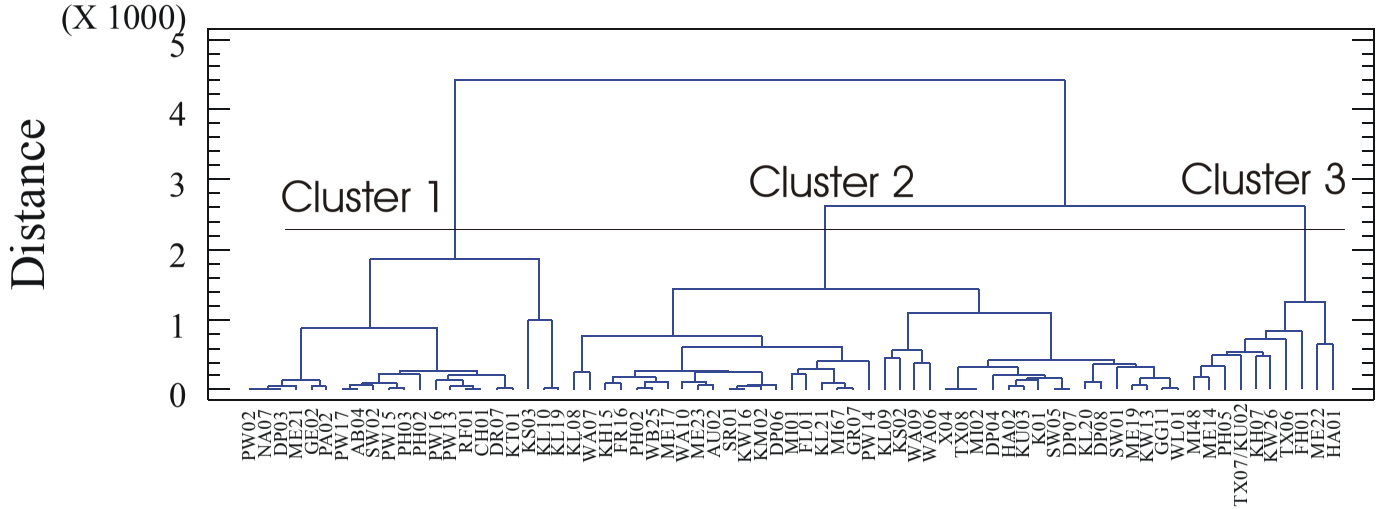


Bild 134 Dendrogramm der Clusteranalyse A: Proben

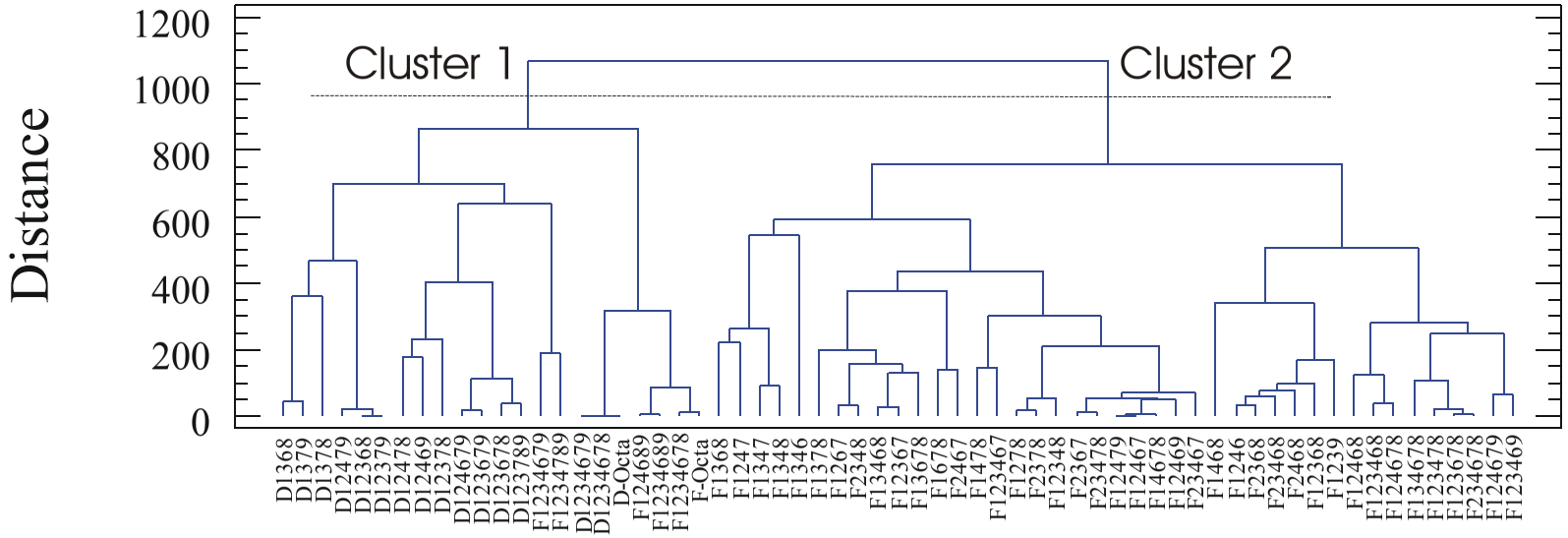


Bild 135 Dendrogramm der Clusteranalyse A: Variablen

9.7.2 Clusteranalyse B

Zum Vergleich mit der Clusteranalyse A wird im Folgenden eine ähnliche, aber modifizierte Clusteranalyse vorgestellt. Hier wurden die Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze bei Null belassen und keine Box-Cox-Transformation durchgeführt. Entsprechend kann hier von keiner Normalverteilung des Datensatzes ausgegangen werden und Extremwerte haben hier einen wesentlich stärkeren strukturellen Einfluss.

Ähnlich wie bei der Clusteranalyse A ist im Dendrogramm der Proben in Bild 136 die Hauptorientierung entsprechend den PCDD/F-Gesamtgehalten. Hier dominieren allerdings wenige hochbelastete Einzelproben wesentlich stärker die gesamte Clusterstruktur.

Bei den Kongeneren in Bild 137 ist die Hauptunterscheidung entsprechend dem Chlorierungsgrad. Eine klare Trennung von Dioxinen und Furanen ist nicht zu erkennen.

9.7.3 Clusteranalyse D

Genau wie die im Abschnitt 3.3.7 erläuterte Clusteranalyse basiert dieser Datensatz auf relativen Kongenergehalten bezogen auf den jeweiligen Homologengehalt und anschließender Box-Cox-Transformation. Hier wurden allerdings gezielt die in Abschnitt 3.3.5 ausgewählten Indikatorkongenere verwendet und alle übrigen Kongenere nicht berücksichtigt. Die folgenden Bild 138 und Bild 139 zeigen die Dendrogramme der Clusteranalyse nach der Ward's-Methode und mit quadriertem euklidischen Abstand. Im Dendrogramm der Proben von Bild 138 sind im Wesentlichen zwei Cluster zu erkennen.

Die Mittelwertverteilung der beiden Cluster gibt keine eindeutigen Hinweise auf die Quellenzuordnung der Sielhautproben. Die Proben mit außergewöhnlichen Isomeren-mustern sind am rechten Rand von Cluster 2 konzentriert. Eine Aufteilung der Proben in den Clustern entsprechend der PCDD/F-Quellen erfolgt nicht. Damit erweist sich die Auswahl der Indikatorkongenere für die Auftrennung der Quellen der Sielhautproben weniger geeignet als der Einbezug aller Kongenere.

Mit den drei Clustern im Dendrogramm der Indikatorkongenere von Bild 139 werden unterschiedliche PCDD/F-Quellen abgedeckt. In Cluster 1 sind die meisten der Indikator-kongenere von PCB, Chlorbleiche und HCH sowie einige Indikatorkongenere von Verbrennungsquellen. Im Cluster 2 befinden sich hauptsächlich Indikatorkongenere von Verbrennungsquellen. In Cluster 3 sind überwiegend Indikatorkongenere von PCP anzutreffen. Eine eindeutige Trennung der wesentlichen Quellen ist zwar nicht möglich, Schwerpunkte der PCDD/F-Herkunft sind aber für die einzelnen Cluster zu erkennen.

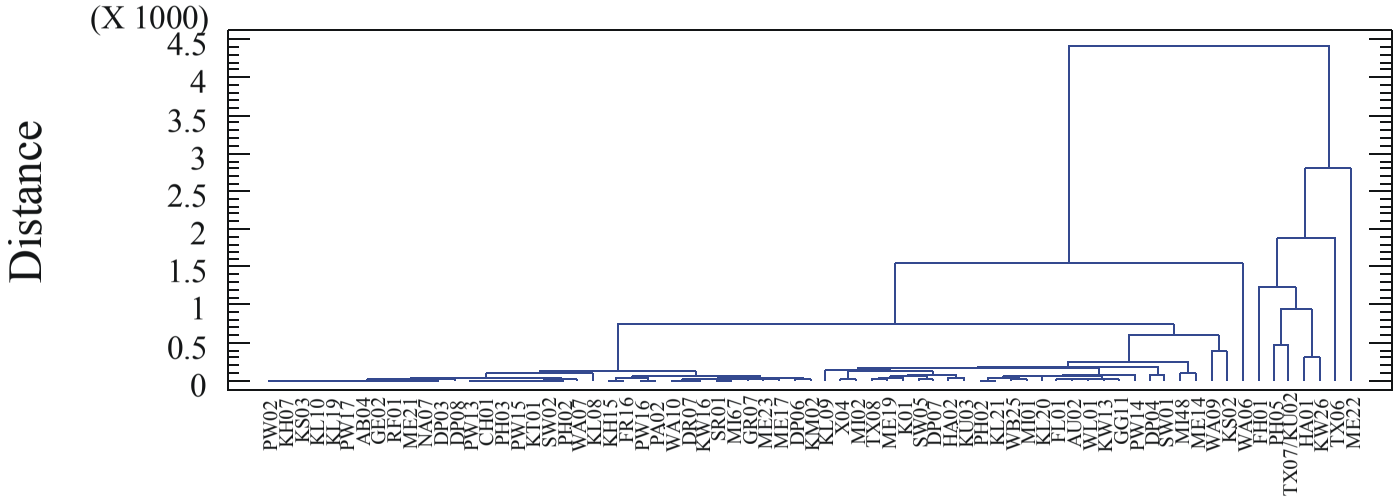


Bild 136 Dendrogramm der Clusteranalyse B: Proben

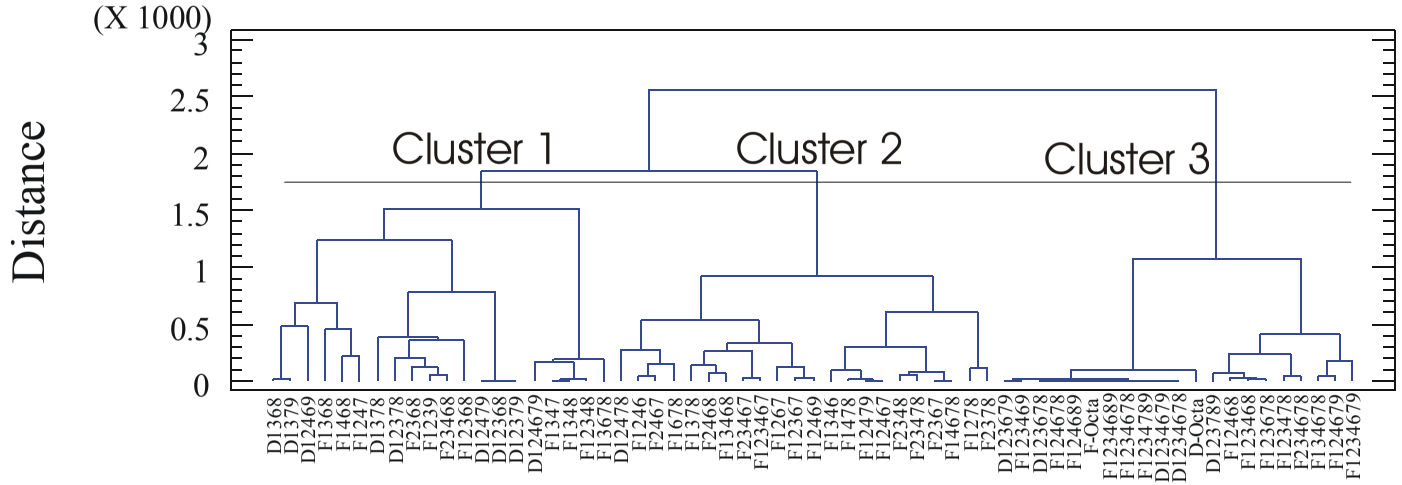


Bild 137 Dendrogramm der Clusteranalyse B: Variablen

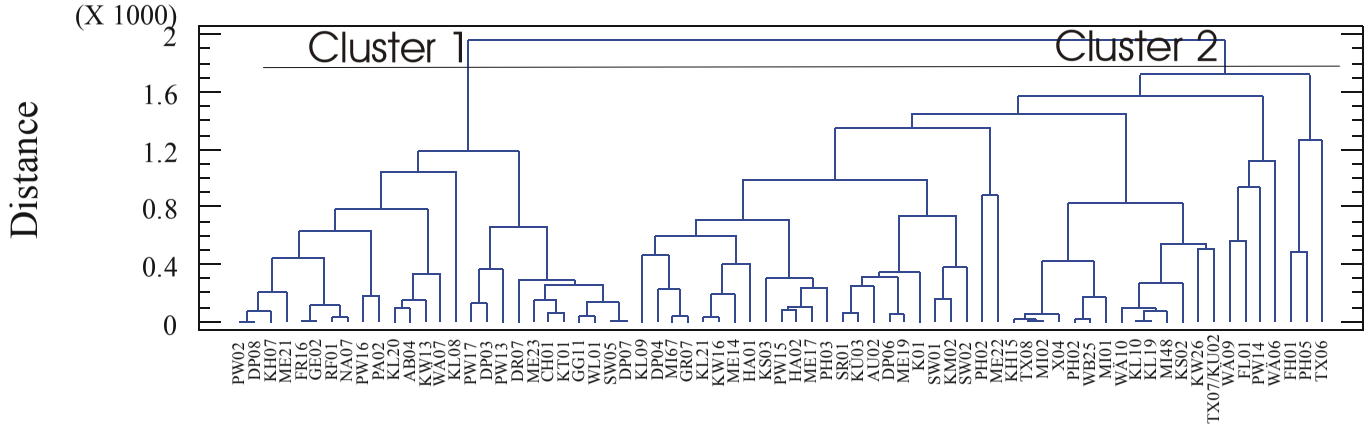


Bild 138 Dendrogramm der Clusteranalyse D: Indikatorkongenere

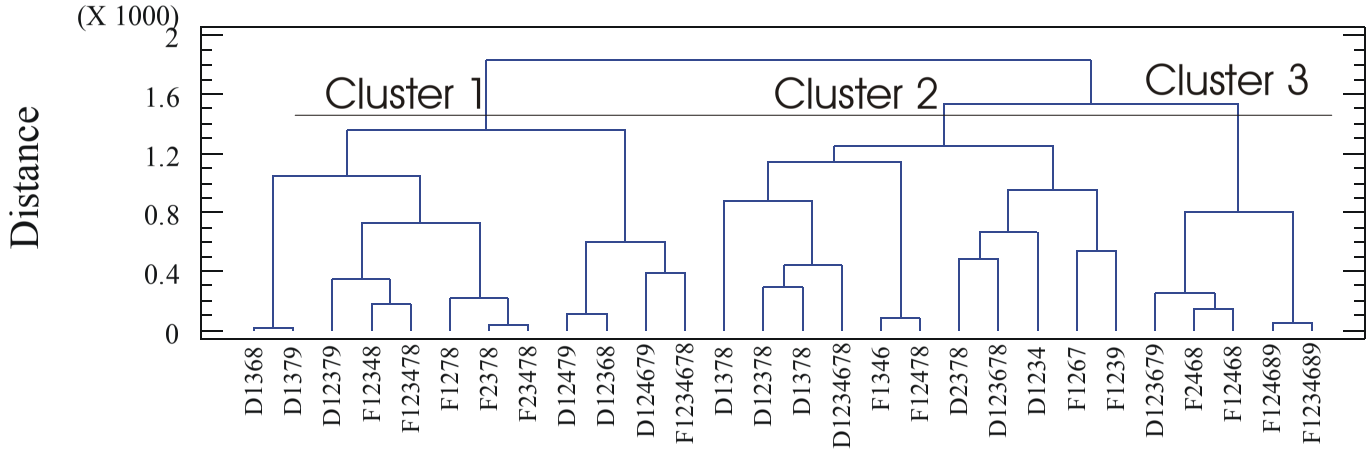


Bild 139 Dendrogramm der Clusteranalyse D: Proben

9.8 ERGÄNZUNGEN ZU ABSCHNITT 3.3.8: FAKTORENANALYSE

In Ergänzung zur in Abschnitt 3.3.8 erläuterten Faktorenanalyse wurden zwei weitere Faktorenanalysen der PCDD/F-Gehalte in Sielhäuten mit Variationen in der Datenbasis durchgeführt. Diese sind im Folgenden dokumentiert.

9.8.1 Faktorenanalyse A

In dieser Faktorenanalyse bilden die absoluten PCDD/F-Gehalte die Datenbasis. Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze wurden durch die Nachweisgrenze ersetzt. Die Messwerte wurden Box-Cox transformiert und alle Kongenere in die Faktorenanalyse einbezogen. Insgesamt erreichen acht Faktoren einen Eigenwert größer als 1. Faktor 1 erklärt 69,6 % der Varianz, Faktor 2: 9,5 % und Faktor 3: 4,8 %. In Bild 140 bis Bild 143 sind die Faktorplots und Ladungsdiagramme für die Faktoren 1 bis 3 dargestellt.

Die Verteilung der Proben zeigt im Wesentlichen folgende Tendenz: Proben mit positiven Faktor 1-Werten haben überdurchschnittlich hohe Furangehalte, insbesondere niederchlorierter Furane. Proben mit hohen Faktor 2-Werten haben einen Anteil von Messwerten unterhalb der Nachweisgrenze. Proben mit negativem Faktor 1 und negativem Faktor 2 zeichnen sich durch niedrige Gesamt-PCDD/F-Gehalte aus, ohne allerdings viele Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze aufzuweisen. Proben mit positivem Faktor 3 haben hohe Gesamt-PCDD/F-Gehalte. So gehört die Probe ME22 zu den am höchsten belasteten Proben.

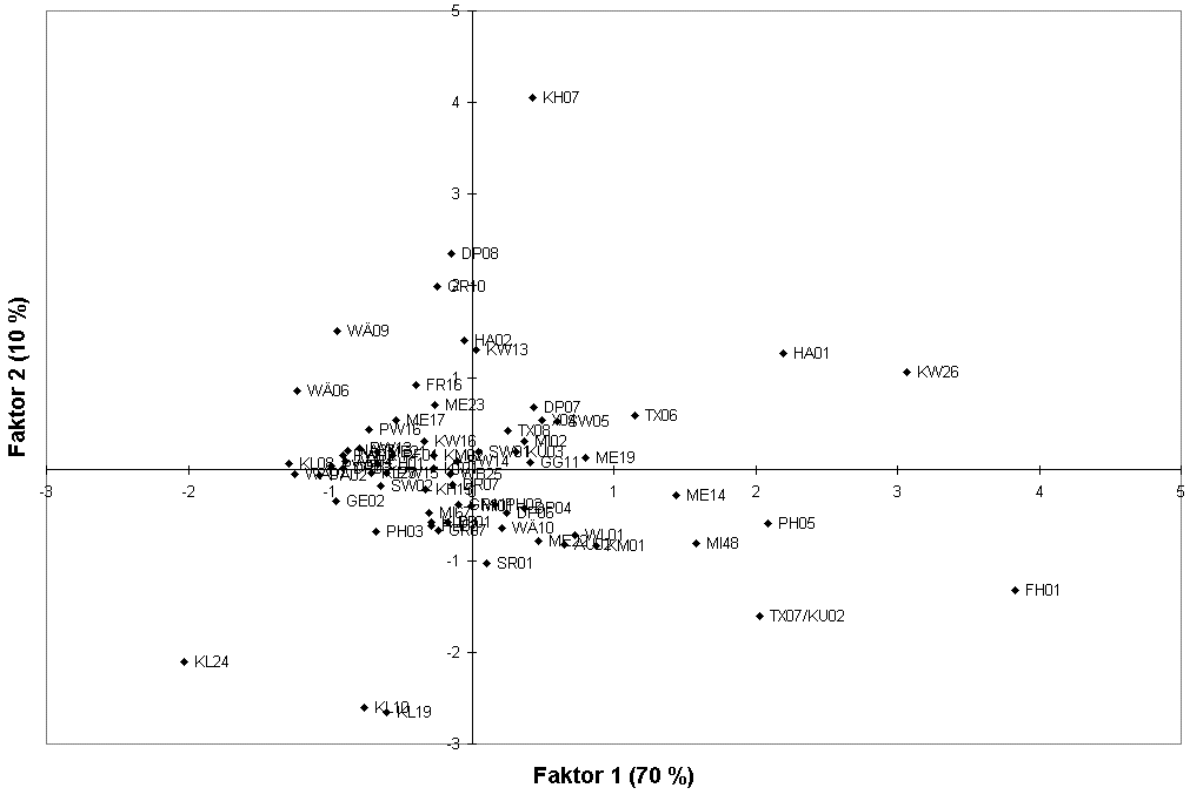


Bild 140 Faktorplot der Faktorenanalyse A: Faktor 1 und 2

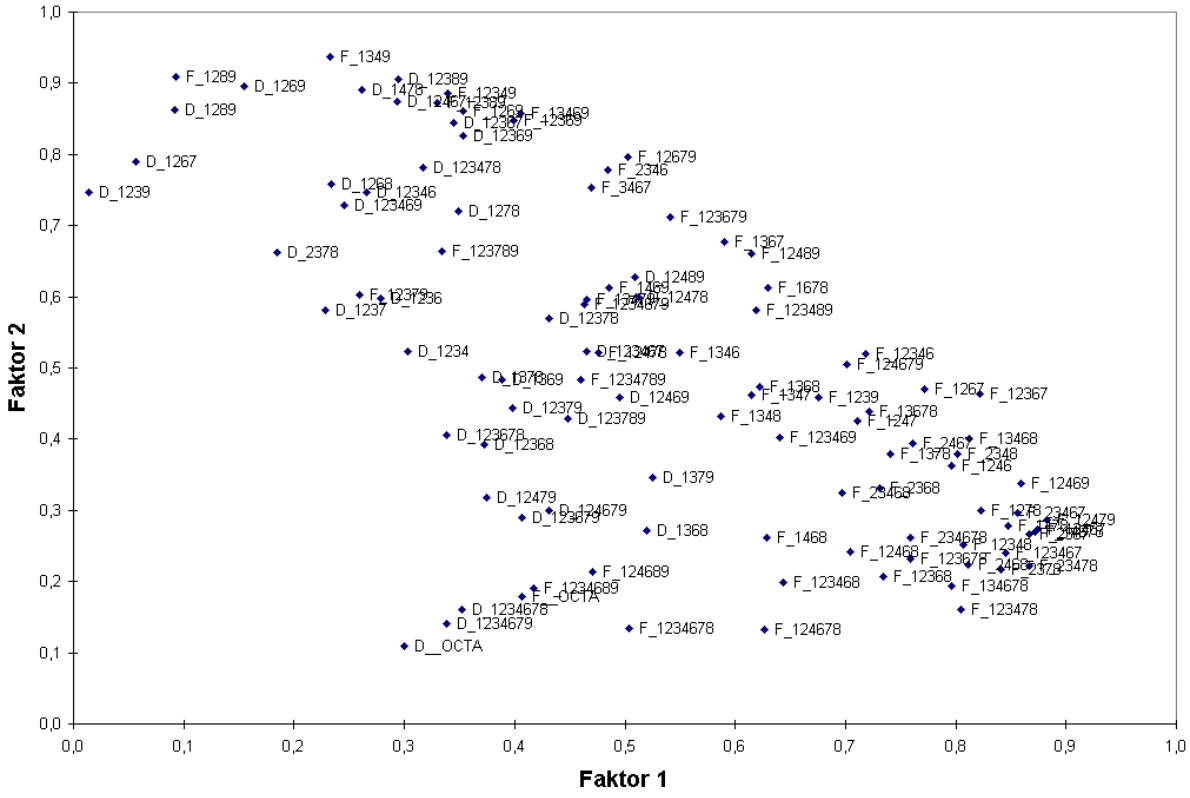


Bild 141 Ladungsdiagramm der Faktorenanalyse A: Faktor 1 und 2

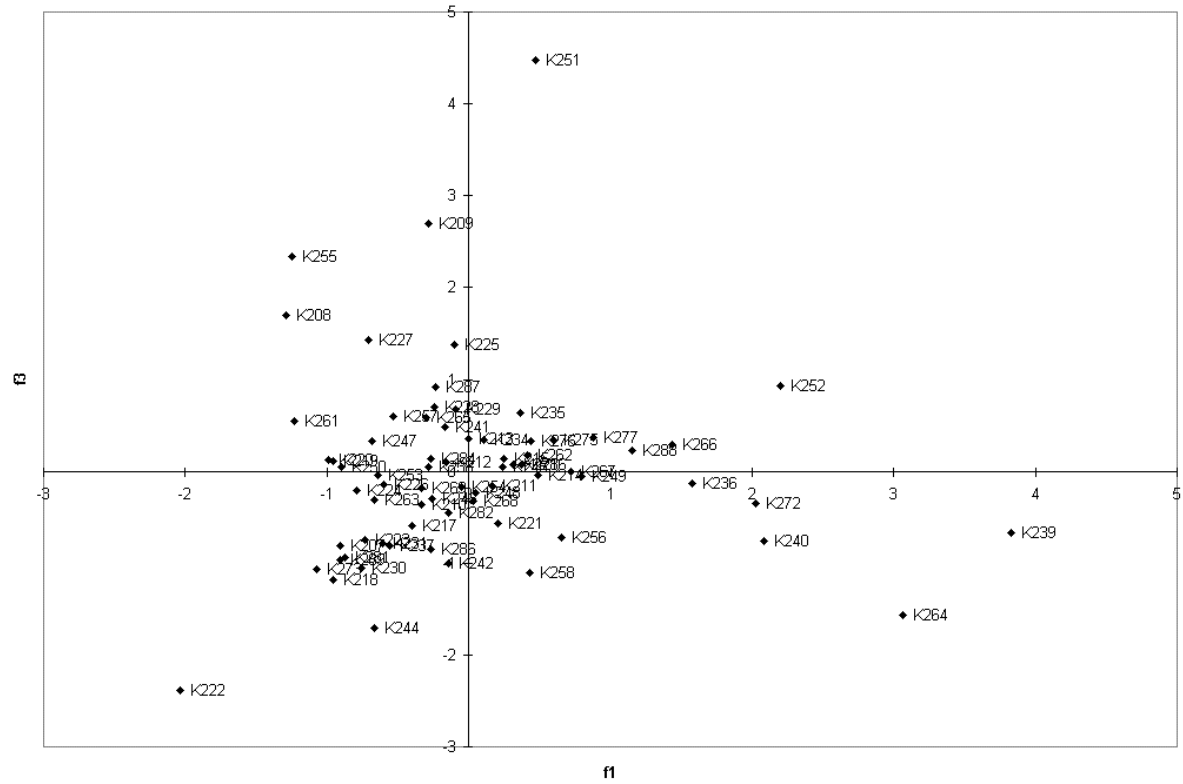


Bild 142 Faktorplot der Faktorenanalyse A: Faktor 1 und 3

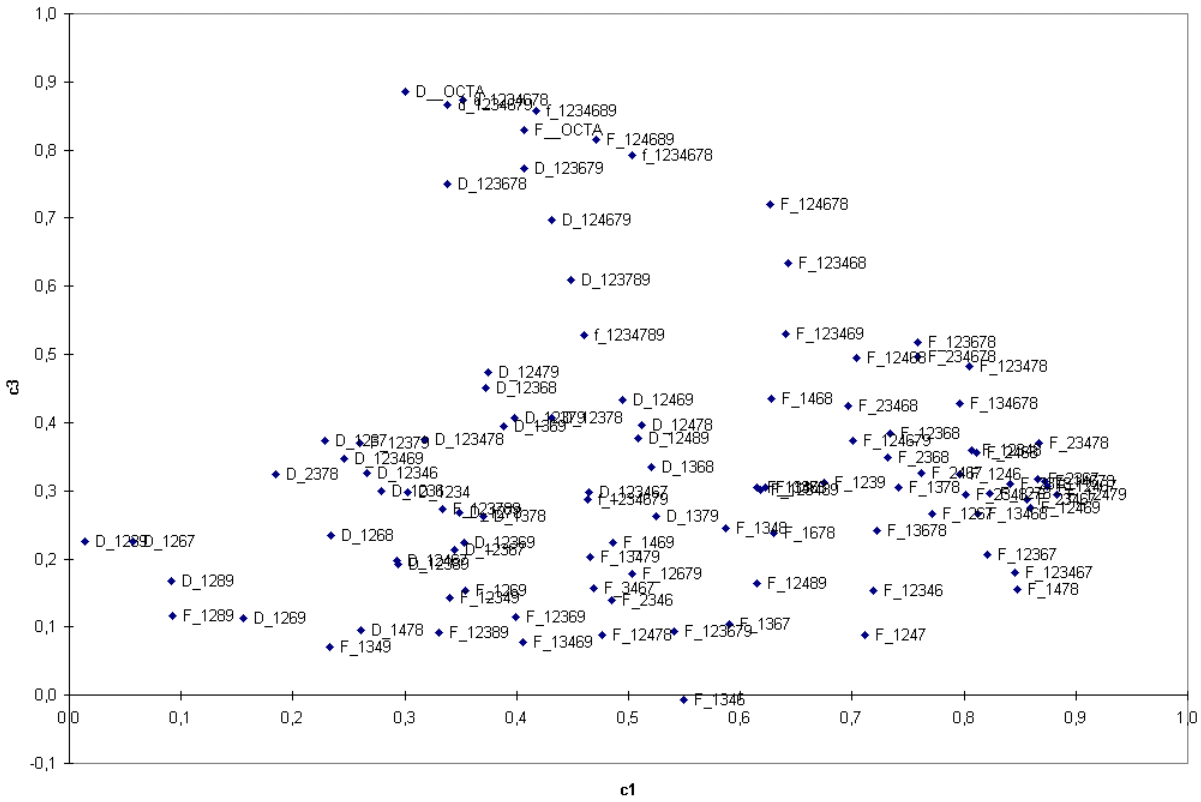


Bild 143 Ladungsdiagramm der Faktorenanalyse A: Faktor 1 und 3

9.8.2 Faktorenanalyse B

In der Faktorenanalyse B werden die Gehalte der einzelnen Kongenere durch die PCDD/F-Gesamtgehalte der jeweiligen Probe geteilt und somit als relative PCDD/F-Gesamtgehalte betrachtet. Messwerte unterhalb der Nachweisgrenze werden durch die Nachweisgrenze ersetzt. Alle Werte werden der Box-Cox-Transformation unterzogen, um die Verteilung einer Normalverteilung anzunähern. Insgesamt wurden 9 Faktoren ermittelt, die den Eigenwert von 1 überschreiten. Faktor 1 erklärt 65,4 %, Faktor 2 10,5 % und Faktor 3 4,6 % der Gesamtvarianz. In Bild 144 bis Bild 147 sind die Faktorplots und Ladungsdiagramme der Faktoren 1 bis 3 dargestellt.

Eine weitergehende Strukturierung des Datensatzes entsprechend einer Quellzuordnung ist nicht zu erkennen. Da der Datensatz auf absoluten Gehalten basiert, ist dies auch nicht zu erwarten.

Faktor 1 differenziert im Wesentlichen zwischen niederchlorierten und höher-chlorierten Kongeneren. Niedrige Faktor 1 Werte bzw. negative Faktor 1 Werte weisen auf hohe Anteile höherchlorierter PCDD/F hin, während hohe Faktor 1 Werte für einen hohen Anteil niederchlorierter PCDD/F stehen.

Mit Faktor 2 wird zwischen hohen und niedrigen Dioxin- bzw. Furananteilen differenziert. Positive Faktor 2 Werte weisen auf einen hohen Furananteil hin. Negative bzw. nur gering positive Faktor 2 Werte bedeuten, dass die entsprechenden Proben über überdurchschnittliche Dioxinanteile verfügen.

Mit Faktor 3 ist eine erste Differenzierung nach Quellen zu erkennen. Die drei Kongenere mit den höchsten positiven Faktor 3 Werten gelten als Indikatorkongenere für Verbrennungsquellen: 1,2,4,6,8-/1,2,4,7,9-PeCDD, 1,2,3,6,8-PeCDD und 1,2,3,7,9-PeCDD. Drei von vier Kongeneren mit den höchsten negativen Faktor 3 Werten deuten auf einen PCP-Einfluss hin: 1,2,4,6,8,9-HxCDF, 1,2,3,4,6,8,9-HpCDF und OCDD.

In den Proben ME22, WÄ07, KL08 und KL09 sind besonders viele höherchlorierte Dioxine enthalten. Dies und die ebenfalls auftretenden Kongenere deuten auf PCP als Quelle hin. Die Proben WÄ09 und WÄ06 zeigen die höchsten positiven Faktor 3-Werte. Allerdings sind nur die oben erwähnten Kongenere in diesen Proben erhöht und z.B. keine Furan-Kongenere, wie es bei Verbrennungsproben üblicherweise zu erwarten wäre. Daher ist die Beeinflussung durch Verbrennungsquellen auch nur für diese Homologen wahrscheinlich.

Insgesamt orientiert sich diese Faktorenanalyse stark am Chlorierungsgrad der Kongenere und an der Unterscheidung zwischen Dioxinen und Furanen. Hinweise auf Belastungsquellen können eher aus solchen Faktoren gezogen werden, die einen geringeren Teil der Varianz erklären. Aufgrund der großen Anteile der höherchlorierten Dioxine an den PCDD/F-Gesamtgehalten haben diese einen bedeutenden Einfluss auf die Ergebnisse dieser Faktorenanalyse.

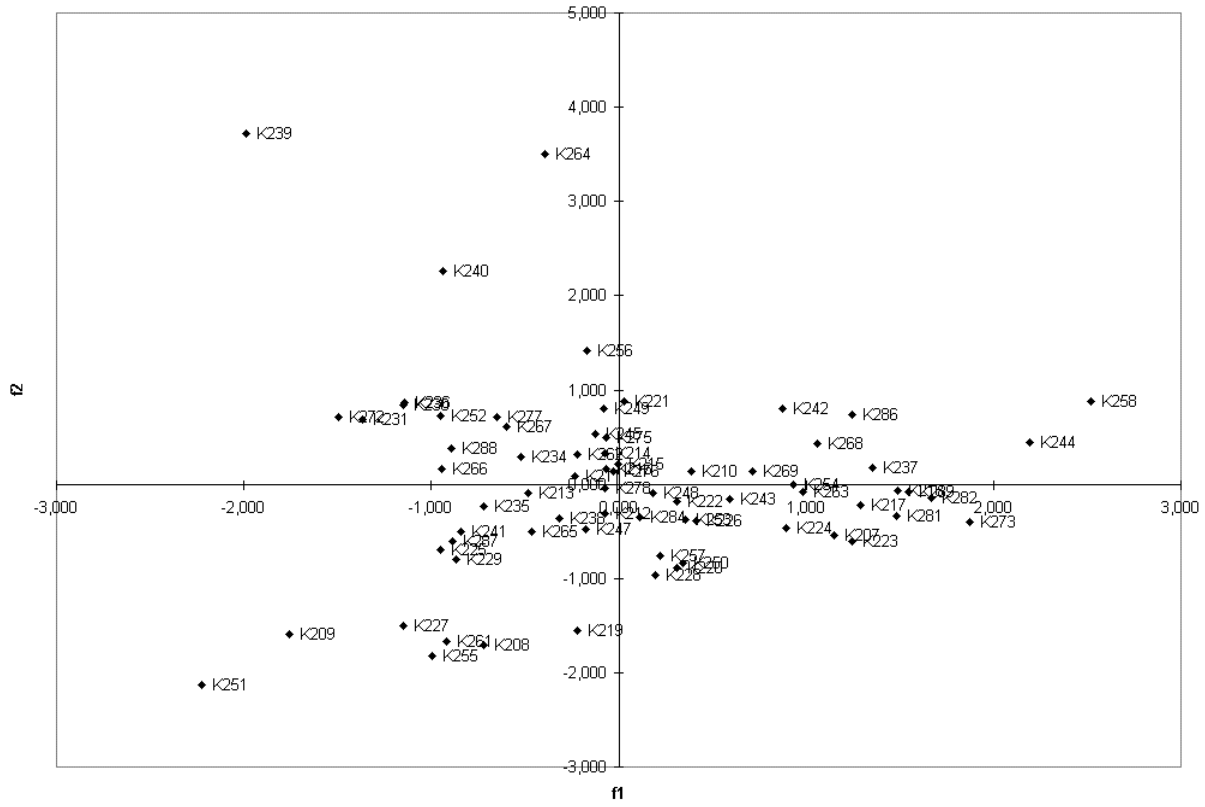


Bild 144 Faktorplot der Faktorenanalyse B: Faktor 1 und 2

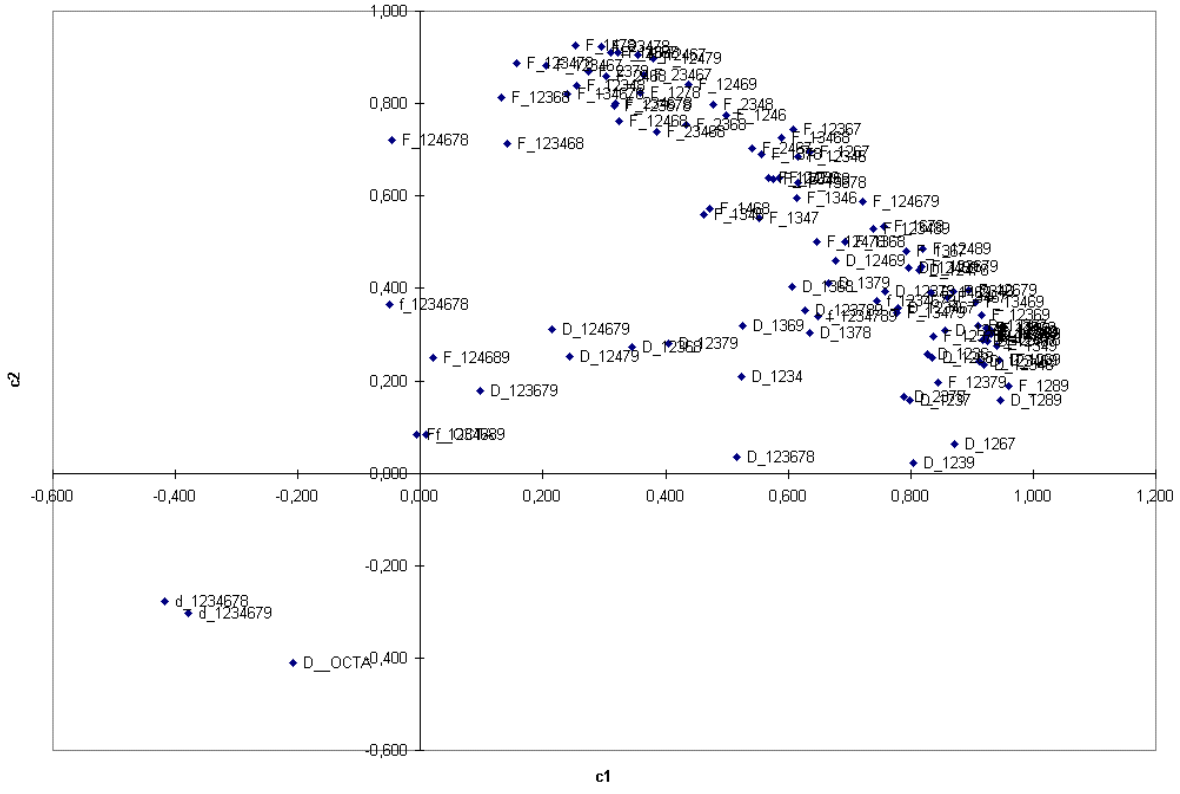


Bild 145 Ladungsdiagramm der Faktorenanalyse B: Faktor 1 und 2

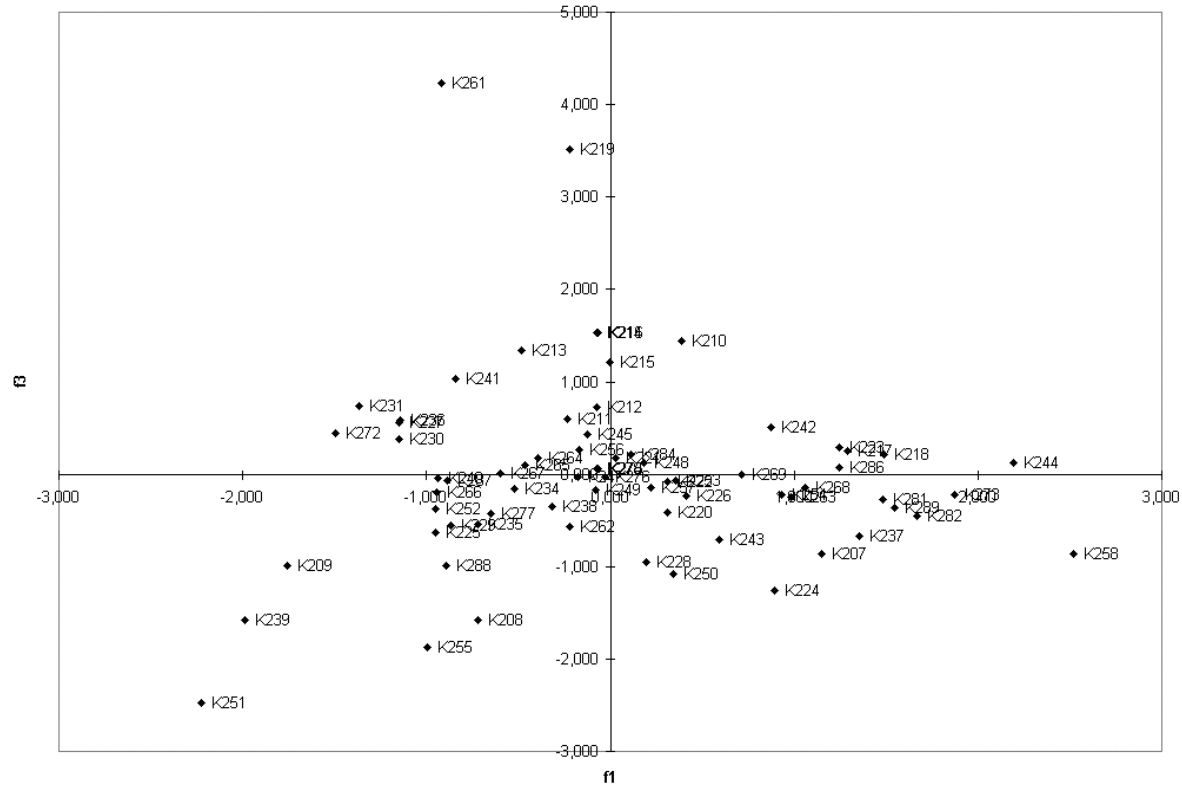


Bild 146 Faktorplot der Faktorenanalyse B: Faktor 1 und 3

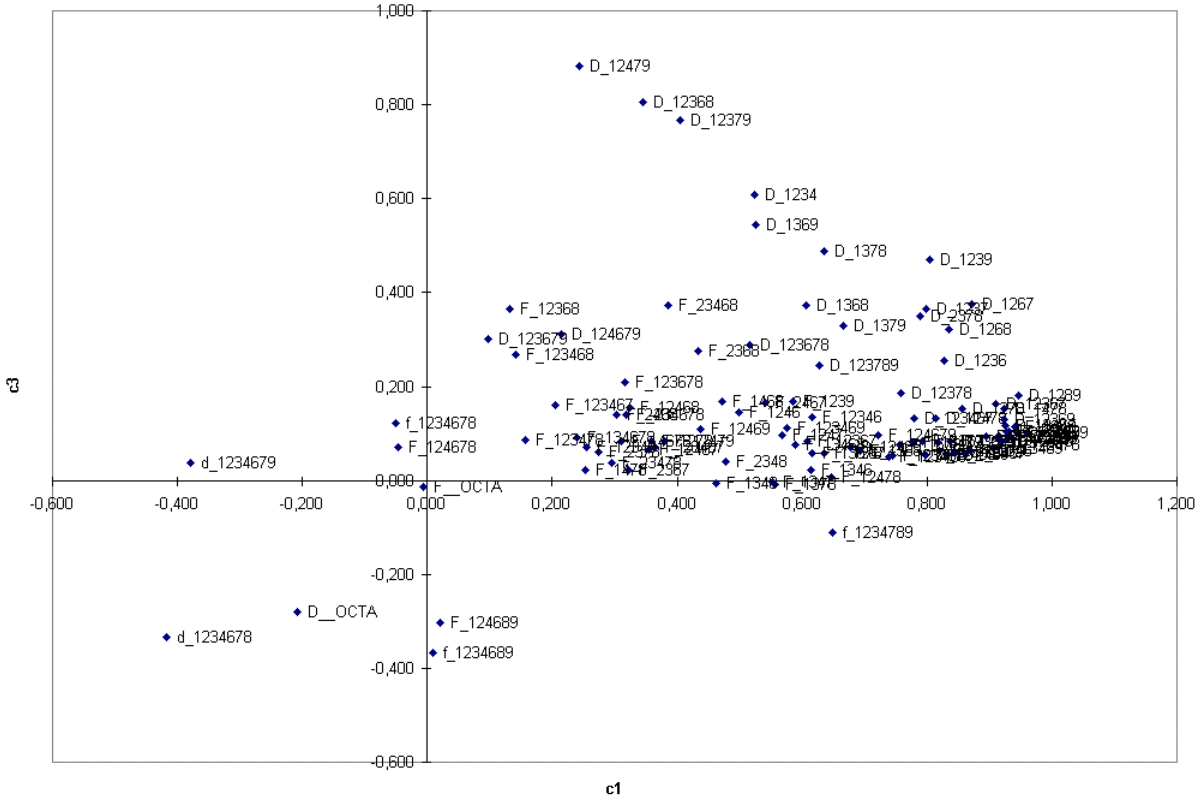


Bild 147 Ladungsdiagramm der Faktorenanalyse B: Faktor 1 und 3

9.9 PCDD/F-ISOMERENQUOTIENTEN DER SEDIMENTPROBEN

Die PCDD/F-Isomerenquotienten in Sedimentproben sind in den folgenden Tabellen dokumentiert. Die Interpretation dieser Isomerenquotienten befindet sich in Abschnitt 4.1.3 auf S. 71.

Tabelle 71 Charakteristische PCDD/F-Isomerenquotienten der AK-Proben

Charakteristische Isomerenquotienten	AK0-5	AK5-10	AK10-15	AK15-20	AK20-25	AK25-30	AK30-40	AK40-52
D1378/D1234		1,7	1,0	1,0	1,4	1,4	1,2	10,5
D1368/D1379	0,9	1,3	1,8	2,7	1,0	1,0	1,0	1,0
D1236.1279/D1278.1469		0,92	0,37	0,13	0,29	0,29	0,18	2,13
D1378/D1247.1248.1369		0,70	0,38	0,38	0,33	0,33	0,36	1,01
D12479.12468/D12379	3,2	3,4	4,1	4,8	8,2	8,2	5,4	4,3
D12479.12468/D12478	4,1	3,9	5,0	4,5	4,6	4,6	3,9	3,8
D12478/D12379	0,77	0,87	0,83	1,08	1,79	1,79	1,38	1,11
D12347.12469/D12378	2,5	2,4	2,4	4,5	13,3	13,3	9,7	8,9
D123678/D123789	1,20	1,09	1,00	0,74	0,66	0,66	0,70	1,27
D123468.124679.124689/D123678	10,7	8,8	9,8	22,4	42,0	42,0	30,6	18,3
D123468.124679.124689/D123679.123689	2,0	1,7	1,9	3,1	4,7	4,7	3,3	5,9
D123679.123689/D123678	5,5	5,1	5,3	7,2	8,9	8,9	9,2	3,1
D1234679/D1234678	1,28	1,34	1,38	1,89	2,22	2,22	2,01	2,31
F1368/F1678.1234	2,4	6,2	2,4	2,1	15,9	15,9	5,2	
F1378.1379/F1468	1,3	2,7	2,7	3,6	2,5	2,5	5,9	6,1
F2467/F2378	1,80	0,74	0,78	0,81	0,84	0,84	1,10	0,79
F1278/F1267/1279	1,7	1,2	4,7	1,0	1,0	1,0	2,8	2,1
F2367/F3467	0,8	15,1	1,8	2,0			0,9	1,0
F1248.1346/F1278	0,7	1,0	1,1	0,7	0,5	0,5	0,7	0,7
F13468/F12468	0,57	0,53	0,78	0,70	0,66	0,66	0,68	
F13678/F12368.13478	0,28	0,23	0,26	0,34	0,05	0,05	0,30	0,49
F14678.12347/F12378.12348	0,65	0,65	0,55	0,92	0,99	0,99	0,46	1,11
F14678.12347/F23478	0,60	0,79	0,65	1,24	0,10	0,10	0,82	0,71
F23468/F12469.12678	1,01	0,84	0,80	0,77	1,02	1,02	1,04	1,00
F124678/F124689	3,5	4,1	3,9	9,7			7,7	
F124678/F123478.123479	1,7	8,8	2,0	9,8			5,4	2,0
F134678.134679/F124678	0,64	0,65	0,45	0,72	0,79	0,79	0,87	1,00
F123478.123479/F124689	2,1	0,5	2,0	1,0			1,4	
F123678/F123478.123479	0,7	3,2	0,9	5,9			3,4	1,0
F1234678/F1234689	4,0	26,4	1200,0	11,9	29,0	29,0	7,2	

Tabelle 72 Charakteristische PCDD/F-Isomerenquotienten der BS-Proben

Charakteristische Isomerenquotienten	BS0-3	BS6-9	BS9-12	BS12-18	BS18-26	BS26-32	BS32-40
D1378/D1234	1,3	2,4	2,4	0,8			
D1368/D1379	1,5	1,5	1,5	2,3			
D1236.1279/D1278.1469	1,23	0,47	0,47				
D1378/D1247.1248.1369	0,48	1,00	1,00	0,27			
D12479.12468/D12379	2,9	2,8	2,8	2,0		2,9	
D12479.12468/D12478	5,6	5,3	5,3	5,9			
D12478/D12379	0,52	0,54	0,54	0,33			
D12347.12469/D12378	1,2	1,8	1,8	1,1			
D123678/D123789	1,1	0,9	1,2	1,5	1,0	1,0	
D123468.124679.124689/D123678	6,7	5,7	6,5	3,1	19,2	9,5	
D123468.124679.124689/D123679.123689	1,4	1,3	1,7	0,9	1,7	1,6	3,2
D123679.123689/D123678	4,9	4,6	3,8	3,3	11,5	5,9	
D1234679/D1234678	0,87	1,01	0,93	0,89	1,00	0,71	0,95
F1368/F1678.1234	2,7	1,2	1,2	12,7			
F1378.1379/F1468	3,2	1,6	1,6	1,4			
F2467/F2378	0,60	0,81	0,81	1,00			
F1278/F1267/1279	2,3	3,3	3,3	40,3			
F2367/F3467	0,5	1,3	1,3	1,1			
F1248.1346/F1278	0,7	0,5	0,5	1,0			
F13468/F12468	0,85	0,79	0,79	0,81	0,78	0,69	
F13678/F12368.13478	0,29	0,32	0,32	0,30	0,45		
F14678.12347/F12378.12348	0,69	1,00	0,65	0,60	0,49	0,49	
F14678.12347/F23478	0,89	0,79	0,85	0,81	0,58	0,49	
F23468/F12469.12678	0,92	0,14	0,93	0,99	1,00		
F124678/F124689	15,3	11,0	11,0	6,8			
F124678/F123478.123479	9,5	8,1	8,1	9,6			
F134678.134679/F124678	0,87	0,73	0,73	0,94			
F123478.123479/F124689	1,6	1,4	1,4	0,7			
F123678/F123478.123479	6,1	3,3	7,5	7,8			
F1234678/F1234689	7,2	4,2	6,8	8,6	16,2		

Tabelle 73 Charakteristische PCDD/F-Isomerenquotienten der QS-Proben

Charakteristische Isomerenquotienten	QS0-5	QS20-30	QS45-50	QS60-65	QS85-90	QS110-115	QS155-160	QS231-236
D1378/D1234		2,0	1,0	0,7	1,7	1,4		
D1368/D1379	1,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,4	1,0	
D1236.1279/D1278.1469					0,79	1,43		
D1378/D1247.1248.1369		0,95	0,61	0,38	0,80	0,69	0,70	
D12479.12468/D12379	3,4	3,2	2,3	2,7	2,1	2,0		
D12479.12468/D12478	2,5	4,1	3,9	4,2	3,8	3,7		
D12478/D12379	1,38	0,76	0,58	0,64	0,55	0,54		
D12347.12469/D12378			2,2	2,5	1,8	1,9		
D123678/D123789	1,6	1,3	1,6	1,7	1,2	1,3		
D123468.124679.124689/D123678	6,0	5,1	5,6	5,2	6,9	6,1		
D123468.124679.124689/D123679.123689	1,3	1,3	1,4	1,3	1,7	2,5	2,3	
D123679.123689/D123678	4,7	4,0	4,0	4,1	4,0	2,4		
D1234679/D1234678	0,88	0,80	0,89	0,87	0,97	1,01	1,65	1,18
F1368/F1678.1234	2,5		2,5	1,8	3,4	1,6		
F1378.1379/F1468	0,60	0,60	0,51	0,43	0,68	0,65		
F2467/F2378	0,31	0,30	0,30	0,31	0,28	0,36		
F1278/F1267/1279	2,2	1,8	2,4	2,3	2,4	1,9		
F2367/F3467								
F1248.1346/F1278	2,3	2,6	2,1	2,4		1,8		
F13468/F12468	0,29	0,34	0,37	0,36	0,44	0,44		
F13678/F12368.13478	0,16	0,16	0,14	0,14	0,20	0,20		
F14678.12347/F12378.12348	0,57	0,46	0,38	0,41	0,57	0,39		
F14678.12347/F23478	0,61	0,47	0,53	0,56	0,76	0,51		
F23468/F12469.12678	0,86	0,79	0,81	0,83	0,79	0,77		
F124678/F124689	3,3	3,0	3,0	2,7	3,4	3,3		
F124678/F123478.123479	2,5	2,2	2,0	2,1	1,6	1,6	0,8	
F134678.134679/F124678	0,46	0,36	0,45	0,42	0,06	0,52		
F123478.123479/F124689	1,3	1,4	1,5	1,3	2,1	2,0		
F123678/F123478.123479	0,84	0,81	0,85	0,81	0,82	0,82	0,71	
F1234678/F1234689	1,3	1,5	1,4	1,2	2,7	1,6	5,1	8,4

Tabelle 74 Charakteristische PCDD/F-Isomerenquotienten der TK-Proben

Charakteristische Isomerenquotienten	TK0-10	TK10-15	TK15-20	TK25-30	TK55-60	TK60-65	TK65-70	TK95-100
D1378/D1234			1,8	3,7		2,0	1,7	
D1368/D1379						2,2		
D1236.1279/D1278.1469					0,53			
D1378/D1247.1248.1369	0,80	0,69	0,69	0,76		0,45	0,67	
D12479.12468/D12379	9,9	10,8	10,5		4,9	6,7	6,5	4,0
D12479.12468/D12478	12,0	10,7	11,9		7,5	7,5	12,4	5,5
D12478/D12379	0,82	1,01	0,88	0,61	0,65	0,90	0,52	0,73
D12347.12469/D12378	9,3	6,8	7,6	8,2	4,3	5,4	5,4	
D123678/D123789	1,9	1,9	1,7	1,8	1,8	1,6	1,7	1,7
D123468.124679.124689/D123678	6,6	5,8	6,3	6,0	6,6	6,3	6,8	8,0
D123468.124679.124689/D123679.123689	1,7	1,5	1,6	1,5	1,7	1,6	1,7	2,1
D123679.123689/D123678	4,0	3,8	4,0	3,9	3,8	3,8	3,9	3,8
D1234679/D1234678	1,08	0,80	0,83	0,84	0,84	0,83	0,82	0,91
F1368/F1678.1234								
F1378.1379/F1468						0,39		
F2467/F2378	0,75		0,53	0,51	0,51	0,50	0,63	0,31
F1278/F1267/1279	1,6	1,8				3,1	2,3	3,0
F2367/F3467								
F1248.1346/F1278								
F13468/F12468		0,31		0,34	0,45	0,39		
F13678/F12368.13478					0,32	0,21	0,25	0,21
F14678.12347/F12378.12348	0,39	0,86	0,77	0,80	0,92	0,42		
F14678.12347/F23478	0,71	0,87	0,96	1,03	1,09	0,52	0,70	0,44
F23468/F12469.12678	0,95	0,94	1,29	1,16	1,14	0,99	1,09	0,78
F124678/F124689	2,5	2,8	3,0	3,0	3,8	3,3	2,8	2,3
F124678/F123478.123479	4,2	4,6	4,4	4,2	2,5	2,4	3,1	2,2
F134678.134679/F124678	0,21	0,20	0,22	0,23	0,53	0,43	0,39	0,27
F123478.123479/F124689	0,59	0,61	0,69	0,70	1,54	1,40	0,92	1,03
F123678/F123478.123479	0,71	0,69	0,72	0,70	0,71	0,64	0,66	0,56
F1234678/F1234689	1,1	1,0	1,2	1,2	2,1	1,7	1,5	1,3

Tabelle 75 Charakteristische PCDD/F-Isomerenquotienten der WS-Proben

Charakteristische Isomerenquotienten	WS0-10	WS10-15	WS15-20	WS20-35	WS35-40	WS50-55	WS60-65	WS75-80	WS90-100
D1378/D1234	3,5	1,4	2,9		1,0	0,9	1,3		
D1368/D1379	1,7	1,6	1,9	1,5	1,5	1,6	1,5	1,7	
D1236.1279/D1278.1469		0,93	0,77						
D1378/D1247.1248.1369	0,92	0,89	0,73		0,84	0,66	0,63		
D12479.12468/D12379	2,6	2,4	2,5	2,2	2,0	1,9	2,6		
D12479.12468/D12478	4,1	3,9	4,1	4,3	4,8	6,1	8,6		
D12478/D12379	0,64	0,60	0,61	0,52	0,41	0,31	0,30		
D12347.12469/D12378	1,8	1,8	1,7	2,1	2,0	2,6	2,1		
D123678/D123789	1,8	1,5	1,9	1,6		1,2	1,4		
D123468.124679.124689/D123678	4,2	3,9	3,3	4,4	7,6	9,9	9,2		
D123468.124679.124689 /D123679.123689	1,1	1,1	1,0	1,2	2,1	2,5	2,6	2,3	
D123679.123689/D123678	3,8	3,6	3,3	3,6	3,7	4,0	3,6		
D1234679/D1234678	0,80	0,78	0,71	0,87	1,07	1,07	1,02	1,08	1,55
F1368/F1678.1234	1,7	2,2	0,9	1,5	0,6	0,7	0,5	1,1	
F1378.1379/F1468		0,66				0,54	1,53	1,20	
F2467/F2378	0,47	0,44	0,52	0,45	0,50	0,73	0,74	0,96	1,37
F1278/F1267/1279	1,4	1,8	1,4	1,5	1,7	2,4	1,7	1,2	1,0
F2367/F3467				10,6					
F1248.1346/F1278							0,7		1,2
F13468/F12468	0,47	0,46	0,36	0,51	0,83	0,77	0,77		
F13678/F12368.13478	0,18	0,20	0,20	0,16	0,15	0,38	0,37		
F14678.12347/F12378.12348		0,54		0,75	1,25	0,30	0,23		
F14678.12347/F23478	0,48	0,53	0,48	0,82	0,87	0,48	0,33	0,95	
F23468/F12469.12678	0,84	0,81	0,89	0,68	0,54	0,61	0,64	0,58	
F124678/F124689	2,5	2,4	2,2	2,4		9,0	7,2		
F124678/F123478.123479	2,6	2,7	3,5	2,1	1,1	0,8	0,7	1,2	1,0
F134678.134679/F124678	0,35	0,34	0,26	0,44	0,99	0,89	0,93	1,01	
F123478.123479/F124689	0,96	0,88	0,62	1,16		11,09	10,68		
F123678/F123478.123479	0,80	0,78	0,78	0,75	0,67	0,59	0,54	0,88	0,84
F1234678/F1234689	1,6	1,0	1,0	1,3	3,9	5,7	6,0	5,6	

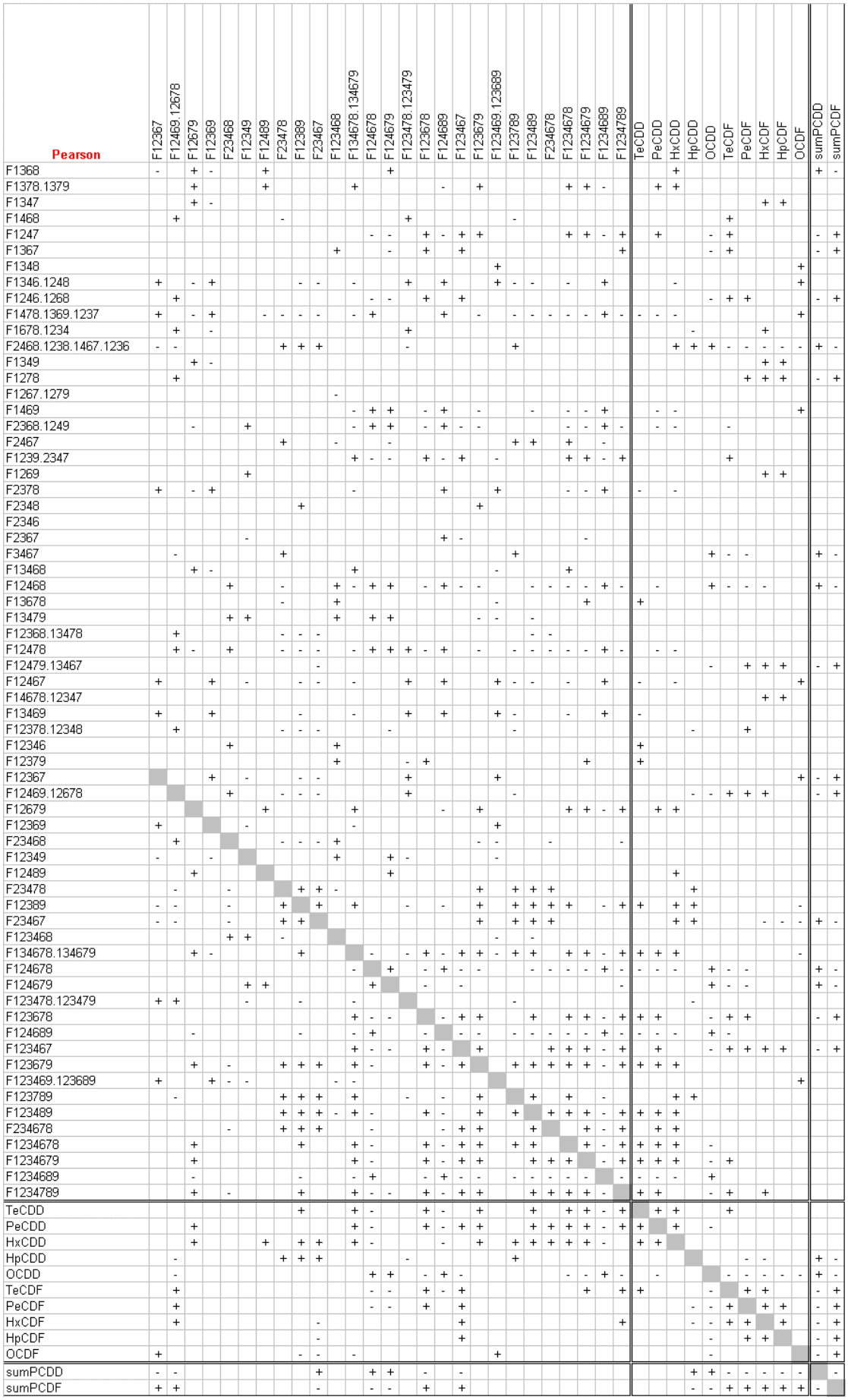
9.10 KORRELATIONEN VON SCHADSTOFFEN IN SEDIMENTEN

Signifikant positive und negative Korrelationen nach Pearson

Pearson	D1368	D1379	D1378	D1369.1247.1248	D1268	D1478	D2378	D1237	D1234.1246.1249.1238	D1236.1279	D1278.1469	D1239	D1269	D1267	D1289	D12479.12468	D12368	D12478	D12379	D12469.12347	D12378	D12369	D12467	D12489	D12346	D12367	D12389	D124679.124689.123468	D123679.123689	D123478	D123678	D123469	D123789	D123467	D1234679	D1234678
D1368		+		-	-					-	-	-	-	-		+	+			-			-	-			-	-	+		+				-	+
D1379	+			-	-	-				-	-	-	-	-			+			-			-	-				-	+		+				-	+
D1378				+									+		-																					
D1369.1247.1248	-	-	+							+			+																-						+	-
D1268	-	-								+	+					-							+		+	+			-		-	+			+	-
D1478		-						+	+									+																	
D2378									+									+			+														
D1237						+			+									+																	
D1234.1246.1249.1238						+	+	+		+								+			+												+	+	
D1236.1279	-	-		+	+				+		+	+		+		-	-			+				+			+	+	-		-			+	-
D1278.1469	-	-			+					+		+		+			-		-	+			+	+				+	-	-	-		-	+	-
D1239	-	-								+	+			+			-			+			+	+				+		-	-		-	+	-
D1269	-	-	+	+													-						+	+				+	-		-			+	-
D1267	-	-								+	+	+				-	-			+			+	+				+	-		-			+	-
D1289			-																+	-		+			+										
D12479.12468	+				-					-				-						-	-		-	-		-	-		+					-	-	+
D12368	+	+								-	-	-	-	-					+	-			-	-				-	+	+	+		+	+	-	+
D12478						+	+		+												+															
D12379											-				+		+			-	+		-	-	+			-		+			+	+	-	+
D12469.12347	-	-								+	+	+		+	-	-	-		-		-	-	+	+	-			+	-	-	-		-		+	-
D12378							+		+							-		+	+	-			-				+	-		+		+	+		
D12369															+					-					+											
D12467	-	-									+	+	+	+		-	-		-	+	-			+				+	-	-	-		-		+	-
D12489	-	-			+					+	+	+	+	+		-	-		-	+			+					+	-	-	-		-		+	-
D12346															+				+	-		+														
D12367					+											-													-				+	+		
D12389	-				+					+						-					+													+	+	-
D124679.124689.123468	-	-								+	+	+	+	+			-		-	+	-		+	+						-	-	-		-		+	-
D123679.123689	+	+		-	-					-	-		-	-		+	+			-			-	-			-				+				-	+
D123478											-	-					+		+	-	+		-	-				-					+	+		
D123678	+	+			-					-	-	-	-	-			+			-			-	-				-	+				+		-	+
D123469					+																															
D123789									+		-	-					+		+	-	+		-	-		+		-		+	+			+	-	+
D123467									+							-	+		+		+					+	+			+			+			
D1234679	-	-		+	+					+	+	+	+	+		-	-		-	+			+	+			+	+	-		-		-			-
D1234678	+	+		-	-					-	-	-	-	-		+	+		+	-			-	-			-	-	+		+		+		-	

Pearson	D1368	D1379	D1378	D1369.1247.1248	D1268	D1478	D2378	D1237	D1234.1246.1249.1238	D1236.1279	D1278.1469	D1239	D1269	D1267	D1289	D12479.12468	D12368	D12478	D12379	D12469.12347	D12378	D12369	D12467	D12489	D12346	D12367	D12389	D124679.124689.123468	D123679.123689	D123478	D123678	D123469	D123789	D123467	D1234679	D1234678
F1368									-				+				-		-	+			+	+				+	-		-		-		+	-
F1378.1379													+			-	-							+					-						+	-
F1347					+																						+			+		+				
F1468					-						-		-	-			+		+	-			-	-	+					+					-	+
F1247															+				+	-	+	+			+					+						
F1367															+		+		+	-		+	-	-	+					+					-	+
F1348				+																										+						
F1346.1248							+		+		-							+					-	-				-			+				-	+
F1246.1268																			+	-	+	+								+						
F1478.1369.1237		+					+				-	-		-			+	+		-	+		-	-				-	+		+		+		-	+
F1678.1234																						-					+							+		
F2468.1238.1467.1236		-							-		+	+					-		-	+	-		+	+				+	-	-	-		-	+	-
F1349					+																											+				
F1278												-																						+		
F1267.1279															-	-				+		-			-		+									
F1469	+															+																				
F2368.1249	+															+			-		-						-			-						
F2467					+									+																						
F1239.2347			-												+				+																	
F1269																																+				
F2378							+		+									+												+						
F2348						-																														
F2346																										-										
F2367															-							-			-	+										
F3467	-	-			+						+	+					-		-	+			+	+				+		-	-		-		+	-
F13468																																				
F12468	+				-								-			+			-							-	-							-		
F13678															+					-					+											
F13479	+				-		-			-			-			+		-			-			-			-							-	-	+
F12368.13478																			+	-	+	+						-					+			
F12478	+	+			-						-	-		-			+							-							+				-	+
F12479.13467																										+		-		+		+	+	+		
F12467						+	+		+									+			+							-			+		+			
F14678.12347																										+										
F13469									+						-																+		+			
F12378.12348																	+		+								+							+		
F12346							-											-																		
F12379															+					-		+			+		-									
F12367							+		+									+	+		+	+	-				-			+	+		+	+		
F12469.12678		+									-	-					+		+	-			-	-						+				+		
F12679	-				+								+				-						+	+							-				+	-
F12369							+		+									+			+	+	-								+		+			
F23468	+				-					-				-		+								-								-				
F12349	+						-		-	-						+		-			-						-									
F12489			+	+									+				-			+			+	+				+	-							
F23478	-	-			+					+	+			+			-			+			+	+				+	-		-				+	-
F12389		-									+	+					-			+			+	+				+			-		-			
F23467		-									+	+					-		-	+	-		+	+				+	-	-	-		-		+	-
F123468	+				-		-		-	-				-	+	+				-					+		-		+					-	-	+
F134678.134679															+									+							-					
F124678	+			-						-				-		+				-						-	-		+					-	-	+
F124679			+																	-	+	-												-		
F123478.123479			+						+		-				-		+										+							+		
F123678	-				+										+					+		+														
F124689	+				-									-	-									-				-	+		+				-	+
F123467															+					+		+				+	+			+				+		
F123679	-	-			+					+	+	+		+	+	-	-							+				+	-		-				+	-
F123469.123689							+		+							-					+													+		
F123789	-	-			+					+	+	+	+	+			-		-	+			+	+				+	-	-	-		-		+	-
F123489	-	-			+					+	+	+		+		-							+	+				+	-		-				+	-
F234678	-	-									+	+		+														+	-		-				+	-
F1234678	-	-			+					+	+		+	+			-							+		+		+	-		-				+	-
F1234679	-																		+						+				-							
F1234689	+	+			-					-	-		-	-										-		-		-	+		+				-	+
F1234789					+										+				+										-			+				
TeCDD		-					-					+		+				-									+	-		-		-				
PeCDD	-	-			+					+	+	+		+		-								+			+	-		-					+	-
HxCDD	-	-		+						+	+	+	+	+		-	-			+			+	+			+	-		-					+	-
HpCDD																	-																	-		
OCDD															-				-	+	-				-	-				-			-	-		
TeCDF															+				+	-	+				+					+				+		
PeCDF									+								+		+	-	+					+				+			+	+		
HxCDF												-					+		+	-	+			-		+		-		+		+	+	+		
HpCDF															+					-	+							-		+		+	+	+		
OCDF								+	+																						+		+			
sumPCDD																	-		-	+	-		+	+	-	-		+		-			-	-		
sumPCDF																	+		+	-	+		-	-	+	+		-		+			+	+		

Pearson	F1368	F1378.1379	F1347	F1468	F1247	F1367	F1348	F1346.1248	F1246.1268	F1478.1369.1237	F1678.1234	F2468.1238.1467.1236	F1349	F1278	F1267.1279	F1469	F2368.1249	F2467	F1239.2347	F1269	F2378	F2348	F2346	F2367	F3467	F13468	F12468	F13678	F13479	F12368.13478	F12478	F12479.13467	F12467	F14678.12347	F13469	F12378.12348	F12346	F12379
F1368		+						-		-		+									-					+		+					-				
F1378.1379	+		+					-		-							-				-					+		+			-							
F1347		+						-			+		+	+						+										+		+					
F1468						+			+			-													-													
F1247						+	+		+								-		+								-	+			-						+
F1367				+	+				+										+									+										+
F1348					+																																	
F1346.1248	-	-	-							+		-	-					-	-		+	-				-				+		+		+				
F1246.1268				+	+	+										-	-		+								+		+							+		
F1478.1369.1237	-	-						+				-									+								+	+		+		+				
F1678.1234			+											+	+																				+			
F2468.1238.1467.1236	+			-				-		-															+					-	-	-			-			
F1349			+					-						+						+										+								
F1278			+								+		+							+										+								
F1267.1279											+								+					+			-	-									-
F1469									-								+		-									+		+								
F2368.1249		-			-				-							+										+		+		+								
F2467								-							+				+							-		-		-								
F1239.2347					+	+		-	+							-		+			-	+				-				-		-		-				+
F1269			+										+	+															+		+							
F2378	-	-						+		+									-					+	-		-	-				+		+		-	-
F2348								-											+																			
F2346																																						
F2367															+						+						-							+			-
F3467				-								+																										
F13468	+	+						-													-						+		+								+
F12468					-												+	-	-									+		+								
F13678	+	+			+	+			+						-						-			-	+			+			-		-		+	+	
F13479															-	+	+	-			-						+	+								+	+	
F12368.13478									+	+		-													+					+							
F12478		-			-			+		+		-				+	+	-	-								+					+		+			-
F12479.13467			+									-	+	+						+														+				
F12467	-							+		+		-							-		+	-						-		+	+			+		-	
F14678.12347			+																	+											+						
F13469								+		+									-		+			+				-			+		+				-
F12378.12348									+		+	-																										
F12346																					-							+	+				-				+
F12379					+	+									-				+		-			-		+		+	+		-				-		+	
F12367	-							+		+		-									+												+		+			
F12469.12678				+					+		+	-		+											-					+	+					+		
F12679	+	+	+					-		-			+				-				-					+					-							
F12369	-		-					+		+	-		-								+					-							+		+			
F23468																											+		+							+		
F12349																	+			+				-				+					-					
F12489	+	+								-																												
F23478				-						-		+						+							+		-	-			-	-					-	
F12389								-		-		+										+									-	-			-	-		
F23467								-		-		+																			-	-	-			-		
F123468						+									-			-									+	+	+							+	+	
F134678.134679		+						-		-						-	-		+		-				+	-				-			-		-			
F124678					-				-	+						+	+		-							+		+		+								
F124679	+				-	-			-							+	+	-	-							+		+		+						-		
F123478.123479				+				+			+	-																		+		+		+			-	
F123678					+	+			+							-	-		+							-				-							+	
F124689		-			-			+		+						+	+		-		+			+		+				+		+		+				
F123467					+	+			+								-		+					-		-												
F123679		+			+					-						-	-					+				-		-		-								
F123469.123689							+	+											-		+				-		-	-				+		+				
F123789				-				-		-		+						+							+						-		-		-	-		
F123489								-		-						-		+								-		-	-	-		-						
F234678										-																-				-	-							
F1234678		+			+			-		-						-	-	+	+		-				+	-				-		-		-				
F1234679		+			+					-						-	-		+		-			-		-	+			-							+	
F1234689		-			-			+		+						+	+	-	-		+					+				+		+		+				
F1234789					+	+				-							-		+							-					-							
TeCDD										-											-						+					-		-			+	+
PeCDD		+			+					-						-	-									-					-							
HxCDD	+	+						-		-		+				-	-				-										-		-					
HpCDD											-	+																									-		
OCDD					-	-			-			+													+		+				-							
TeCDF				+	+	+			+			-					-		+						-		-											
PeCDF									+			-		+											-		-				+					+		
HxCDF			+								+	-	+	+						+							-				+		+					
HpCDF			+									-	+	+						+											+		+					
OCDF							+	+		+		-				+																+						
sumPCDD	+				-	-			-			+		-											+		+				-							
sumPCDF	-				+	+			+			-		+											-		-				+							


Pearson
F12367
F12469.12678
F12679
F12369
F23468
F12349
F12489
F23478
F12389
F23467
F123468
F134678.134679
F124678
F124679
F123478.123479
F123678
F124689
F123467
F123679
F123469.123689
F123789
F123489
F234678
F1234678
F1234679
F1234689
F1234789
TeCDD
PeCDD
HxCDD
HpCDD
OCDD
TeCDF
PeCDF
HxCDF
HpCDF
OCDF
sumPCDD
sumPCDF
F1368
F1378.1379
F1347
F1468
F1247
F1367
F1348
F1346.1248
F1246.1268
F1478.1369.1237
F1678.1234
F2468.1238.1467.1236
F1349
F1278
F1267.1279
F1469
F2368.1249
F2467
F1239.2347
F1269
F2378
F2348
F2346
F2367
F3467
F13468
F12468
F13678
F13479
F12368.13478
F12478
F12479.13467
F12467
F14678.12347
F13469
F12378.12348
F12346
F12379
F12367
F12469.12678
F12679
F12369
F23468
F12349
F12489
F23478
F12389
F23467
F123468
F134678.134679
F124678
F124679
F123478.123479
F123678
F124689
F123467
F123679
F123469.123689
F123789
F123489
F234678
F1234678
F1234679
F1234689
F1234789
TeCDD
PeCDD
HxCDD
HpCDD
OCDD
TeCDF
PeCDF
HxCDF
HpCDF
OCDF
sumPCDD
sumPCDF

Pearson	D1368	D1379	D1378	D1369.1247.1248	D1268	D1478	D2378	D1237	D1234.1246.1249.1238	D1236.1279	D1278.1469	D1239	D1269	D1267	D1289	D12479.12468	D12368	D12478	D12379	D12469.12347	D12378	D12369	D12467	D12489	D12346	D12367	D12389	D124679.124689.123468	D123679.123689	D123478	D123678	D123469	D123789	D123467	D1234679	D1234678
2MeAnthr							+		+									+				-													
B-ghi-flant											+			+		-				+		-	+	+	-		+	+	-		-				+	-
B-e-pyr					+																	-	+	+	-										+	-
Anth	+	+		-								-																								
In-123cd-flant	-				+						+		+	+			-		-	+		-	+	+	-			+	-		-		-		+	-
B-b-chry	+	+		-								-																								
Pi3MePhen				-																																
3MePhen							+		+														-							+					
49MePhen				+					+													+	-		+											
1MePhen									+												+	+	-													
B-b-napht-21d-th	+	+								-	-	-					+							-				-							-	+
Pha-910b-th																		+																		
B-b-na-23d-th		+										-																								
Triphy				-																																
B-c-Pha	+	+		-						-		-	-				+							-				-							-	+
In-123cd-py					+																															
B-ghi-pe	-				+						+		+				-						+	+						-				+	-
Dib-ah-anthr	+				-										-	+								-							+					
Napht					-																															
Acy																																				
Ace	+				-					-						+					-					-										
Fluor				+			+	+	+																											
Phen									+																											
Anthr					-				+		-						+						-	-							+				-	+
2MePhen			+	+					+																											
MeAnthr																																				
Flant	+																+							-							+					
Pyr					-																										+					
910-DimeAnthr							+																													
B-b-napht-12d-th	+	+										-												-											-	+
B-a-Anthr	+	+		-								-					+							-				-			+					
Chry	+	+		-						-	-	-	-				+							-				-	+		+		+		-	+
2MeChry		+		-																																
712-Dime-a-Anthr												+		+																						
B-bj-fluant					+						+		+				-		-	+			+	+	-			+		-	-		-		+	-
B-k-flant																						-	+	+	-											
B-a-Pyr	+	+		-								-										-			-											
Pe		-										+			+							+			+											
Cor	-	-			+						+		+	+			-			+			+	+				+	-		-		-		+	-
Cd								-																												
Cr	+	+								-																			+						-	+
Cu	+	+		-								-	-				+							-				-					+		-	+
Pb		+										-			+					-								-				+				
Zn				-								-			+					-				-				-		+		+	+		-	+
Fe	-				+						+		+				-			+			+	+	-			+	-		-				+	-
Mn																+										-										
S															+										+		-									
P					-												+							-							+					

Pearson	F1368	F1378.1379	F1347	F1468	F1247	F1367	F1348	F1346.1248	F1246.1268	F1478.1369.1237	F1678.1234	F2468.1238.1467.1236	F1349	F1278	F1267.1279	F1469	F2368.1249	F2467	F1239.2347	F1269	F2378	F2348	F2346	F2367	F3467	F13468	F12468	F13678	F13479	F12368.13478	F12478	F12479.13467	F12467	F14678.12347	F13469	F12378.12348	F12346	F12379
2MeAnthr								+		+									-		+					-					+		+		+			
B-ghi-flant		+		-				-		-					+			+								-		-										
B-e-pyr			+	-		-	-	-							+			+						+														-
Anth											+													+														
In-123cd-flant	+	+	+	-			-	-		-					+			+							+	+				-		-						
B-b-chry											+																											
Pi3MePhen			+																																			
3MePhen							+	+		+								-	-		+				-					+		+						
49MePhen							+	+							-			-						-								+						
1MePhen							+	+		+								-														+						
B-b-napht-21d-th					-					+				+		+				+	+		+							+								
Pha-910b-th								+		+										+	+									+		+						
B-b-na-23d-th					-					+						+				+										+	+							
Triphy					-		-		-							+	+													+							-
B-c-Pha											+			+						+										+								
In-123cd-py		+	+					-		-			+					+	+	+							-			-		-						
B-ghi-pe		+	+	-				-		-								+	+						+	+				-		-						
Dib-ah-anthr		-			-			+	-	+						+	+		-								+		+		+							
Napht			-					+							-			-					+															
Acy								+		+																												
Ace																							+						+								+	
Fluor								+			-								-		+												+					
Phen							+	+										-							-								+					
Anthr	-	-	-					+		+								-	-		+				-		-			+		+		+			
2MePhen							+	+										-														+						
MeAnthr								+		+											+												+						
Flant		-														+	+										+		+		+							
Pyr																														+								
910-DimeAnthr								+													+											+						
B-b-napht-12d-th										+				+		+				+										+	+							
B-a-Anthr					-						+					+	+							+						+								-
Chry										+	+	-		+		+				+				+	-					+				+				-
2MeChry			+					-			+		+	+						+											+							
712-Dime-a-Anthr																														-								
B-bj-fluant	+			-		-	-	-		-					+			+							+	+						-						
B-k-flant			+	-			-	-			+				+			+						+														
B-a-Pyr					-		-				+				+									+														-
Pe					+	+	+				-				-						-			-			+			-				-				+
Cor	+	+	+	-				-		-		+						+							+	+				-		-		-				
Cd								-																		+												
Cr																																						
Cu				+										+											-						+							
Pb													+	+						+											+							
Zn													+	+						+											+							
Fe	+	+	+	-				-		-		+				-	-								+	+				-		-						
Mn							+									+	+										+		+									
S						+									-								+	-				+	+									+
P			-					+					-				+			-					-					+								

Pearson	F12367	F12469.12678	F12679	F12369	F23468	F12349	F12489	F23478	F12389	F23467	F123468	F134678.134679	F124678	F124679	F123478.123479	F123678	F124689	F123467	F123679	F123469.123689	F123789	F123489	F234678	F1234678	F1234679	F1234689	F1234789	TeCDD	PeCDD	HxCDD	HpCDD	OCDD	TeCDF	PeCDF	HxCDF	HpCDF	OCDF	sumPCDD	sumPCDF
2MeAnthr	+		-	+								-			+					+	-			-		+												
B-ghi-flant				-							-						-					+		+		-				+								
B-e-pyr	-			-																-																		
Anth		+																	-	-																		
In-123cd-flant	-		+	-				+		+		+					-			-	+	+		+		-				+								
B-b-chry																			-											-								
Pi3MePhen																				-																		
3MePhen	+			+								-								+	-																+	
49MePhen	+			+																+																		
1MePhen	+			+								-								+																		
B-b-napht-21d-th									-	-		-				-			-		-	-		-		+		-	-	-								
Pha-910b-th																						-							-	-	-								
B-b-na-23d-th																						-							-							+	+		
Triphy													+			-		-	-					-	-	+			-									
B-c-Pha						+										-			-		-			-		+												
In-123cd-py	-		+	-								+			-	+	-			-	+			+		-	+									+		
B-ghi-pe	-		+	-								+					-			-	+	+		+		-												
Dib-ah-anthr			-									-	+	+		-	+	-	-		-	-		-	-	+	-		-	-						+		
Napht																																							
Acy				+																																		
Ace					+						+																											
Fluor	+			+								-								+																		
Phen	+			+																+																		
Anthr	+		-	+					-	-		-			+		+		-	+	-	-		-		+	-		-	-								
2MePhen	+			+								-								+																	+	
MeAnthr	+			+								-								+																		
Flant			-									-	+			-	+		-					-		+												
Pyr			-													-	+				-			-		+												
910-DimeAnthr	+			+																																		
B-b-napht-12d-th																			-		-			-						-					+	+		
B-a-Anthr													+			-	+		-		-			-	-	+			-	-								
Chry		+							-	-			+			-	+		-		-	-		-		+		-	-	-					+			
2MeChry																																				+	+		
712-Dime-a-Anthr									+							+	-		+																			
B-bj-fluant	-			-				+		+		+								-	+	+		+								-						
B-k-flant	-			-																-																		
B-a-Pyr													+			-		-	-	-					-	+		-	-	-								
Pe									+				-		-	+			+						+	-	+	+	+	+								
Cor	-		+	-				+	+	+		+					-		+		+	+		+		-				+								
Cd																				-																		
Cr											+									-									-									
Cu																					-			-						-					+			
Pb																		+													-		+	+	+		-	+
Zn																														-			+	+	+		-	+
Fe			+	-				+		+		+									+	+		+		-				+								
Mn						+						-					+																				+		
S											+																											
P			-	+								-									-			-		+												

Pearson	2MeAnthr	B-ghi-flant	B-e-pyr	Anth	In-123cd-flant	B-b-chry	Pi3MePhen	3MePhen	49MePhen	1MePhen	B-b-napht-21d-th	Pha-910b-th	B-b-na-23d-th	Triphy	B-c-Pha	In-123cd-py	B-ghi-pe	Dib-ah-anthr	Napht	Acy	Ace	Fluor	Phen	Anthr	2MePhen	MeAnthr	Flant	Pyr	910-DimeAnthr	B-b-napht-12d-th	B-a-Anthr	Chry	2MeChry	712-Dime-a-Anthr	B-bj-fluant	B-k-flant	B-a-Pyr	Pe	Cor	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe	Mn	S	P
2MeAnthr			-		-			+	+	+	+	+				-	-		+	+		+	+	+	+	+			+										-						-			+
B-ghi-flant			+		+											+	+	-						-															+						+			
B-e-pyr	-	+			+		+	-	-	-						+	+		-			-	-	-	-								+		+	+	+	-	+						+	-		-
Anth						+	+		-	-			+		+							-	-						+	+	+	+			+	+	-		+		+							
In-123cd-flant	-	+	+					-	-	-	-					+	+	-	-	-				-	-	-									+	+		+					-	+	-		-
B-b-chry				+			+		-		+		+	+	+			+											+	+	+	+				+	+	-									
Pi3MePhen			+	+		+		-	-	-						+	+						-		-							+	+			+	+			+							
3MePhen	+		-		-		-		+	+						-	-					+	+	+	+	+						-		-	-	-		-						-			+
49MePhen	+		-	-	-	-	-	+		+					-	-	-		+	+		+	+	+	+	+					-	-		-	-	-		-									
1MePhen	+		-	-	-		-	+	+						-	-	-		+	+		+	+	+	+	+			+		-		-	-	-		-						-			+
B-b-napht-21d-th	+				-	+						+	+	+	+		-	+			+			+					+	+	+			-			-			+	+	+					
Pha-910b-th	+										+		+	+										+		+			+								-						+					
B-b-na-23d-th				+		+					+	+		+	+			+											+	+	+	+					-						+	+				
Triphy						+					+	+	+		+			+											+	+	+					+	-										
B-c-Pha				+		+			-		+		+	+								-							+	+	+	+				+	-			+	+						
In-123cd-py	-	+	+		+		+	-	-	-							+	-	-	-		-	-	-	-	-	-	-				+		+	+			+		+	-		-			
B-ghi-pe	-	+	+		+		+	-	-	-	-					+		-	-	-		-	-	-	-	-	-	-				+		+	+			+		+	-		-			
Dib-ah-anthr		-			-	+					+		+	+		-	-							+					+	+	+		-			-	-					-	+		+
Napht	+		-		-				+	+						-	-			+	+	+	+	+	+									-	-		-									
Acy	+				-				+	+						-	-		+			+		+	+	+								-												
Ace											+								+																											+		
Fluor	+		-	-				+	+	+					-	-	-		+	+			+	+	+	+			+		-	-	-			-	-		-								
Phen	+		-	-	-		-	+	+	+						-	-		+			+		+	+								-	-	-		-						-	+		
Anthr	+	-	-		-			+	+	+	+	+				-	-	+	+	+		+	+		+	+			+	+				-	-		-						-			+
2MePhen	+		-		-		-	+	+	+						-	-		+	+		+	+	+		+						-		-	-	-		-		-						
MeAnthr	+							+	+	+		+				-	-			+		+		+	+				+																		
Flant					-		-									-	-										+						-						-	-					-	+		+
Pyr																-	-											+												-						-	+		
910-DimeAnthr	+									+												+		+		+							+														
B-b-napht-12d-th				+		+					+	+	+	+	+			+						+							+	+	+				+	-	-			+	+	+			
B-a-Anthr				+		+			-	-	+		+	+	+			+						+						+		+	+				+	-	-			+	+	+			
Chry				+		+	+		-		+		+	+	+			+				-								+	+		+				+	-	-			+	+	+			
2MeChry			+	+		+	+	-	-	-			+		+	+	+					-			-					+	+	+			+	+			+			+	+		-		
712-Dime-a-Anthr																		-											+		-																
B-bj-fluant	-	+	+		+			-	-	-	-					+	+		-	-			-	-	-										+				+						+	-		-
B-k-flant	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-						+	+		-			-	-	-	-								+		+		+	-	+	+				+	-		-
B-a-Pyr			+	+		+	+	-	-	-				+	+							-	-		-					+	+	+				+				+						
Pe			-	-		-					-	-	-	-				-											-	-	-						-								+		
Cor	-	+	+		+			-	-	-	-					+	+	-	-				-	-	-		-	-		-		-			+	+											
Cd				+			+	-	-	-						+	+					-			-		-						+								+		+		+	-		-
Cr																																										+		+		+				
Cu				+							+			+															+	+	+	+				+		-			+		+		+			
Pb											+		+		+	+													+		+	+								+	+	+		+			
Zn					-						+	+	+																+			+		-									+	+			
Fe	-	+	+		+			-		-						+	+	-					-	-	-		-								+	+			+							-		-
Mn			-		-											-	-	+					+				+	+				-				-			-									
S																					+																											
P	+		-		-			+		+						-	-	+						+		+								-	-			-						-			

Pearson	D1368	D1379	D1378	D2378	D1234#1246#1249#1238	D1236#1279	D1278#1469	D1279#12468	D12368	D12478	D12379	D12469#12347	D12378	D124679#124689#123468	D123679#123689	D123678	D123789	D1234678	F1378#1379	F1468	F2468#1236#1467#1236	F1278	F1267#1279	F2467	F1239#2347	F2367	F13468	F12468	F13678	F12368#13478	F14678#12347	F12378#12348	F12369	F23478	F134676#134679	F124678	F123479#123479	F124689	F1234678	F1234689
PCB8								+		-	-		-																										
PCB18										-																			-										
PCB20				-				+		-	-		-				-												-			-							
PCB28	+							+																														-	
PCB31								+																															
PCB35																							+																
PCB44																																							
PCB49																																							
PCB52																																							
PCB66	+					-		+							+	+		+									+							-	+		+	-	+
PCB70	+					-		+							+	+																		-	+		+	-	+
PCB79						+										-		-						+									+	+				+	-
PCB90_101	-					+	+	-						+	-	-		-	+								-							+	-		-	+	-
PCB105	+	+					-		+						-		+		+								-					+		-			-	+
PCB110				+									+																									+	
PCB114														+	-	-		-	+								+						-	+			-	+	-
PCB118										+	+		+	-			+				-					+			+			+							
PCB123				+									+								-								+										
PCB128																																							
PCB138																													+										
PCB149	-					+	+	-										-										-							-		-		-
PCB153	-					+		-	-										+															+				+	
PCB156				-									-																				-						
PCB157																											+						-					+	
PCB167																																							
PCB170																																							
PCB180																															-								
PCB187																																							
PCB189	+							+	+																														
PCB194	+							+																															
1,2,4,5-TeCBz																																+		-					
1,2,3,4-TeCBz																																							
PeCBz																																							
HCB																																							
alpha-HCH				+						+																						+							
beta-HCH				-						-																						-							
gamma-HCH										-																														
delta-HCH																																							
2,4´-DDE	-	-				+		-				+			-			-																	-				
4,4´-DDE	-	-				+	+	-	-			+		+	-	-		-		-	+													+		-		-	+	-
4,4´-DDMU	-	-				+	+	-	-			+		+	-	-		-		-	+													+				-	+	-
2,4´-DDMS													-																											
4,4´-DDMS											+	-	+					+		+																				
2,4´-DDD	+					-		+			-		-						-					-	-			+						-	+		+	-	+
4,4´-DDD	+	+				-	-		+			-		-	+	+	+	+			-																		
4,4´-DDT													-																											

Pearson	PCB8	PCB18	PCB20	PCB28	PCB31	PCB35	PCB44	PCB49	PCB52	PCB66	PCB70	PCB79	PCB90_101	PCB105	PCB110	PCB114	PCB118	PCB123	PCB128	PCB138	PCB149	PCB153	PCB156	PCB157	PCB167	PCB170	PCB180	PCB187	PCB189	PCB194
PCB8		+	+										-				-			-	-	-							
PCB18	+		+	+	+		+	+	+								-			-	-	-			-	-	-	-		
PCB20	+	+		+	+												-			-	-	-			-	-	-			
PCB28		+	+		+					+	+								-	-	-	-			-	-	-	-		
PCB31		+	+	+			+			+	+						-		-	-	-	-			-	-	-	-		
PCB35																										-	-	-		
PCB44		+			+			+	+								-		-	-		-		-	-	-	-	-		
PCB49		+					+		+	+							-		-	-		-		-	-	-	-	-	-	
PCB52		+					+	+												-			-		-	-	-	-	-	-
PCB66				+	+			+			+	-	-			-			-		-	-		-			-	-		
PCB70				+	+					+			-						-	-	-	-			-		-	-		
PCB79										-				-	+	+								+						
PCB90_101	-									-	-					+					+	+								
PCB105												-				-														
PCB110												+					+	+	+				-	+						
PCB114										-		+	+	-										+						
PCB118	-	-	-		-		-	-							+			+		+		+					+			
PCB123															+		+		+					+						
PCB128				-	-		-	-		-	-				+			+		+					+	+	+	+	+	+	+
PCB138	-	-	-	-	-		-	-	-		-						+		+		+	+			+	+	+	+		
PCB149	-	-	-	-	-					-	-		+							+		+								
PCB153	-	-	-	-	-		-	-		-	-		+				+			+	+				+	+	+	+		
PCB156									-						-										+	+	+	+	+	+
PCB157							-	-		-		+			+	+		+	+										+	
PCB167		-	-	-	-		-	-	-		-								+	+		+	+			+	+	+		
PCB170		-	-	-	-	-	-	-	-										+	+		+	+		+		+	+	+	+
PCB180		-	-	-	-	-	-	-	-	-	-						+		+	+		+	+		+	+		+		+
PCB187		-		-	-	-	-	-	-	-	-								+	+		+	+		+	+	+		+	+
PCB189								-	-										+				+	+		+		+		+
PCB194									-										+				+			+	+	+	+	
1,2,4,5-TeCBz														+																
1,2,3,4-TeCBz																			+											
PeCBz															-			-	-											
HCB																														
alpha-HCH																														
beta-HCH			+																											
gamma-HCH																														
delta-HCH																														
2,4´-DDE							+	+					+				-		-								-			
4,4´-DDE														-															-	-
4,4´-DDMU														-															-	-
2,4´-DDMS	+	+	+												-		-			-		-								
4,4´-DDMS														+			+													
2,4´-DDD	+	+																				-								
4,4´-DDD							-		-								+													
4,4´-DDT	+	+															-													+
Cd		-					-																							
Cr							-		-														+			+	+			+
Cu							-		-					+			+			+			+		+		+			
Pb																														
Zn														+																
Fe				-						-		+		-		+					+	+								
Mn	+	+	+	+	+					+	+		-				-			-	-	-								
S																														
P														+								-								

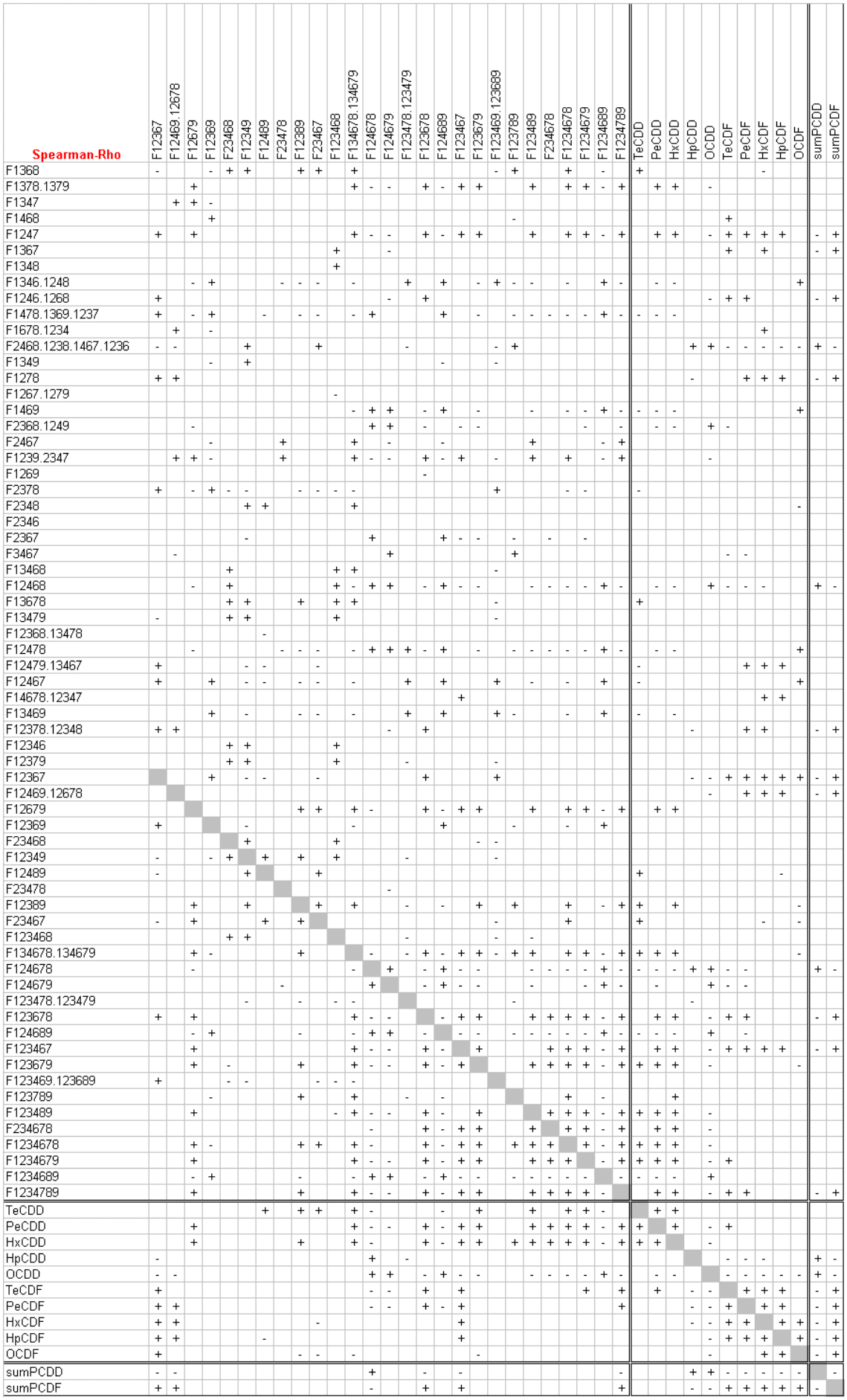
Pearson	1,2,4,5-TeCBz	1,2,3,4-TeCBz	PeCBz	HCB	alpha-HCH	beta-HCH	gamma-HCH	delta-HCH	2,4´-DDE	4,4´-DDE	4,4´-DDMU	2,4´-DDMS	4,4´-DDMS	2,4´-DDD	4,4´-DDD	4,4´-DDT	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe	Mn	S	P
PCB8												+		+		+							+		
PCB18												+		+		+	-						+		
PCB20						+						+											+		
PCB28																						-	+		
PCB31																							+		
PCB35																									
PCB44									+						-		-	-	-						
PCB49									+																
PCB52															-			-	-						
PCB66																						-	+		
PCB70																							+		
PCB79																						+			
PCB90_101									+														-		
PCB105	+									-	-		+						+		+	-			+
PCB110			-									-													
PCB114																						+			
PCB118									-			-	+		+	-			+				-		
PCB123			-																						
PCB128		+	-						-																
PCB138												-							+				-		
PCB149																						+	-		
PCB153												-		-								+	-		-
PCB156																		+	+						
PCB157																									
PCB167																			+						
PCB170																		+							
PCB180									-									+	+						
PCB187																									
PCB189										-	-														
PCB194										-	-					+		+							
1,2,4,5-TeCBz		+		-						-	-		+	+											
1,2,3,4-TeCBz	+			-						-	-														
PeCBz				-																					
HCB	-	-	-																						
alpha-HCH						-	-	-																	
beta-HCH					-		+																		
gamma-HCH					-	+		+																	
delta-HCH					-		+																	+	
2,4´-DDE										+	+	+	-		-			-	-		-				
4,4´-DDE	-	-							+		+		-	-	-				-			+			
4,4´-DDMU	-	-							+	+			-	-	-				-			+			
2,4´-DDMS									+					+		+	-						+		
4,4´-DDMS	+								-	-	-								+		+				
2,4´-DDD	+									-	-	+				+	-					-	+		+
4,4´-DDD									-	-	-						+	+	+		+				
4,4´-DDT												+		+										+	
Cd												-		-	+			+		+		+	-		-
Cr									-						+		+		+	+					
Cu									-	-	-		+		+			+		+	+				
Pb																	+	+	+		+				
Zn									-				+		+				+	+					
Fe										+	+			-			+						-		-
Mn												+		+			-					-			
S								+								+									
P														+			-					-			

Korrelation nach Spearman

Spearman-Rho	D1368	D1379	D1378	D1369.1247.1248	D1268	D1478	D2378	D1237	D1234.1246.1249.1238	D1236.1279	D1278.1469	D1239	D1269	D1267	D1289	D12479.12468	D12368	D12478	D12379	D12469.12347	D12378	D12369	D12467	D12489	D12346	D12367	D12389	D124679.124689.123468	D123679.123689	D123478	D123678	D123469	D123789	D123467	D1234679	D1234678
D1368		+		-	-	-				-	-	-	-	-		+	+						-			-		+		+				-	+
D1379	+			-						-	-	-	-	-			+						-			-		+		+				-	+
D1378						+	+		+						-			+													+				
D1369.1247.1248	-	-								+			+										+												
D1268	-									+	+		+	+		-							+		+	+		-		-	+		+	+	-
D1478	-		+				+								-																				
D2378			+			+			+						-			+			+					+			+		+	+	+		
D1237									+																										
D1234.1246.1249.1238			+				+	+		+					-						+												+		
D1236.1279	-	-		+	+				+		+	+	+	+	-	-	-							+			+	+	-					+	-
D1278.1469	-	-			+					+		+	+	+			-						+	+						-				+	-
D1239	-	-								+	+			+			-							+						+					
D1269	-	-		+	+					+	+			+			-							+						-				+	-
D1267	-	-			+					+	+	+	+			-								+						-				+	-
D1289			-			-	-		-	-						+				-						-									
D12479.12468	+				-					-				-	+					-			-	-		-			+					-	+
D12368	+	+								-	-	-	-						+				-	-						+					
D12478			+				+														+											+	+			
D12379																	+			-	+		-							+			+	+		
D12469.12347															-	-			-			-	+		-			+	-				-		+	-
D12378							+		+									+	+				-				+	-		+		+	+	+		
D12369																				-					+											
D12467											+					-	-		-	+	-			+			+	-		-		-		+	-
D12489	-	-		+	+					+	+	+	+	+		-	-			+			+				+			-				+	-
D12346																				-		+				-									
D12367					+											-										+		-					+	+	-
D12389	-				+		+			+					-	-					+			+	-	+			+				+	+	-
D124679.124689.123468		-								+		+						-		+	-		+						-		-		-		+	-
D123679.123689	+	+			-					-				-		+				-			-	-		-				+				-	+
D123478							+												+		+						+					+	+	+		
D123678	+	+			-						-		-	-			+						-	-				-	+				+		-	+
D123469			+		+		+											+			+									+			+	+		
D123789							+											+	+	-	+		-					-		+	+	+		+		
D123467					+		+		+										+		+				+	+				+		+	+			
D1234679	-	-			+					+	+		+	+		-				+			+	+		+	+	+	-		-				-	
D1234678	+	+			-					-	-		-	-		+				-			-	-		-	-	-	+		+			-	

Spearman-Rho	D1368	D1379	D1378	D1369.1247.1248	D1268	D1478	D2378	D1237	D1234.1246.1249.1238	D1236.1279	D1278.1469	D1239	D1269	D1267	D1289	D12479.12468	D12368	D12478	D12379	D12469.12347	D12378	D12369	D12467	D12489	D12346	D12367	D12389	D124679.124689.123468	D123679.123689	D123478	D123678	D123469	D123789	D123467	D1234679	D1234678
F1368			-				-		-									-			-							+			-	-	-	-		
F1378.1379	-				+			-					+			-								+		+	+				-			+	-
F1347					+							-														+	+			+		+		+	
F1468					-								-				+		+												+			-	+
F1247					+														+	-	+					+				+			+		
F1367	+			-								-		+		+			+	-			-		+					+				-	+
F1348													-		+					-					+		-								
F1346.1248					-			+	+														-								+				-	+
F1246.1268																			+	-	+									+					
F1478.1369.1237		+					+				-							+			+		-				-	+		+		+		-	+
F1678.1234		+		-								-										-											+		
F2468.1238.1467.1236			-				-		-								-		-		-						-	+		-	-		-	-	
F1349									-									-			-									-					
F1278		+										-					+		+											+			+		
F1267.1279															-							-		-		+									
F1469		+								-		-		-										-				-			+					
F2368.1249					-											+			-		-					-	-			-					
F2467					+									+											-									+	+	-
F1239.2347			-												+				+	-															
F1269				-								-																-								
F2378							+		+									+			+						-			+	+	+			
F2348						-												-																	
F2346																											-								
F2367																								-											
F3467	-	-									+					-		-	+											-					
F13468						-																													
F12468					-								-		+			-									-							-	-	+
F13678			-			-	-											-													-				
F13479	+				-		-		-	-			-	-		+		-						-			-					-		-	
F12368.13478																		+		-	+												+		
F12478	+				-			+			-		-		-		+							-							+				-	+
F12479.13467							+					-						+			+							-		+		+	+	+		
F12467			+			+	+		+									+			+							-			+	+	+			
F14678.12347																										+										
F13469			+				+		+		-				-			+			+							-			+	+	+			
F12378.12348																	+		+								+						+		
F12346	+					-	-						-					-														-				
F12379							-									+		-							+							-				
F12367							+		+									+	+		+		-			+	+	-		+		+	+	+		
F12469.12678												-					+													+			+		
F12679	-				+			-																+							-				+	-
F12369									+												+	+	-		+		-	+			+		+		-	+
F23468	+									-				-		+								-												
F12349	+					-	-		-	-					+	+		-			-			-			-					-		-		
F12489							-											-			-											-				
F23478					+																															
F12389							-											-														-				
F23467																												+			-		-	-		
F123468	+				-	-	-		-	-			-	-	+	+					-			-	+		-		+			-		-	-	+
F134678.134679			-																					+							-					
F124678	+				-					-				-		+					-			-		-	-		+					-	-	+
F124679																				-	+	-									-					
F123478.123479			+				+	+	+						-												+							+		
F123678	-				+					+	+		+	+					+		+			+											+	-
F124689	+				-								-	-															+		+				-	+
F123467					+														+	-					+	+				+				+		
F123679	-	-			+					+	+	+	+	+		-								+					-		-				+	-
F123469.123689									+					+		-					+															
F123789	-	-			+						+		+				-							+							-					
F123489	-	-			+					+	+	+	+	+		-								+			+	+	-		-				+	-
F234678	-				+								+	+															-		-				+	-
F1234678	-	-			+					+	+		+	+			-							+		+		+	-		-				+	-
F1234679	-									+									+					+					-						+	-
F1234689	+	+			-					-	-	-	-	-										-					-	+		+			-	+
F1234789	-				+					+				+					+								+		-		-				+	-
TeCDD		-	-				-											-			-							+	-		-	-	-			
PeCDD	-	-			+					+	+		+	+		-								+				+	-		-				+	-
HxCDD	-	-			+					+	+	+	+	+		-								+				+	-		-				+	-
HpCDD									-																									-		
OCDD					-														-	+					-	-					-		-	-		
TeCDF																			+	-					+						+			+		
PeCDF									+								+		+	-	+										+		+	+		
HxCDF																	+		+	-	+										+		+	+		
HpCDF																				-	+					+		-			+			+		
OCDF								+	+																									+		
sumPCDD									-										-	+	-					-					-			-	-	
sumPCDF									+										+	-	+					+					+			+	+	

Spearman-Rho	F1368	F1378.1379	F1347	F1468	F1247	F1367	F1348	F1346.1248	F1246.1268	F1478.1369.1237	F1678.1234	F2468.1238.1467.1236	F1349	F1278	F1267.1279	F1469	F2368.1249	F2467	F1239.2347	F1269	F2378	F2348	F2346	F2367	F3467	F13468	F12468	F13678	F13479	F12368.13478	F12478	F12479.13467	F12467	F14678.12347	F13469	F12378.12348	F12346	F12379
F1368								-		-		+	+								-					+		+	+		-	-		-			+
F1378.1379			+		+			-	+	-						-	-	+	+							+	-	+			-	+		+				
F1347		+						-			+		+	+	+		-						-								+		+					
F1468						+		+	+																-													
F1247		+				+			+							-	-		+						-		-			-								
F1367				+	+		+		+																-													
F1348					+																-		-						+									+
F1346.1248	-	-	-	+						+			-					-	-		+	-				-		-		+		+		+				
F1246.1268		+		+	+	+										-	-		+					-					+					+				
F1478.1369.1237	-	-						+					-			+			-		+									+		+		+				
F1678.1234			+										+	+																								
F2468.1238.1467.1236	+													-												+					-	-		-	-			
F1349	+		+					-		-	+								+		-							+	+			-		-				
F1278			+								+	-																			+							
F1267.1279			+															+					+														-
F1469		-			-				-	+									-	+										+				+				
F2368.1249		-	-		-				-														+				+			+	-							
F2467		+						-						+					+								-			-								
F1239.2347		+			+			-	+	-			+			-		+				+					-	+		-		-		-	+			
F1269																+																							
F2378	-						-	+		+			-									-		+		-		-	-			+	+		+		-	-
F2348								-											+		-						+						-			+	+	
F2346			-														+							-														
F2367							-							+							+		-												+			-	
F3467				-	-	-			-																														
F13468	+	+						-				+									-						+	+	+						-			+	
F12468		-			-												+	-	-									+		+									
F13678	+	+						-					+						+		-	+				+		+			-		-		-	+	+	
F13479	+						+						+								-					+	+	+			-				-		+	+	
F12368.13478									+																	+					+								
F12478		-			-			+		+						+	+	-	-								+					+		+		+			
F12479.13467	-	+	+									-		+			-				+								-	+			+					
F12467	-							+		+		-	-						-		+	-						-			+	+			+		-		
F14678.12347		+	+																																			
F13469	-							+		+		-	-			+			-		+			+		-		-	-		+		+				-	
F12378.12348									+			-							+																				
F12346																					-	+						+	+				-					+
F12379	+					+									-						-	+		-		+		+	+					-		+		
F12367	-				+				+	+		-		+							+							-			+	+			+			
F12469.12678			+								+	-		+					+							-									+			
F12679		+	+		+			-		-							-		+		-								-									
F12369	-		-	+				+		+	-		-					-	-		+											+		+				
F23468	+																				-						+	+	+								+	+
F12349	+											+	+								-	+		-				+	+			-	-		-		+	+
F12489										-												+								-		-	-						
F23478								-										+	+												-								
F12389	+							-		-											-								+			-		-		-				
F23467	+							-		-		+									-											-	-	-		-				
F123468						+	+								-						-						+	+	+	+							+	+	
F134678.134679	+	+			+			-		-						-		+	+		-	+					+	-	+			-		-					
F124678		-			-					+						+	+		-					+			+					+							
F124679		-			-	-			-							+	+	-	-							+						+				-		
F123478.123479								+					-																			+		+		+			-
F123678		+			+				+							-	-		+	-								-				-					+		
F124689		-			-			+		+			-			+		-	-					+				+				+		+		+			
F123467		+			+													-	+					-											+				
F123679		+			+			-		-						-	-							-								-							
F123469.123689	-							+				-	-						-		+						-		-	-				+		+			-
F123789	+			-				-		-		+												-	+							-				-			
F123489		+			+			-		-						-		+	+									-				-		-					
F234678										-														-				-				-							
F1234678	+	+			+			-		-						-			+		-							-				-		-		-			
F1234679		+			+					-						-	-				-			-				-				-							
F1234689	-	-			-			+		+						+		-	-									+				+		+		+			
F1234789		+			+			-		-						-	-	+	+									-				-							
TeCDD	+									-						-					-							+				-	-		-			
PeCDD		+			+			-		-						-	-											-				-							
HxCDD		+			+			-		-						-	-											-				-				-			
HpCDD													+		-																						-		
OCDD		-			-				-				+				+		-									+										
TeCDF				+	+	+			+				-				-								-			-											
PeCDF					+				+				-		+										-			-					+				+		
HxCDF	-				+	+					+		-		+																		+		+		+		
HpCDF					+								-		+																		+		+				
OCDF								+					-				+					-										+			+				
sumPCDD					-	-			-				+		-														+								-		
sumPCDF					+	+			+				-		+														-								+		


Spearman-Rho
F1368
F1378.1379
F1347
F1468
F1247
F1367
F1348
F1346.1248
F1246.1268
F1478.1369.1237
F1678.1234
F2468.1238.1467.1236
F1349
F1278
F1267.1279
F1469
F2368.1249
F2467
F1239.2347
F1269
F2378
F2348
F2346
F2367
F3467
F13468
F12468
F13678
F13479
F12368.13478
F12478
F12479.13467
F12467
F14678.12347
F13469
F12378.12348
F12346
F12379
F12367
F12469.12678
F12679
F12369
F23468
F12349
F12489
F23478
F12389
F23467
F123468
F134678.134679
F124678
F124679
F123478.123479
F123678
F124689
F123467
F123679
F123469.123689
F123789
F123489
F234678
F1234678
F1234679
F1234689
F1234789
TeCDD
PeCDD
HxCDD
HpCDD
OCDD
TeCDF
PeCDF
HxCDF
HpCDF
OCDF
sumPCDD
sumPCDF

Spearman-Rho	D1368	D1379	D1378	D1369.1247.1248	D1268	D1478	D2378	D1237	D1234.1246.1249.1238	D1236.1279	D1278.1469	D1239	D1269	D1267	D1289	D12479.12468	D12368	D12478	D12379	D12469.12347	D12378	D12369	D12467	D12489	D12346	D12367	D12389	D124679.124689.123468	D123679.123689	D123478	D123678	D123469	D123789	D123467	D1234679	D1234678
2MeAnthr			+		-				+		-												-	-						+		+		-	+
B-ghi-flant					+									+		-						-	+	+	-		+							+	-
B-e-pyr																						-	+		-										
Anth	+	+		-						-	-	-					+							-												
In-123cd-flant					+																	-	+		-					-				+	-
B-b-chry	+	+		-						-	-	-	-				+							-												
Pi3MePhen																																			
3MePhen																							-		+					+		+			
49MePhen																						+	-		+										
1MePhen																						+	-		+										
B-b-napht-21d-th	+	+	+								-	-	-				+							-												
Pha-910b-th																								-												
B-b-na-23d-th		+									-	-												-												
Triphy																								-											
B-c-Pha	+	+		-						-	-	-	-				+							-											-	+
In-123cd-py			-		+										+															-						
B-ghi-pe					+								+										+	+											+	-
Dib-ah-anthr	+		+		-						-		-			+								-						+						
Napht																									+										-	+
Acy	+	+											-				+																		-	+
Ace	+	+			-	-				-			-	-	+	+		-		-				-	+		-					-			-	+
Fluor	-	-		+				+							-					+															
Phen																						+			+					+					
Anthr			+		-				+		-		-				+						-	-						+				-	+
2MePhen			+																			+	-		+										
MeAnthr			+								-				-																				
Flant	+				-			+					-																	+					
Pyr					-								-																	+					
910-DimeAnthr	-			+		+		+		+					-				-	+					-										
B-b-napht-12d-th		+									-	-												-											
B-a-Anthr	+	+		-							-	-	-				+							-				-	+						
Chry	+	+		-						-	-	-	-				+							-				-	+		+				-	+
2MeChry		+		-								-																							
712-Dime-a-Anthr			-		+							+	+	+										+						-					
B-bj-fluant																			-			-	+		-										
B-k-flant																						-	+		-										
B-a-Pyr	+	+		-							-	-	-				+					-		-	-										
Pe		-									+		+																	-					
Cor	-		-		+						+		+				-							+						-				+	-
Cd						-		-																											
Cr						-								-	+					-									+					-	+
Cu	+	+								-		-	-				+			-				-				-						-	+
Pb	+	+		-								-					+		+	-				-				-	+				+	-	+
Zn		+										-								-								-	+			+		-	+
Fe	-				+												-						+	+	-				-		-			+	-
Mn	+				-					-			-			+	+						-	-	+		-				+	-			-	+
S			-				-								+					-															
P					-																										+					

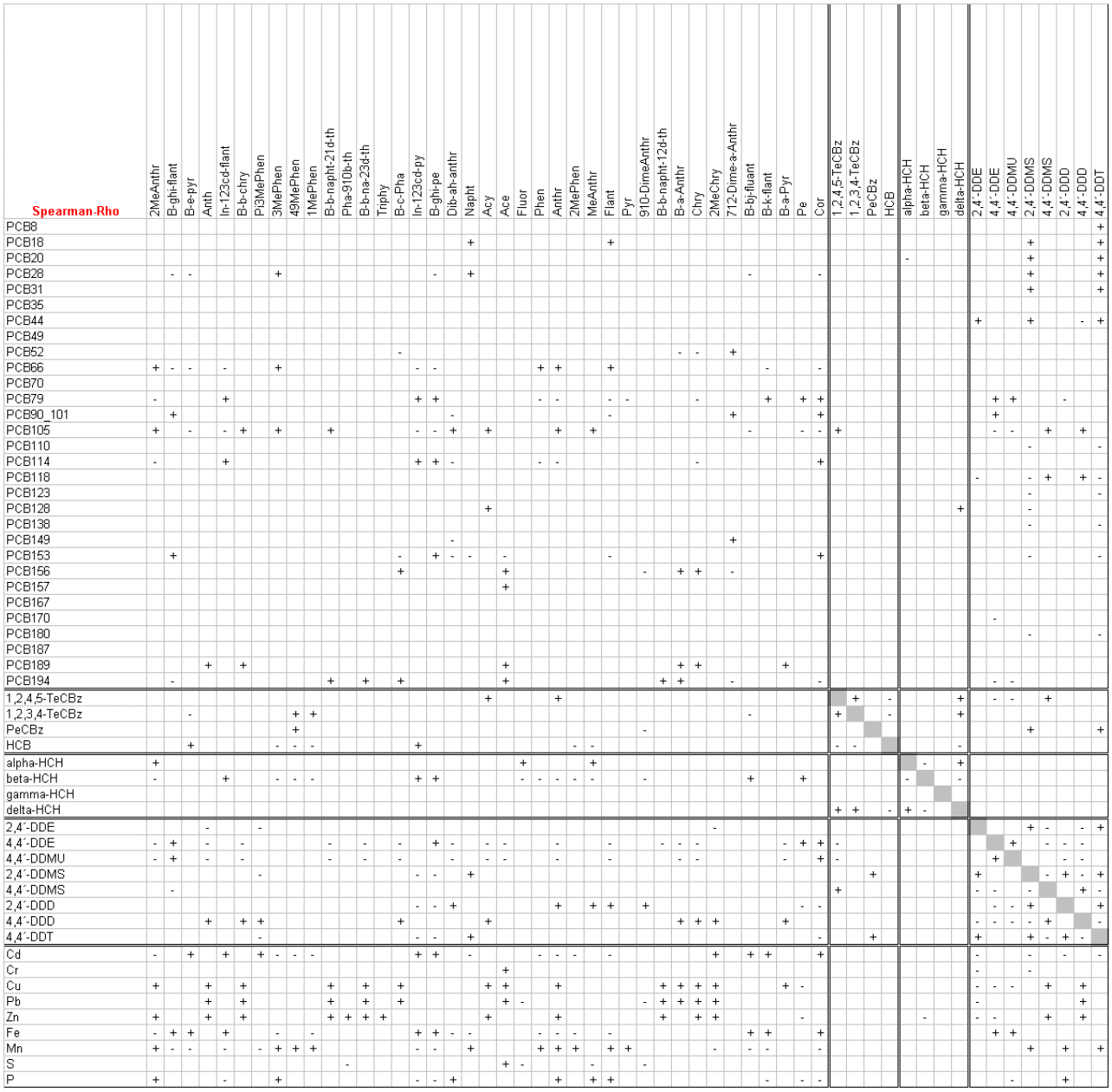
Spearman-Rho	F1368	F1378.1379	F1347	F1468	F1247	F1367	F1348	F1346.1248	F1246.1268	F1478.1369.1237	F1678.1234	F2468.1238.1467.1236	F1349	F1278	F1267.1279	F1469	F2368.1249	F2467	F1239.2347	F1269	F2378	F2348	F2346	F2367	F3467	F13468	F12468	F13678	F13479	F12368.13478	F12478	F12479.13467	F12467	F14678.12347	F13469	F12378.12348	F12346	F12379
2MeAnthr	-	-		+				+		+		-	-					-	-		+					-		-			+		+		+			
B-ghi-flant		+	+	-			-	-							+			+									-										-
B-e-pyr			+	-			-	-			+		+		+			+					-	+													
Anth			+								+													+													
In-123cd-flant	+	+	+	-				-		-			+		+			+	+												-		-				
B-b-chry											+					+				+				+													
Pi3MePhen			+					-										+																			
3MePhen	-							+		+			-		-			-	-							-					+		+				
49MePhen								+			-		-		-			-						-													
1MePhen								+			-		-		-			-					+	-													
B-b-napht-21d-th										+				+		+				+										+							
Pha-910b-th										+												-								+							
B-b-na-23d-th										+						+				+										+							
Triphy					-											+	+			+																	
B-c-Pha											+			+						+																	
In-123cd-py	+	+	+	-				-		-			+					+	+											-		-		-			
B-ghi-pe	+	+	+	-				-		-			+					+	+							+				-		-		-			
Dib-ah-anthr		-			-			+		+						+	+		-								+			+						
Napht		-	-	+				+							-			-												+							
Acy	-			+						+				+											-												
Ace						+	+								-							+			+			+							+	+
Fluor						-		+			-		-					-	-			-	+									+			-	
Phen	-	-						+		+			-					-	-							-				+		+				
Anthr	-	-		+				+		+		-	-			+		-	-		+					-		-			+		+		+		
2MePhen								+					-		-			-	-					-													
MeAnthr	-	-			-			+		+			-					-	-		+	-									+		+		+		
Flant		-					+	+								+														+				+			
Pyr		-	-					+																						+							
910-DimeAnthr					-	-	-												-			-			+			-	-						-	-
B-b-napht-12d-th														+		+				+										+							
B-a-Anthr											+					+				+				+						+							
Chry						+				+	+			+		+				+				+													
2MeChry			+					-			+			+				+		+												+					
712-Dime-a-Anthr																-								-			-			-							
B-bj-fluant	+			-				-					+		+			+						+													
B-k-flant		+	+	-			-	-			+		+		+			+	+					+													
B-a-Pyr											+				+	+				+			-	+													
Pe	+	+			+			-		-						-					-			-		+		+			-		-		-			+
Cor	+	+	+	-				-		-			+			-		+	+									+			-		-		-			
Cd		+						-											+							+			+	-							
Cr																										+			+								
Cu	-			+		+								+											-												
Pb						+								+						+					-												
Zn	-			+		+				+				+						+	+											+	+				
Fe	+	+	+	-				-																						-							
Mn		-	-				+	+										-											+		+	-					
S						+		-											+			+			-	+			+				-		-		+	
P		-	-	+				+					-				+									-				+				+			

Spearman-Rho	F12367	F12469.12678	F12679	F12369	F23468	F12349	F12489	F23478	F12389	F23467	F123468	F134678.134679	F124678	F124679	F123478.123479	F123678	F124689	F123467	F123679	F123469.123689	F123789	F123489	F234678	F1234678	F1234679	F1234689	F1234789	TeCDD	PeCDD	HxCDD	HpCDD	OCDD	TeCDF	PeCDF	HxCDF	HpCDF	OCDF	sumPCDD	sumPCDF
2MeAnthr	+		-	+					-	-		-			+		+		-	+	-	-		-		+	-			-							+		
B-ghi-flant				-							-											+																	
B-e-pyr				-																																			
Anth		+																	-											-									
In-123cd-flant			+	-						+		+					-			-		+		+		-				-									
B-b-chry																-			-					-		+				-									
Pi3MePhen								+																															
3MePhen	+		-	+						-		-								+																			
49MePhen	+			+																+					+							+							
1MePhen	+			+						-										+												+							
B-b-napht-21d-th									-	-				+		-			-			-		-		+				-									
Pha-910b-th							-		-	-			+									-						-			-									
B-b-na-23d-th										-				+		-			-			-		-		+				-									
Triphy													+			-			-					-	-	+				-									
B-c-Pha						+										-			-		-			-		+				-									
In-123cd-py			+	-				+	+			+		-	-		-			-				+		-	+												
B-ghi-pe			+	-				+	+	+		+					-			-	+	+		+		-				+									
Dib-ah-anthr			-						-	-		-	+	+	+	-	+	-	-		-	-	-	-	-	-	+	-		-	-								+	
Napht				+																																			
Acy																					-									-									
Ace					+	+					+									-																			
Fluor																																							
Phen			-	+						-										+																			
Anthr			-	+					-	-		-			+		+		-	+	-	-		-		+	-			-									+	
2MePhen				+						-																														
MeAnthr			-	+					-	-		-		+	+	-				+	-	-		-		+	-													
Flant			-					-				-					+		-				-	-	-	+	-		-	-										
Pyr			-									-					+							-		+					+				-					
910-DimeAnthr						-					-			+																										
B-b-napht-12d-th										-						-			-			-		-		+				-									
B-a-Anthr													+			-			-		-	-	-	-	-	+			-	-									
Chry																-			-		-	-		-	-	+		-	-	-					+				
2MeChry																																				+	+			
712-Dime-a-Anthr			+						+			+	-		-	+	-		+		+	+	+	+	+	-	+			+	+									
B-bj-fluant	-			-						+										-																			
B-k-flant				-																-																			
B-a-Pyr		+											+			-		-	-		-		-	-	-	+			-	-									
Pe			+						+			+	-		-	+	-		+		+	+	+	+	+	-	+	+		+	+									
Cor			+	-					+	+		+		-		+	-		+	-	+	+		+		-	+			+	+									
Cd			+					+				+								-																			
Cr											+									-																			
Cu																					-	-		-		+				-					+				
Pb		+																			-												+	+	+			-	+
Zn	+									-											-	-		-						-			+	+	+			-	+
Fe			+	-								+									+			+		-				+									
Mn			-					-			+	-												-															
S						+					+	+		-																									
P			-	+				-				-					+				-			-		+													

Spearman-Rho	2MeAnthr	B-ghi-flant	B-e-pyr	Anth	In-123cd-flant	B-b-chry	Pi3MePhen	3MePhen	49MePhen	1MePhen	B-b-napht-21d-th	Pha-910b-th	B-b-na-23d-th	Triphy	B-c-Pha	In-123cd-py	B-ghi-pe	Dib-ah-anthr	Napht	Acy	Ace	Fluor	Phen	Anthr	2MePhen	MeAnthr	Flant	Pyr	910-DimeAnthr	B-b-napht-12d-th	B-a-Anthr	Chry	2MeChry	712-Dime-a-Anthr	B-bj-fluant	B-k-flant	B-a-Pyr	Pe	Cor	Cd	Cr	Cu	Pb	Zn	Fe	Mn	S	P
2MeAnthr		-	-		-			+	+	+	+	+				-	-	+	+	+		+	+	+	+	+	+			+								-	-	-		+		-	+		+
B-ghi-flant	-		+		+			-	-	-						+	+		-				-	-	-										+	+			+					+	-		
B-e-pyr	-	+			+		+	-	-	-						+	+		-			-	-	-	-							+			+	+	+		+					+	-		
Anth						+	+		-	-			+		+							-							+	+	+	+			+	+			+	+	+						
In-123cd-flant	-	+	+				+	-	-	-	-					+	+		-	-		-	-	-	-	-	-					+			+	+			+				-				
B-b-chry				+			+		-		+	+	+	+	+			+											+	+	+	+			+	+			+	+	+						
Pi3MePhen			+	+	+			-	-	-					+	+	+		-					-		-	-	-				+	+			+	+			+					-			
3MePhen	+	-	-		-		-		+	+	+	+				-	-		+			+	+	+	+	+							-	-	-			-					-		+	
49MePhen	+	-	-	-	-	-	-	+		+						-	-		+			+	+	+	+					-	-	-		-	-	-		-					+			
1MePhen	+	-	-	-	-		-	+	+							-	-		+			+	+	+	+					-	-	-		-	-	-		-					+			
B-b-napht-21d-th	+				-	+		+				+	+	+	+		-	+		+				+		+				+	+	+						-			+	+	+				
Pha-910b-th	+					+		+			+		+	+				+						+		+				+												+			-		
B-b-na-23d-th				+		+					+	+		+	+			+						+		+				+	+	+	+					-			+	+	+				
Triphy						+					+	+	+		+			+												+	+	+					+	-				+					
B-c-Pha				+		+	+				+		+	+							+	-						-	+	+	+	+				+				+	+					
In-123cd-py	-	+	+		+		+	-	-	-							+	-	-			-	-	-	-	-	-	-				+		+	+		+	+	+				+	-		-
B-ghi-pe	-	+	+		+		+	-	-	-	-					+		-	-			-	-	-	-	-	-	-				+		+	+		+	+	+				+	-		-
Dib-ah-anthr	+					+					+	+	+	+		-	-							+		+				+	+	+	-			+	-	-					-			+
Napht	+	-	-		-		-	+	+	+						-	-			+	+		+	+	+		+					-		-	-	-		-	-					+		
Acy	+				-						+						-		+		+			+									-				-	-			+						
Ace																+			+	+									-												+	+	+				+	
Fluor	+		-	-	-			+	+	+						-	-	-					+	+	+	+			+		-	-	-				-						-			-	
Phen	+	-	-		-		-	+	+	+						-	-		+			+		+	+		+						-	-	-		-	-					+		
Anthr	+	-	-		-			+	+	+	+	+	+			-	-	+	+	+		+	+		+	+	+			+				-	-	-		-	-		+		-	+		+
2MePhen	+	-	-		-		-	+	+	+						-	-		+			+	+	+		+							-	-	-			-					+		
MeAnthr	+				-			+			+	+	+			-	-	+				+		+	+			+	+								-	-						-	+
Flant	+				-		-									-	-	+						+			+					-			-		-	-		-					+		+
Pyr							-									-	-		+				+				+						-		-		-	-						+		
910-DimeAnthr															-	-				-	+				+						-	-									-					-	
B-b-napht-12d-th	+			+		+					+	+	+	+	+			+					+		+					+	+	+						-	-			+	+	+				
B-a-Anthr				+		+			-	-	+		+	+	+			+				-								+		+	+	-			+	-				+	+				
Chry				+			+		-		+		+	+	+			+				-							-	+	+		+	-			+	-				+	+	+			
2MeChry			+	+	+	+	+		-				+		+	+	+		-			-					-		-	+	+	+			+	+			+	+	+		-		
712-Dime-a-Anthr																		-						-													-	+	+								
B-bj-fluant	-	+	+		+			-	-	-						+	+		-	-			-	-	-											+	+		+	+					+	-		
B-k-flant	-	+	+	+	+	+	+	-	-	-						+	+		-				-	-	-		-	-					+				+	+	+					+	-		-
B-a-Pyr			+	+		+	+	-	-	-				+	+			+	-			-	-							+	+	+	-	+	+					+						
Pe	-										-		-	-		+	+	-		-				-		-	-	-			-	-		+		-			+		-						-
Cor	-	+	+		+		+	-	-	-	-					+	+	-	-	-			-	-	-	-	-	-		-				+	+	+		+		+						-
Cd	-		+		+		+	-	-	-						+	+		-				-	-	-		-						+		+	+			+						+	-	+	-
Cr																					+																										+		
Cu	+			+		+					+		+		+					+	+			+					+	+	+	+				+	-				+	+					
Pb				+		+					+		+		+						+	-						-	+	+	+	+									+	+			+		
Zn	+			+		+					+	+	+	+						+				+					+		+	+						-			+	+					
Fe	-	+	+		+			-		-						+	+	-	-				-	-	-		-							+	+				+							-		-
Mn	+	-	-		-		-	+	+	+						-	-		+				+	+	+		+	+					-		-	-			-						-		+
S												-									+	-						-													+	+		+					
P	+				-			+								-	-	+						+		+	+											-	-					-	+		

Spearman-Rho	D1368	D1379	D1378	D2378	D1234#1246#1249#1238	D1236#1279	D1278#1469	D12479#12468	D12368	D12478	D12379	D12469#12347	D12378	D124679#124689#123468	D123679#123689	D123678	D123789	D1234678	F1378#1379	F1468	F2468#1238#1467#1236	F1278	F1267#1279	F2467	F1239#2347	F2367	F13468	F12468	F13678	F12368#13478	F14678#12347	F12378#12348	F12369	F23478	F134678#134679	F124678	F123478#123479	F124689	F1234678	F1234689
PCB8				-				+		-			-								+					-											-			
PCB18										-																														
PCB20				-				+		-			-	+			-																							
PCB28	+							+																																
PCB31	+							+		-																														
PCB35											+																-				+									
PCB44										-																														
PCB49																																								
PCB52																																								
PCB66	+					-		+						-	+	+		+	-													+		-	+		+	-	+
PCB70	+					-								-	+	+		+															-	+		+	-	+
PCB79	-	-					+		-							-		-	+	-												-		+		-	-	+	-
PCB90_101	-					+		-							-	-		-	+								-						+	-		-	+	-
PCB105									+							+		+		+	-											+		-				-	+
PCB110	-			+	+					+	+		+						+		-																		
PCB114														+	-	-	-	-	+	-					+				+				-		+	-		-	+	-
PCB118				+	+					+	+		+	-			+				-									+									
PCB123				+						+			+								-																		
PCB128																																								
PCB138										+																			-	+									
PCB149	-					+	+	-										-									-								-				
PCB153	-					+		-	-	+									+											+									
PCB156	+			-																																				
PCB157																									+		+													
PCB167																														+										
PCB170																														+										
PCB180										+																				+										
PCB187																																								
PCB189	+							+		-																														
PCB194	+					-		+							+			+																						
1,2,4,5-TeCBz																																								
1,2,3,4-TeCBz																																								
PeCBz										-																-									-					
HCB																																	+							
alpha-HCH				+						+																			-											
beta-HCH										-																			+											
gamma-HCH																																								
delta-HCH																																								
2,4´-DDE		-				+						+		+	-			-																						
4,4´-DDE	-	-				+	+	-	-							-		-	+	-															+	-		-	+	-
4,4´-DDMU	-	-				+	+	-	-					+	-	-		-		-																		-	+	-
2,4´-DDMS										-			-						-											-				-						
4,4´-DDMS																				+																					
2,4´-DDD											-	+				+			-					-	-			+						-	-	+		+	-	+
4,4´-DDD	+	+				-						-		-	+	+	+	+				+																		
4,4´-DDT				-						-			-						-											-				-						
Cd																			+						+		+			+				+	+					
Cr												-			+			+								+				+										
Cu	+	+				-			+			-		-				+		+		+																-	+	
Pb	+	+							+		+	-		-	+			+				+																		
Zn		+										-		-	+		+	+		+		+																-		
Fe	-								-						-	-		-	+	-													-		+			+	-
Mn	+					-		+	+							+		+	-					-										-	-			-		
S			-	-								-													+		+								+					
P																+			-	+							-							+	-	-			+	-	+

Spearman-Rho	PCB8	PCB18	PCB20	PCB28	PCB31	PCB35	PCB44	PCB49	PCB52	PCB66	PCB70	PCB79	PCB90_101	PCB105	PCB110	PCB114	PCB118	PCB123	PCB128	PCB138	PCB149	PCB153	PCB156	PCB157	PCB167	PCB170	PCB180	PCB187	PCB189	PCB194
PCB8		+	+									+					-			-	-	-							
PCB18	+		+	+	+		+	+									-			-		-			-	-	-	-		
PCB20	+	+		+	+		+								-		-			-	-	-			-	-	-			
PCB28		+	+		+		+	+		+	+		-							-	-	-			-	-	-	-		
PCB31		+	+	+			+	+		+	+		-		-		-		-	-	-	-			-		-	-		
PCB35																												-		
PCB44		+	+	+	+			+	+								-		-	-		-				-	-	-		
PCB49		+		+	+		+			+							-		-			-		-					-	
PCB52							+								+								-			-			-	-
PCB66				+	+			+			+	-	-	+		-					-	-						-		
PCB70				+	+					+											-	-						-		
PCB79	+									-				-		+														
PCB90_101				-	-					-											+	+								
PCB105										+		-				-														
PCB110			-		-				+								+	+					-							-
PCB114										-		+		-						-										
PCB118	-	-	-		-		-	-							+			+	+	+		+					+			
PCB123															+		+		+											
PCB128					-		-	-									+	+						+	+	+	+	+	+	
PCB138	-	-	-	-	-		-									-	+					+			+	+	+			
PCB149	-		-	-	-					-	-		+									+								
PCB153	-	-	-	-	-		-	-		-	-		+				+			+	+							+	+		
PCB156									-						-									+	+	+			+	+
PCB157								-											+				+					+	+	+
PCB167		-	-	-	-														+	+			+			+	+	+		
PCB170		-	-	-			-		-										+	+			+		+		+	+		
PCB180		-	-	-	-		-										+		+	+		+			+	+		+		
PCB187		-		-	-	-	-			-	-								+			+		+	+	+	+			
PCB189								-	-										+				+	+						+
PCB194									-						-								+	+					+	
1,2,4,5-TeCBz														+																
1,2,3,4-TeCBz																														
PeCBz																														
HCB																														
alpha-HCH			-																											
beta-HCH																														
gamma-HCH																														
delta-HCH																			+											
2,4´-DDE							+										-													
4,4´-DDE												+	+	-												-				-
4,4´-DDMU												+		-																-
2,4´-DDMS		+	+	+	+		+								-		-	-	-	-		-					-			
4,4´-DDMS														+			+													
2,4´-DDD												-																		
4,4´-DDD							-							+			+													
4,4´-DDT	+	+	+	+	+		+								-		-	-		-		-					-			
Cd		-		-	-		-															+								
Cr							-		-										+				+	+		+		+		+
Cu							-		-			-		+		-	+		+				+			+			+	+
Pb																													+	
Zn							-							+		-	+		+											
Fe				-						-				-								+								
Mn	+	+		+	+		+	+		+	+		-		-		-					-								
S																							+	+						
P												-																		


Spearman-Rho
2MeAnthr
B-ghi-flant
B-e-pyr
Anth
In-123cd-flant
B-b-chry
Pi3MePhen
3MePhen
49MePhen
1MePhen
B-b-napht-21d-th
Pha-910b-th
B-b-na-23d-th
Triphy
B-c-Pha
In-123cd-py
B-ghi-pe
Dib-ah-anthr
Napht
Acy
Ace
Fluor
Phen
Anthr
2MePhen
MeAnthr
Flant
Pyr
910-DimeAnthr
B-b-napht-12d-th
B-a-Anthr
Chry
2MeChry
712-Dime-a-Anthr
B-bj-fluant
B-k-flant
B-a-Pyr
Pe
Cor
1,2,4,5-TeCBz
1,2,3,4-TeCBz
PeCBz
HCB
alpha-HCH
beta-HCH
gamma-HCH
delta-HCH
2,4´-DDE
4,4´-DDE
4,4´-DDMU
2,4´-DDMS
4,4´-DDMS
2,4´-DDD
4,4´-DDD
4,4´-DDT
PCB8
PCB18
PCB20
PCB28
PCB31
PCB35
PCB44
PCB49
PCB52
PCB66
PCB70
PCB79
PCB90_101
PCB105
PCB110
PCB114
PCB118
PCB123
PCB128
PCB138
PCB149
PCB153
PCB156
PCB157
PCB167
PCB170
PCB180
PCB187
PCB189
PCB194
1,2,4,5-TeCBz
1,2,3,4-TeCBz
PeCBz
HCB
alpha-HCH
beta-HCH
gamma-HCH
delta-HCH
2,4´-DDE
4,4´-DDE
4,4´-DDMU
2,4´-DDMS
4,4´-DDMS
2,4´-DDD
4,4´-DDD
4,4´-DDT
Cd
Cr
Cu
Pb
Zn
Fe
Mn
S
P

10 ANHANG 2: MASSENFRAGMENTOGRAMME

In Anhang 2 sind Chromatogramme von Sielhaut- und Sedimentproben von einer Reihe von Schadstoffen beispielhaft dokumentiert.

10.1 PCDD/F-CHROMATOGRAMME VON SIELHAUTPROBEN

Es sind die Massenfragmentogramme der jeweiligen Chlorhomologengruppe der PCDD und PCDF von den folgenden ausgewählten charakteristischen Proben abgebildet.

- WÄ9: Bild 148 und Bild 149
- PW14: Bild 150 und Bild 151
- KL23: Bild 152 und Bild 153
- MI48: Bild 154 und Bild 155
- FH01: Bild 156 und Bild 157
- PH05: Bild 158 und Bild 159
- FL01: Bild 160 und Bild 161
- ME22: Bild 162 und Bild 163
- HA01: Bild 164 und Bild 165
- WÄ07: Bild 166 und Bild 167
- WÄ06: Bild 168 und Bild 169
- KW26: Bild 170 und Bild 171
- ME14: Bild 172 und Bild 173
- TX07: Bild 174 und Bild 175
- TX06: Bild 176 und Bild 177

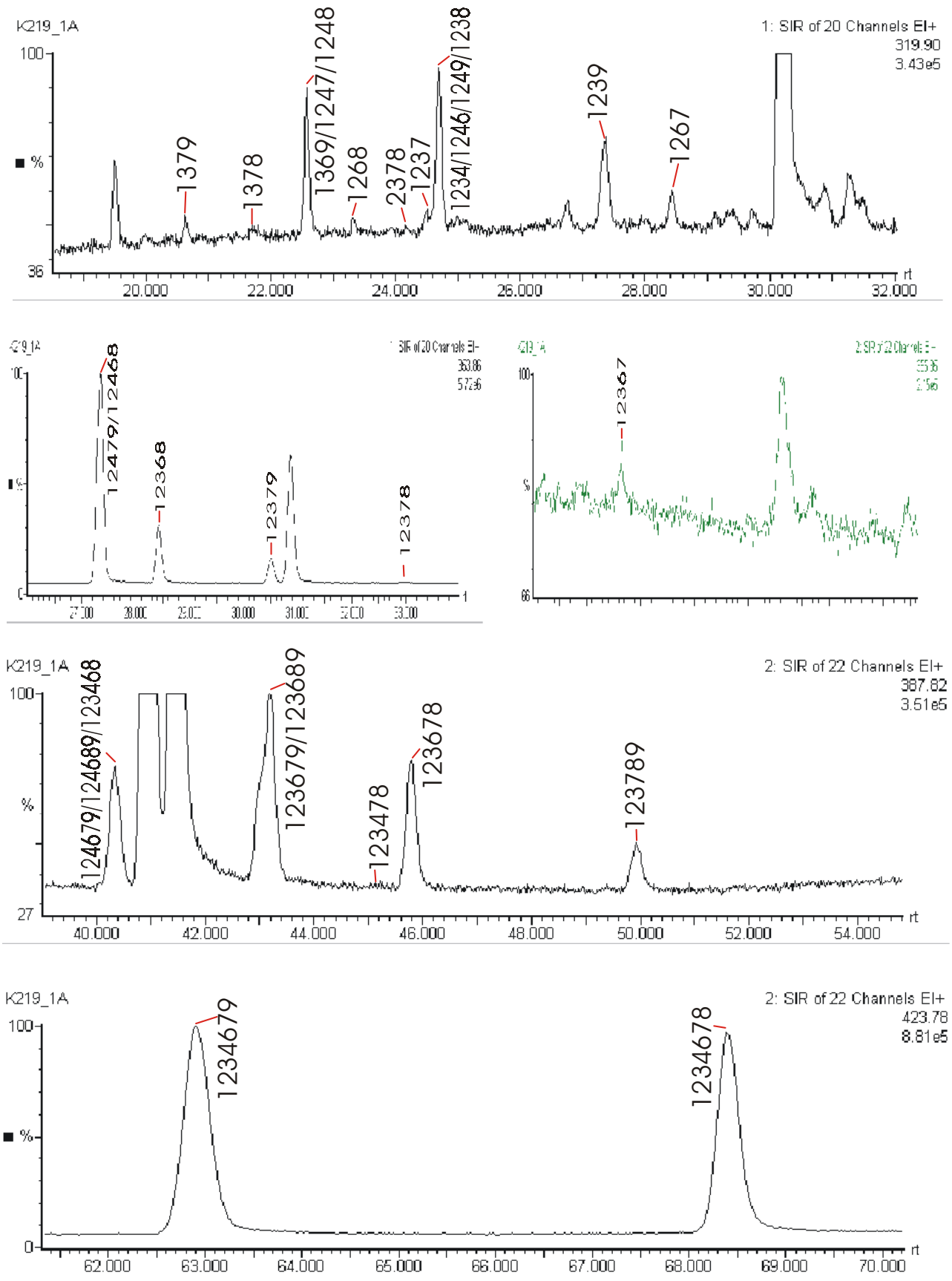


Bild 148 PCDD-Chromatogramm der Probe WÄ09

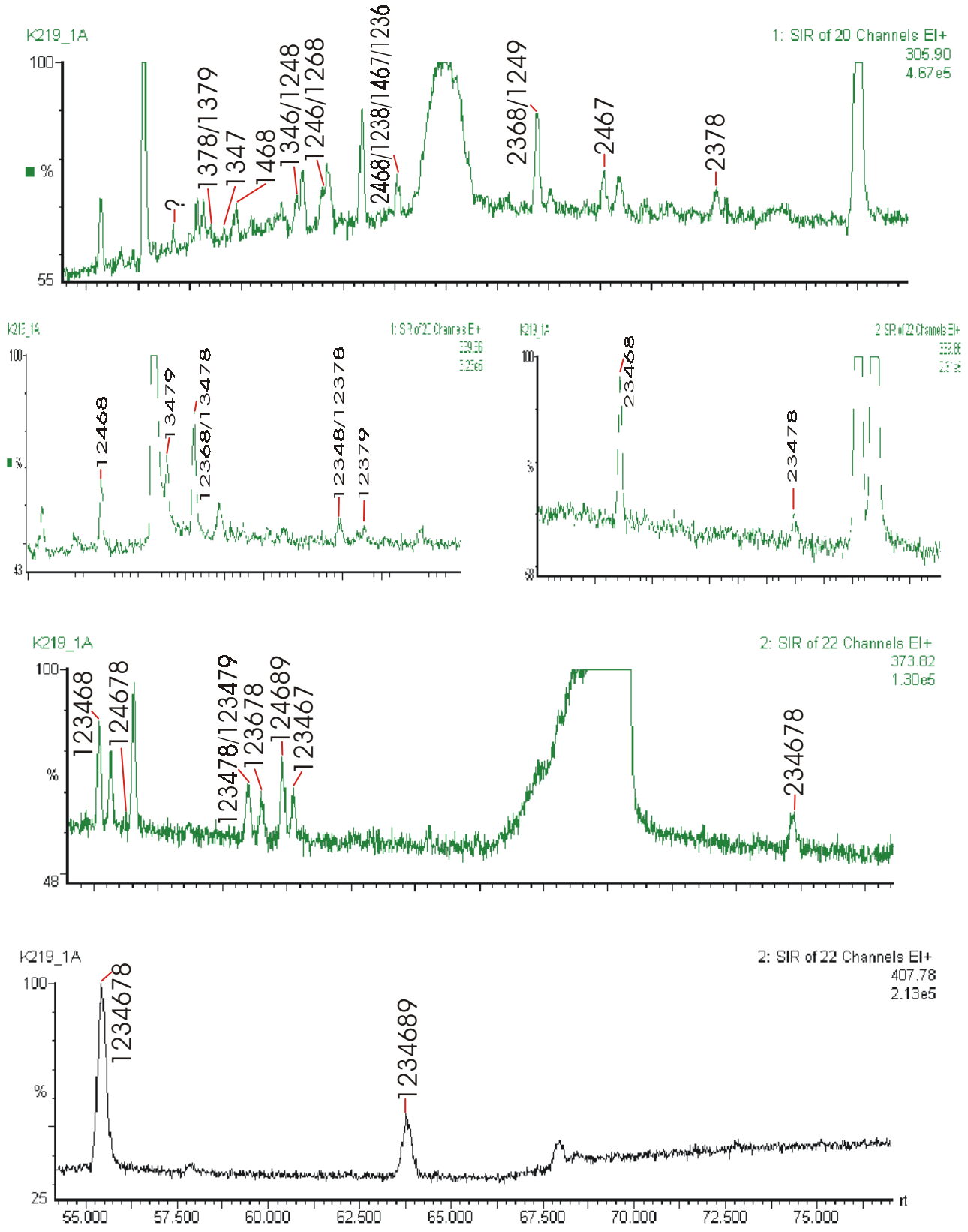


Bild 149 PCDF-Chromatogramm der Probe WÄ09

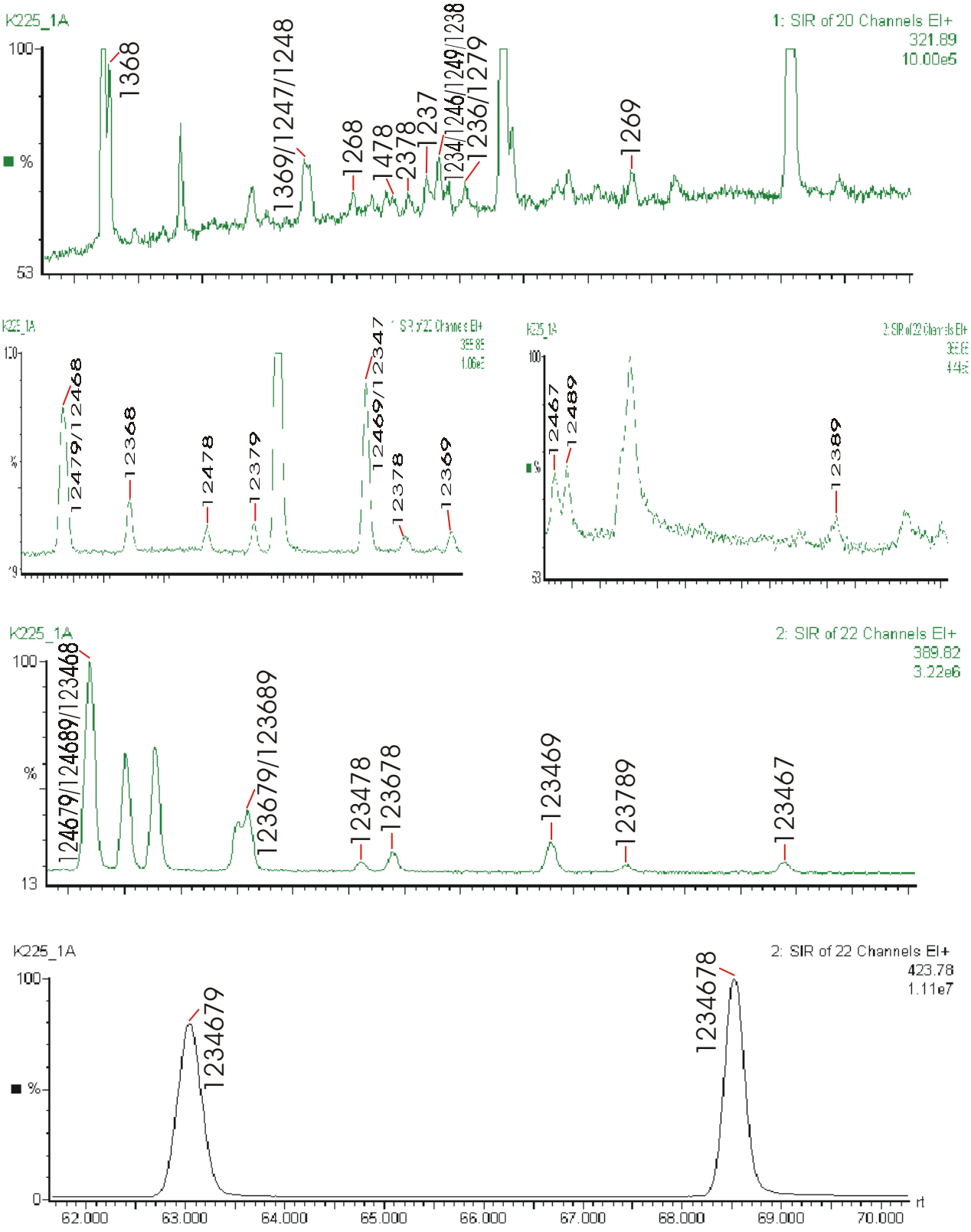


Bild 150 PCDD-Chromatogramm der Probe PW14

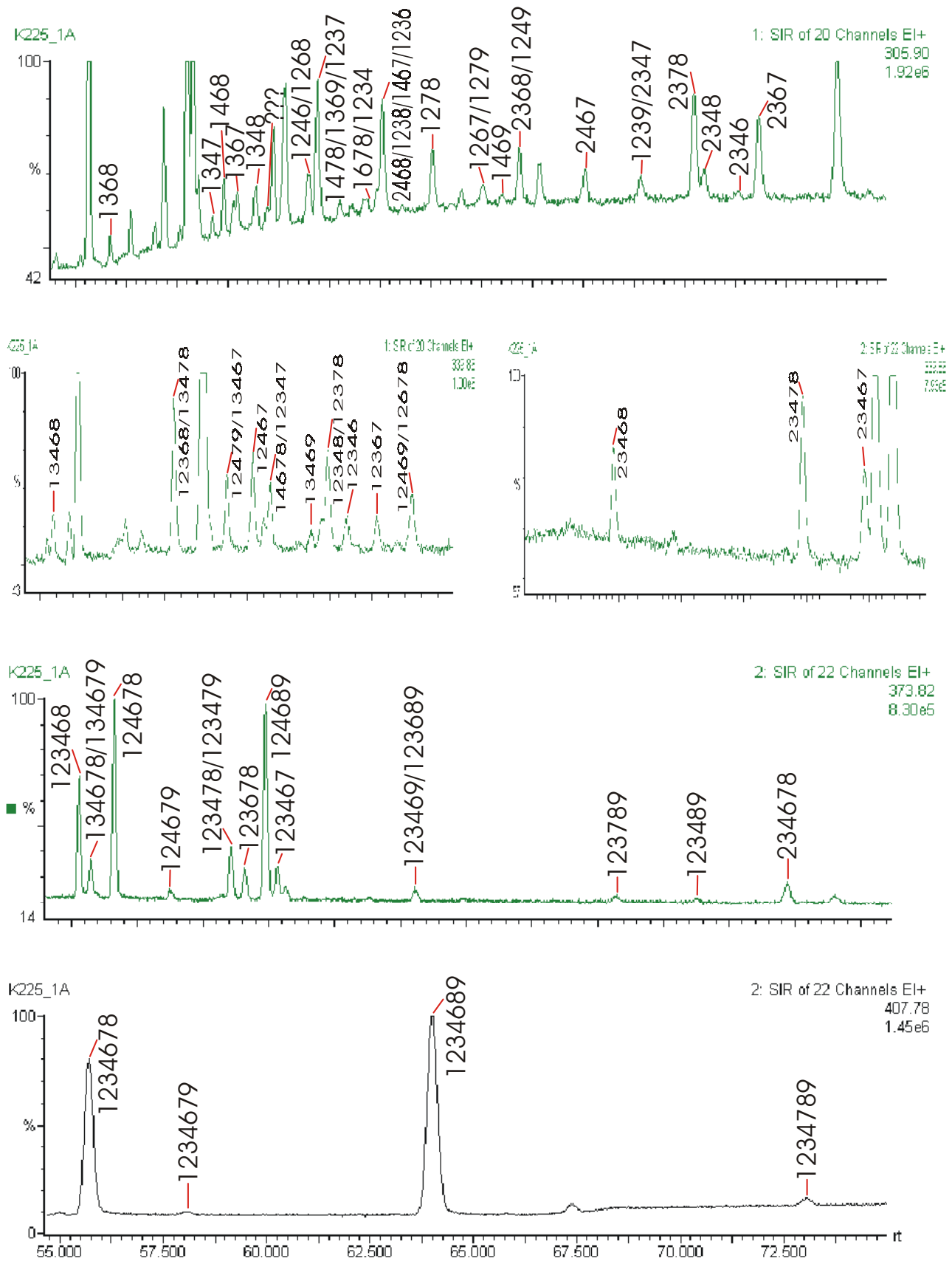


Bild 151 PCDF-Chromatogramm der Probe PW14

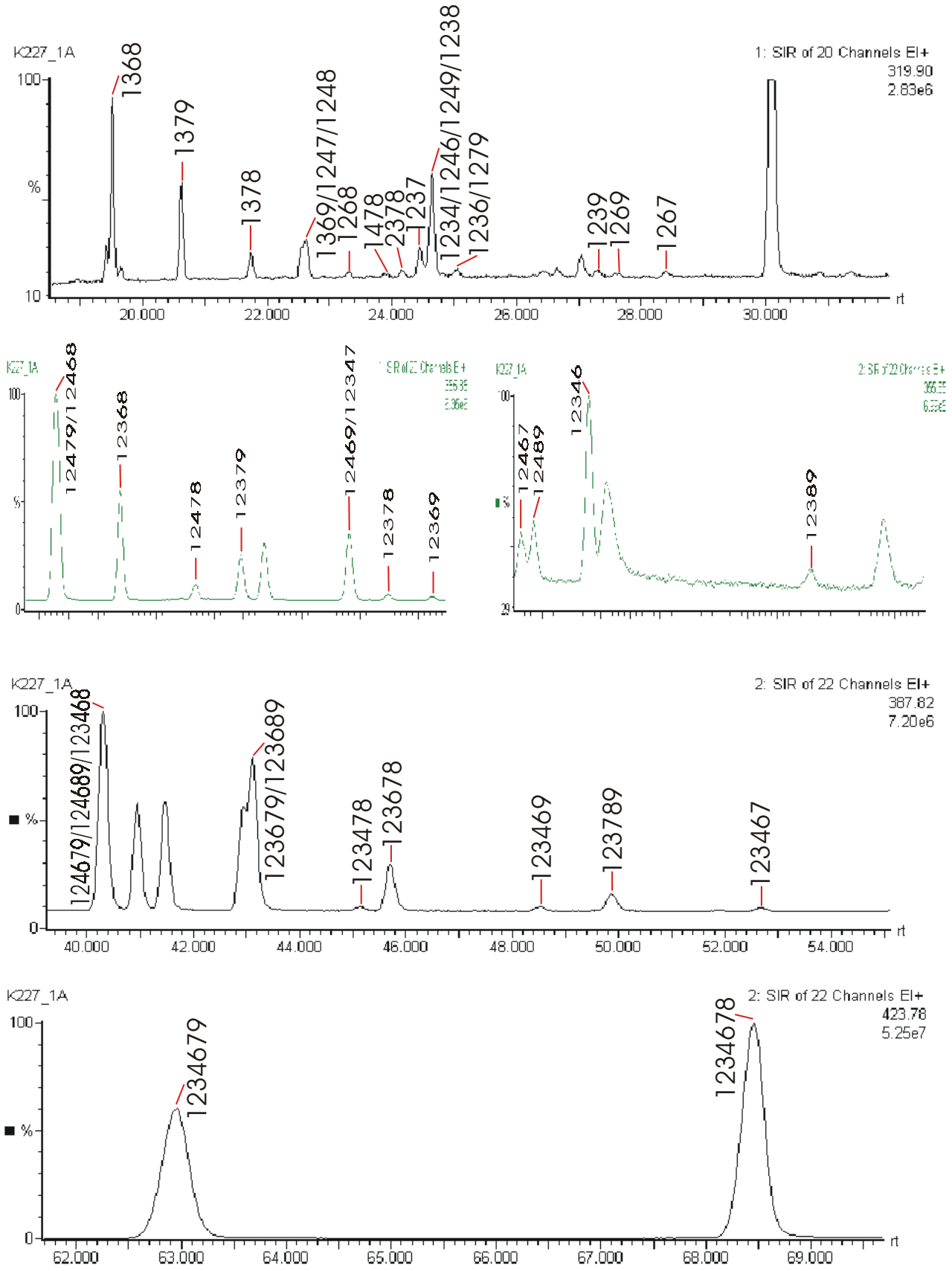


Bild 152 PCDD-Chromatogramm der Probe KL23

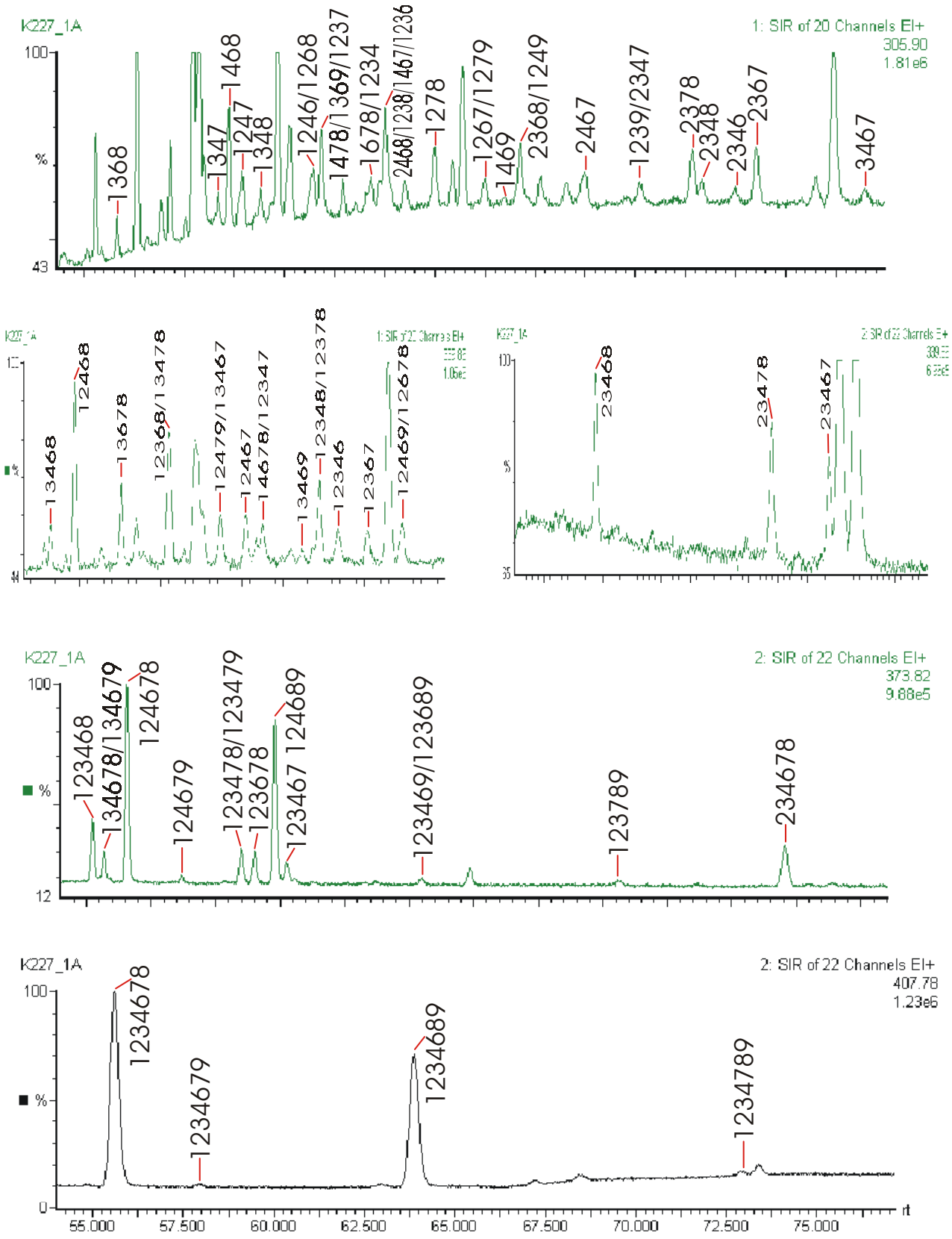


Bild 153 PCDF-Chromatogramm der Probe KL23

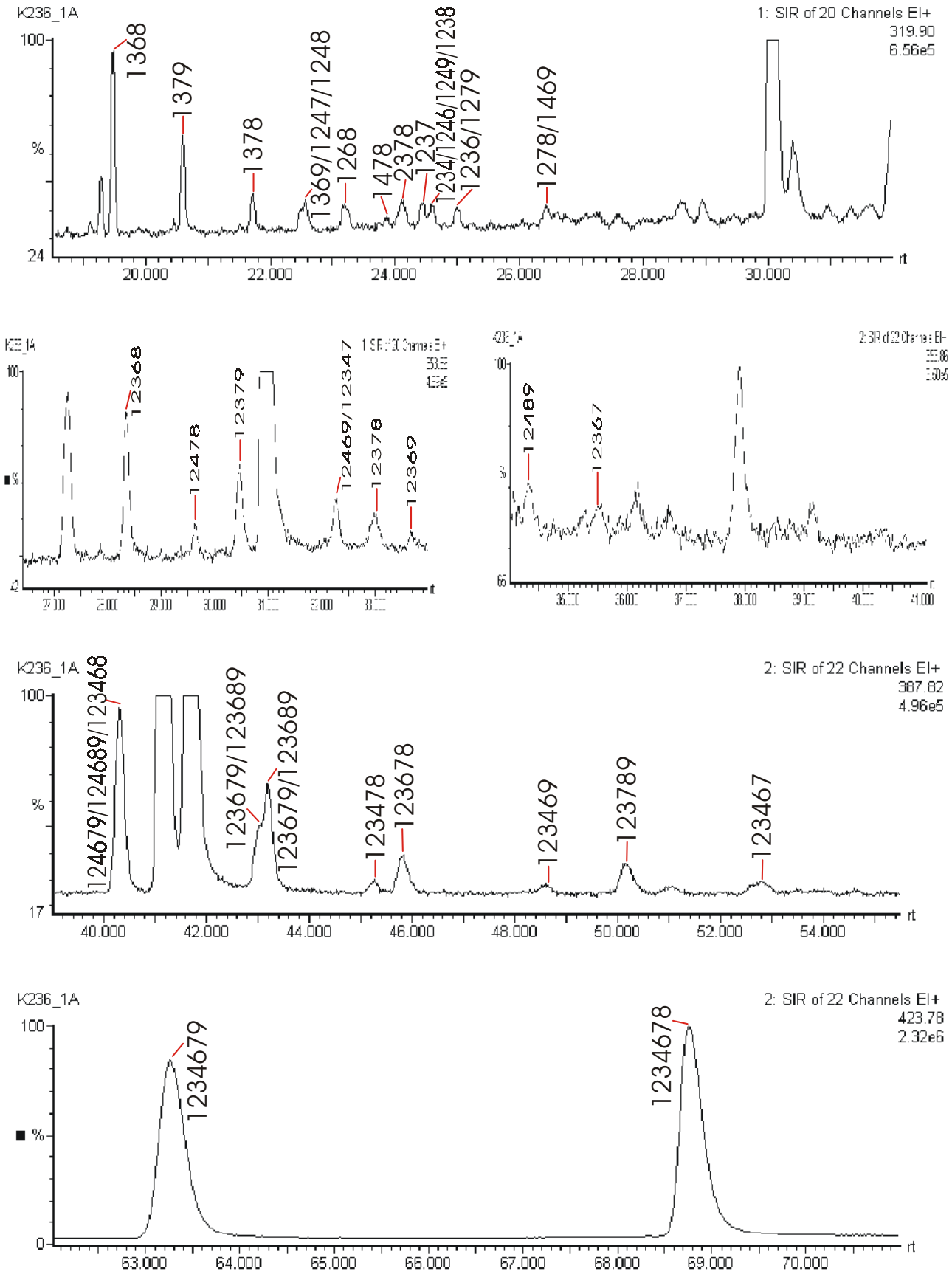


Bild 154 PCDD-Chromatogramm der Probe MI48

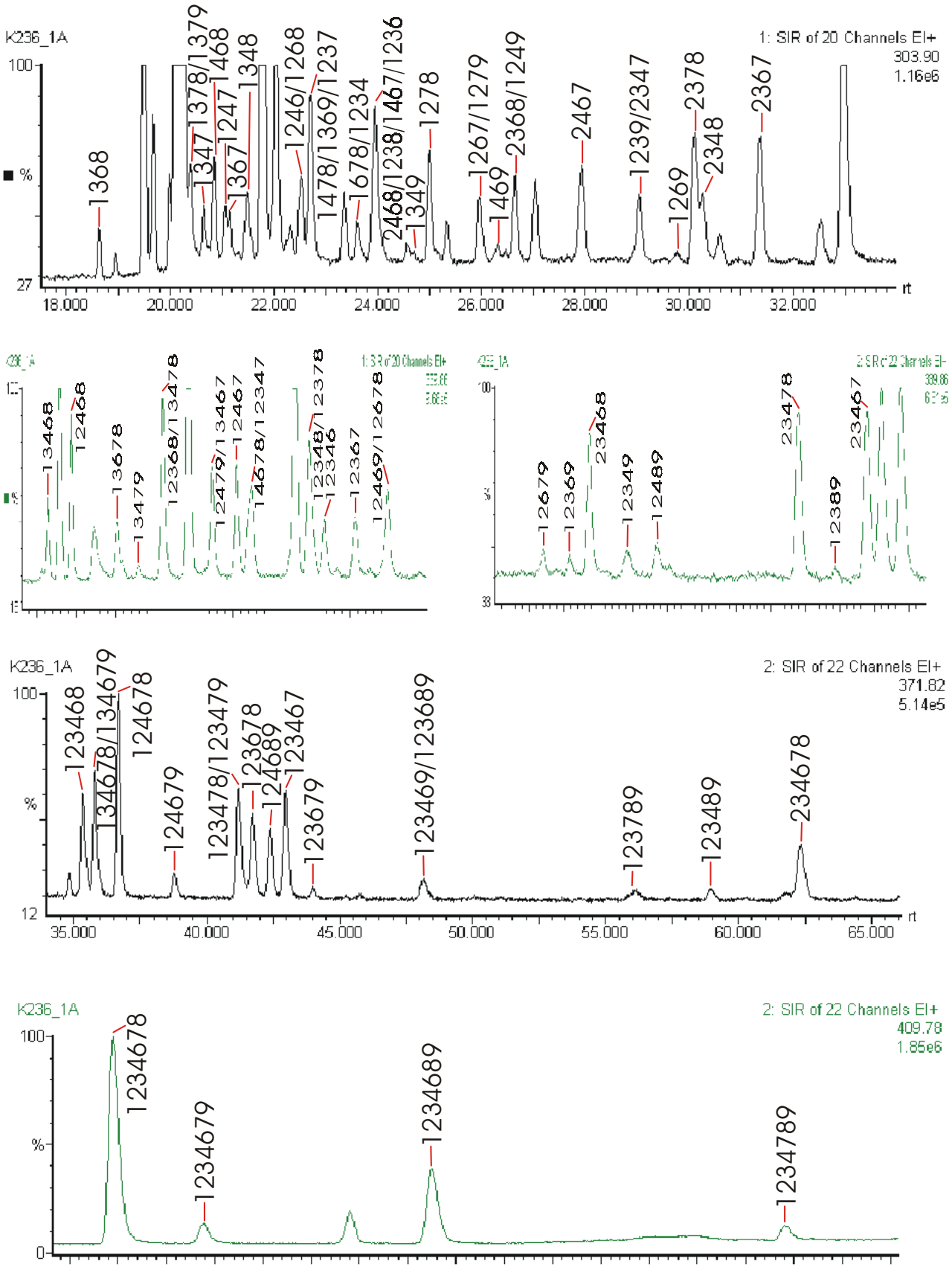


Bild 155 PCDF-Chromatogramm der Probe MI48

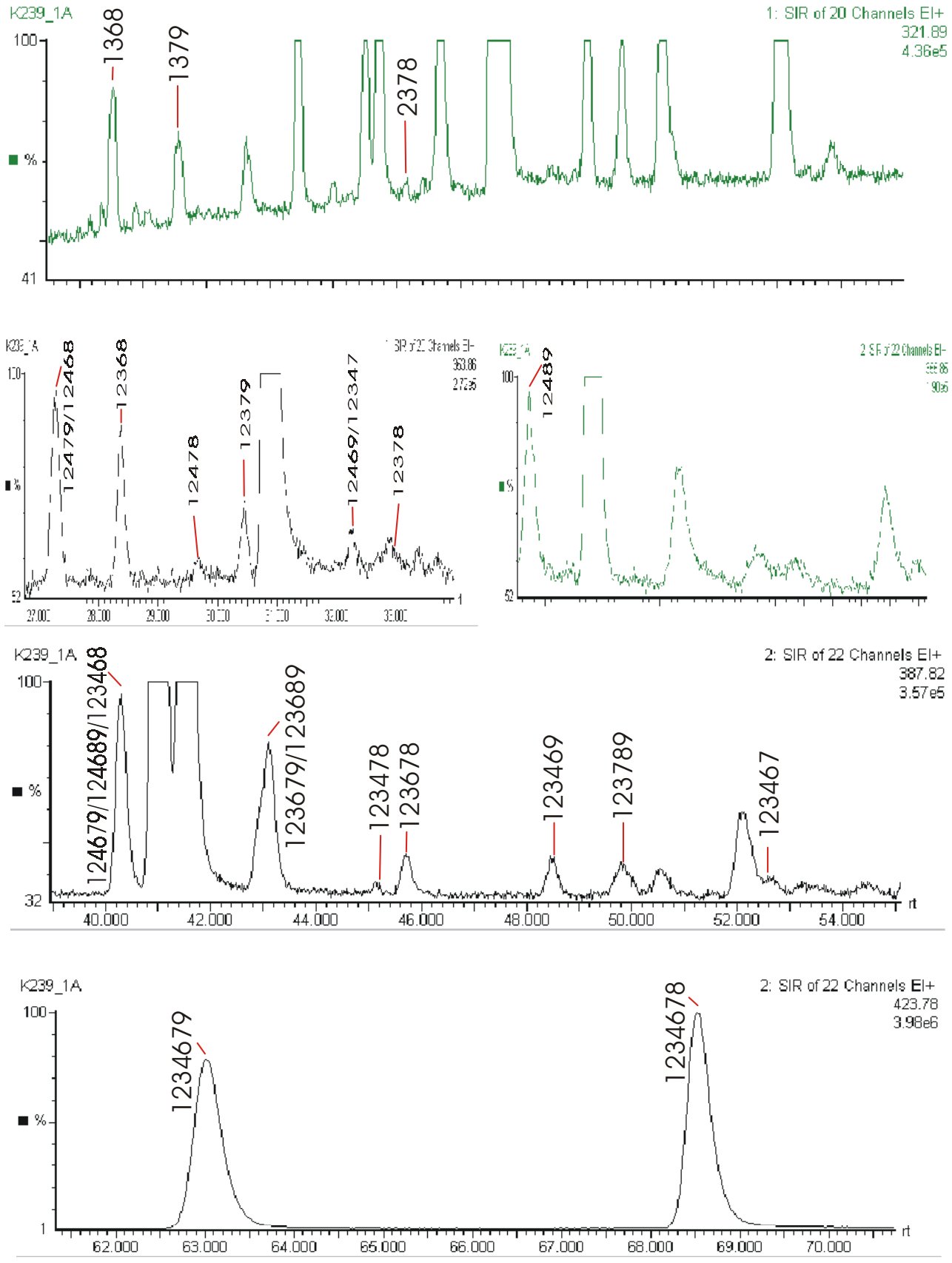


Bild 156 PCDD-Chromatogramm der Probe FH01

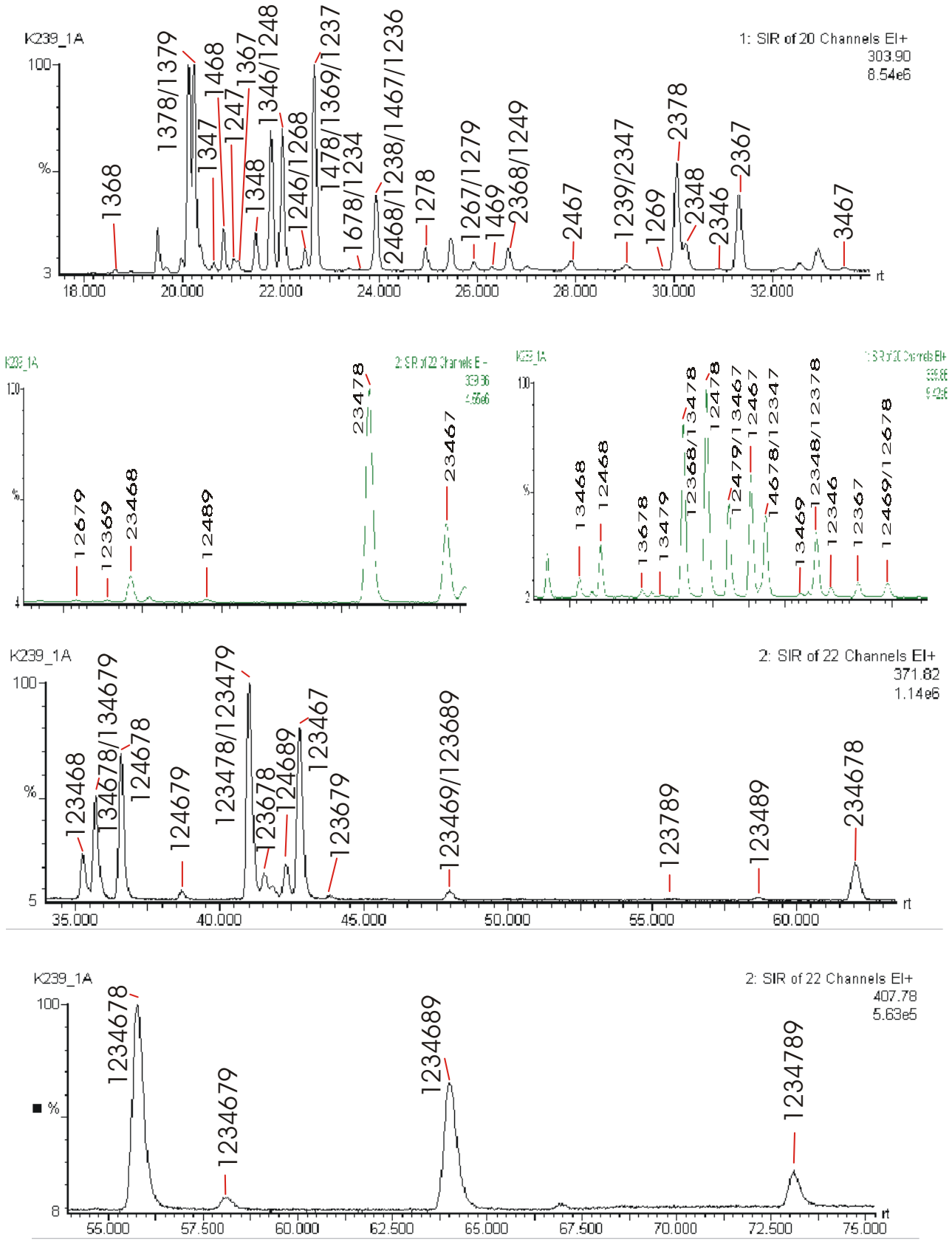


Bild 157 PCDF-Chromatogramm der Probe FH01

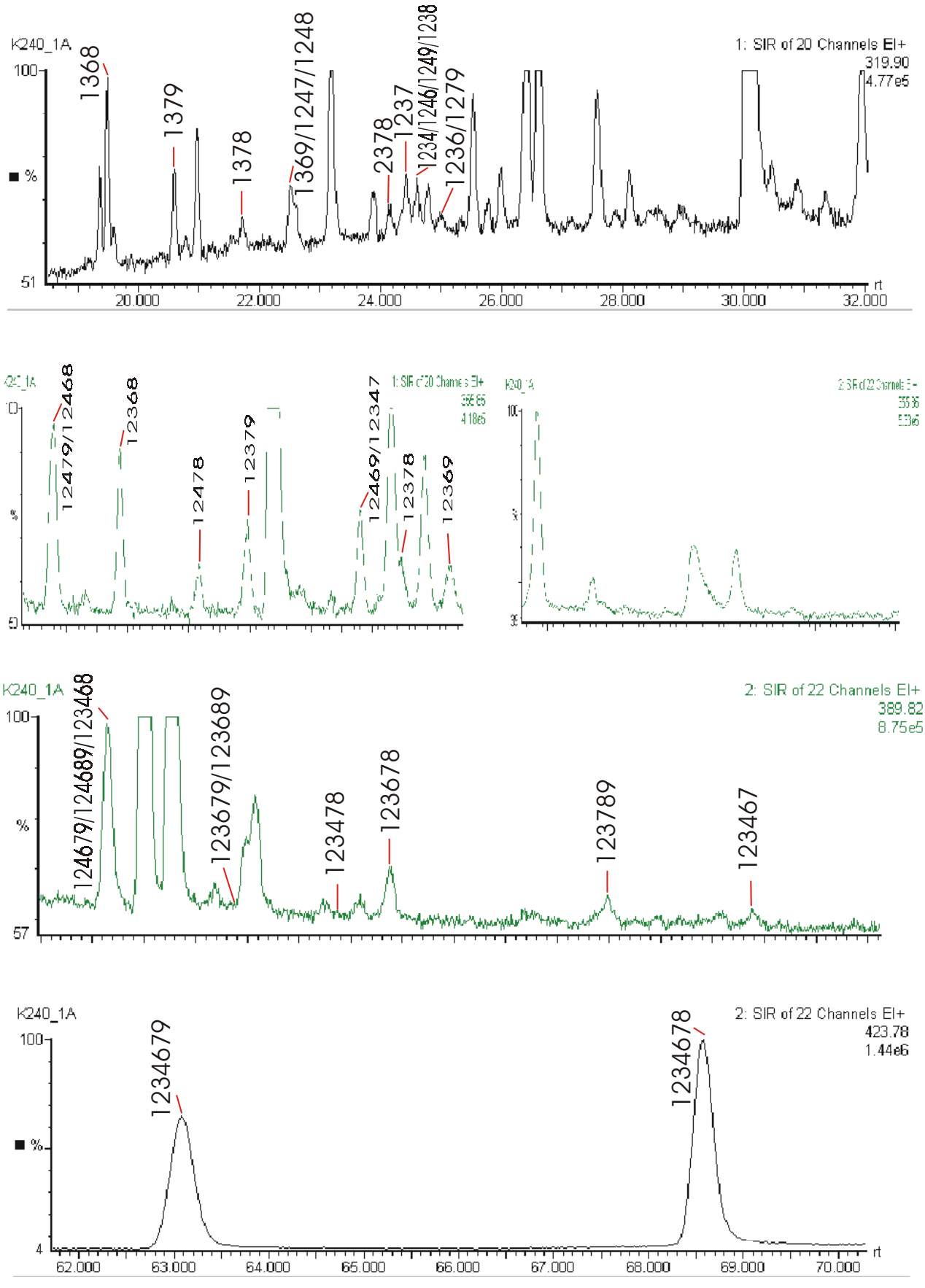


Bild 158 PCDD-Chromatogramm der Probe PH05

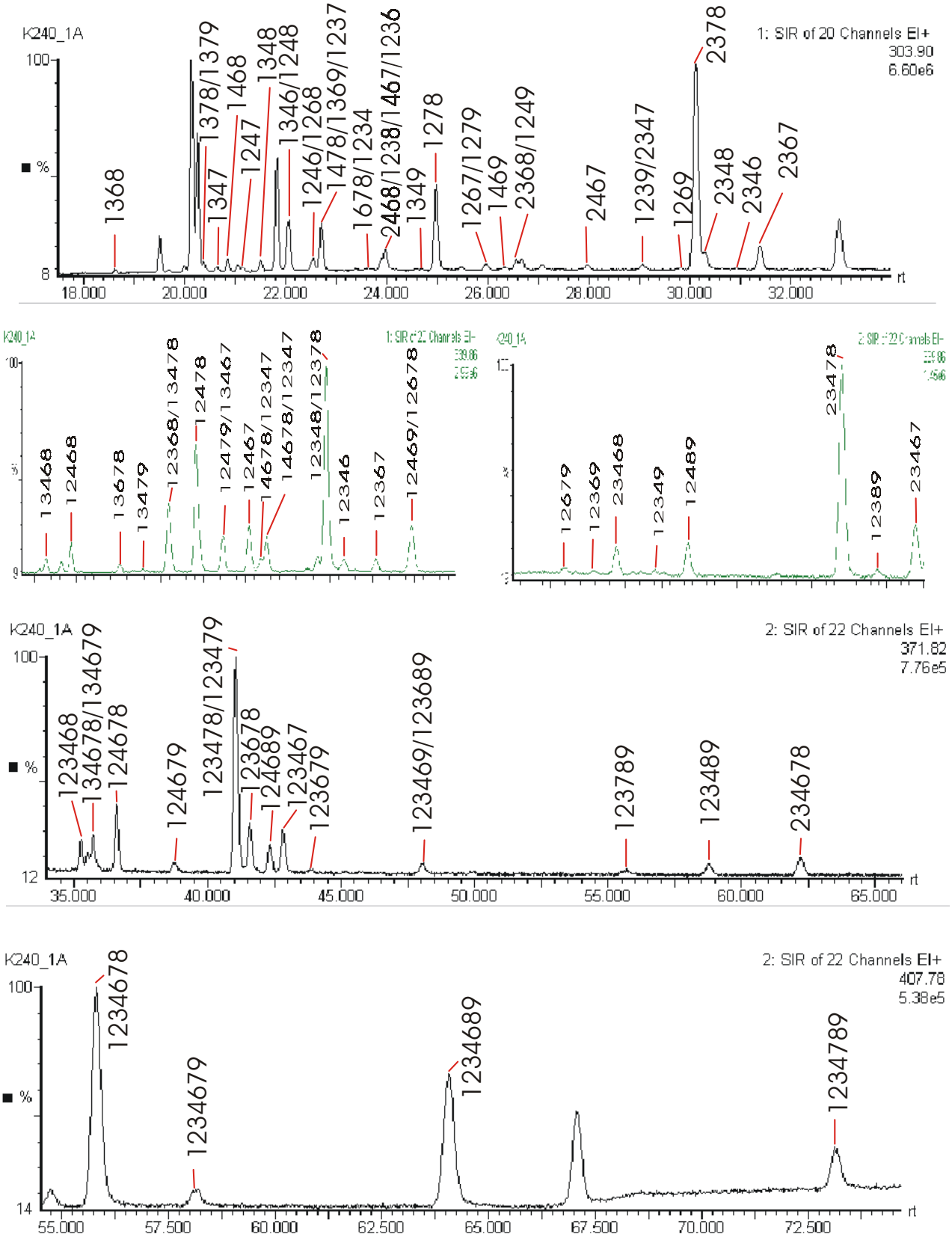


Bild 159 PCDF-Chromatogramm der Probe PH05

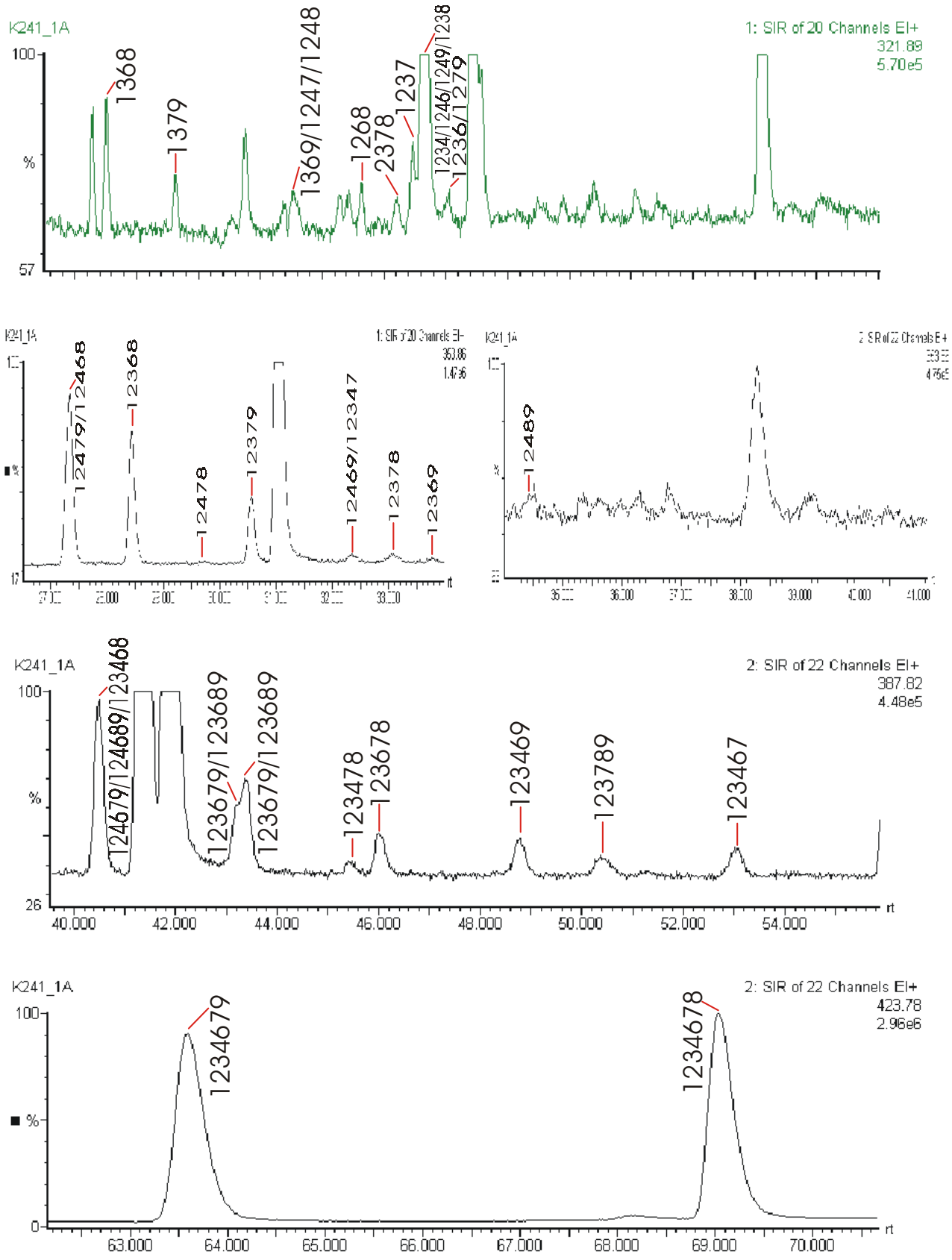


Bild 160 PCDD-Chromatogramm der Probe FL01

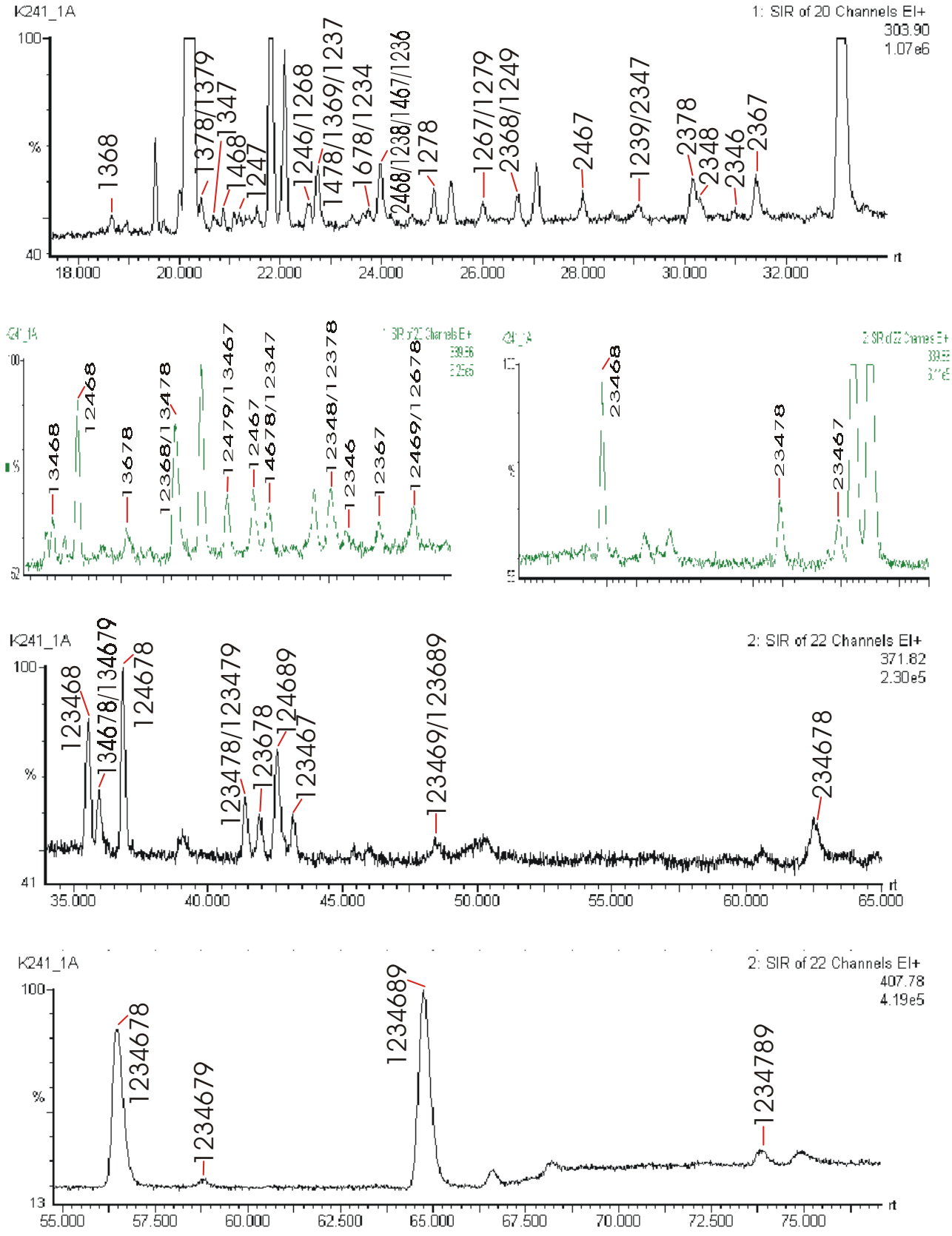


Bild 161 PCDF-Chromatogramm der Probe FL01

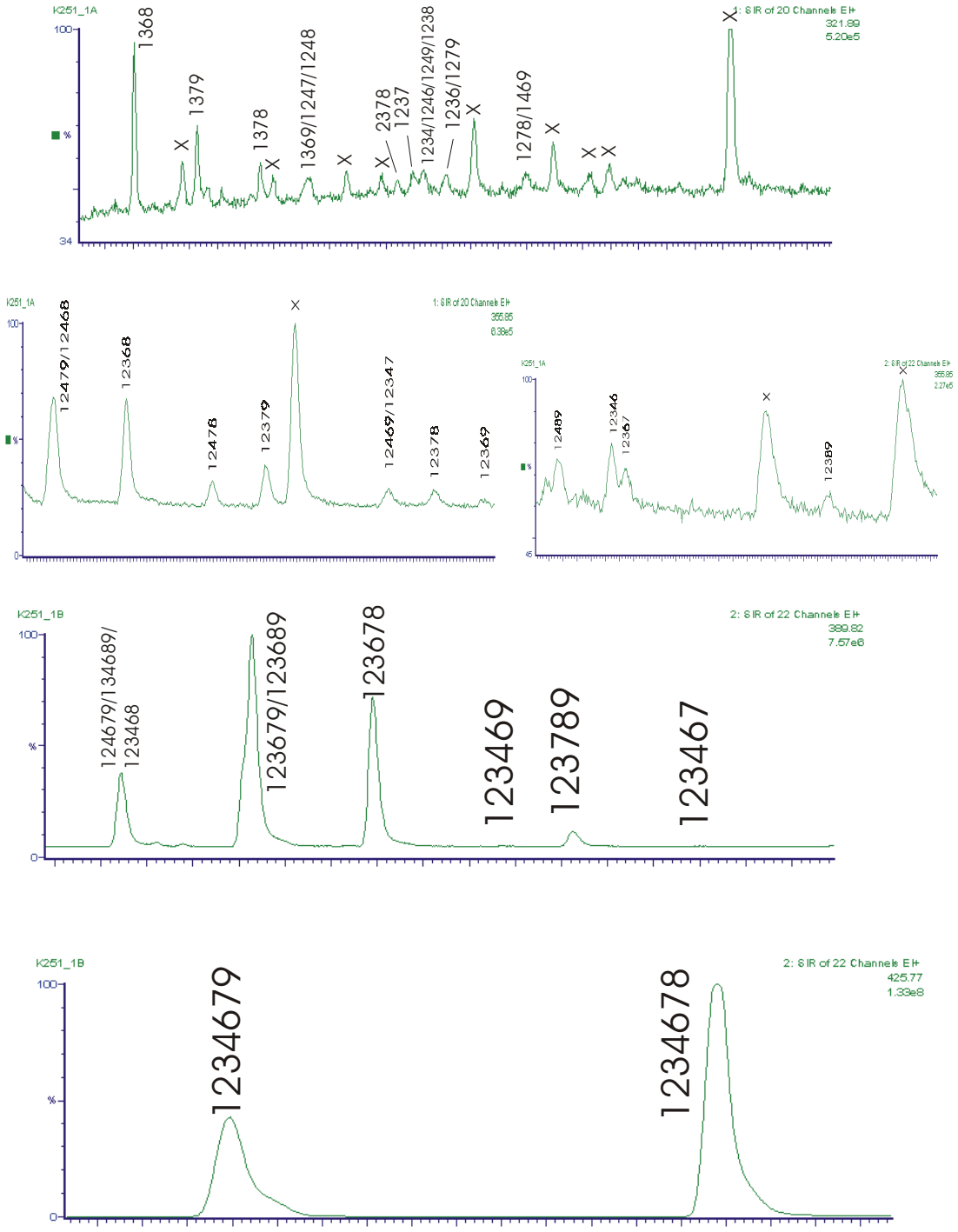


Bild 162 PCDD-Chromatogramm der Probe ME22

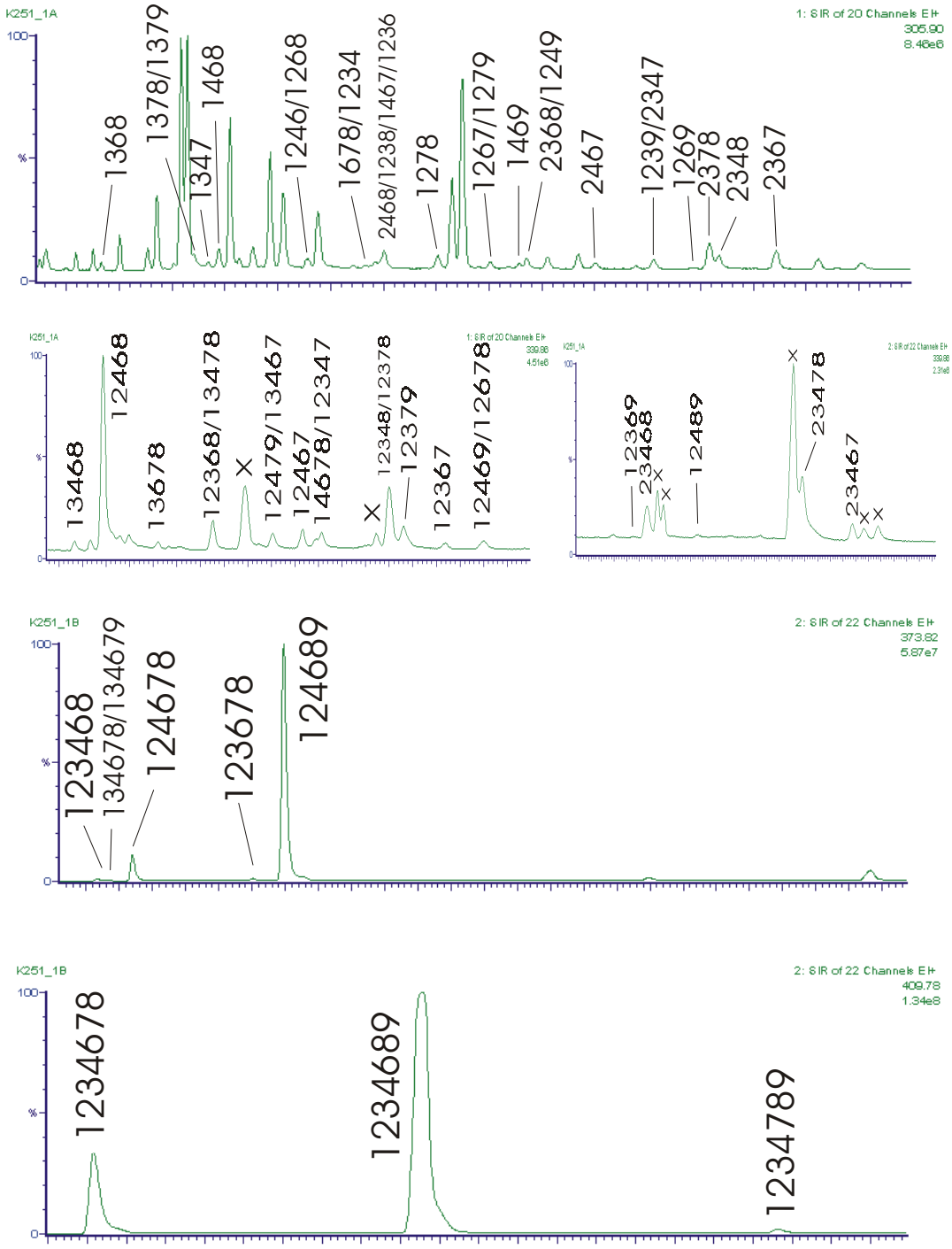


Bild 163 PCDF-Chromatogramm der Probe ME22

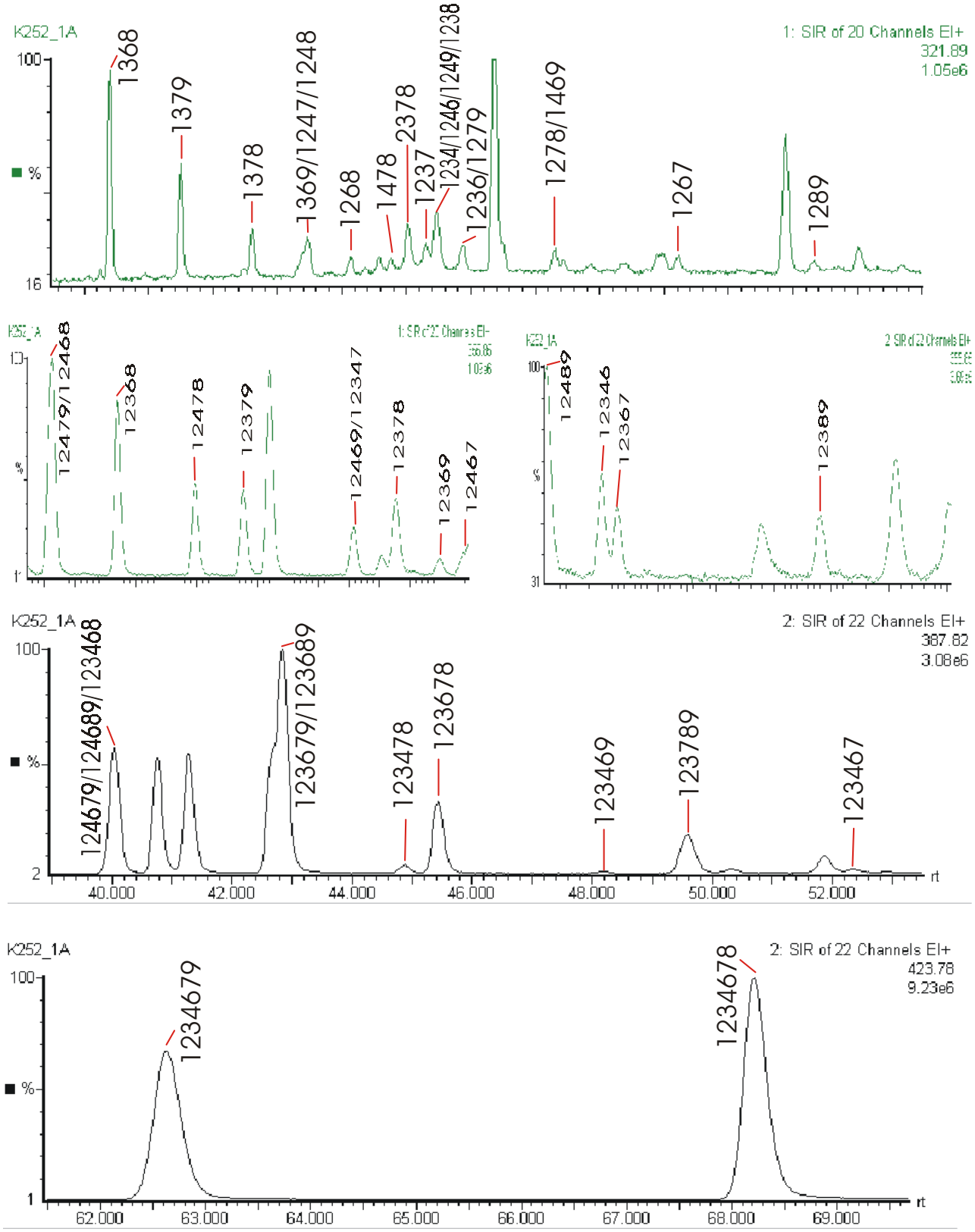


Bild 164 PCDD-Chromatogramm der Probe HA01

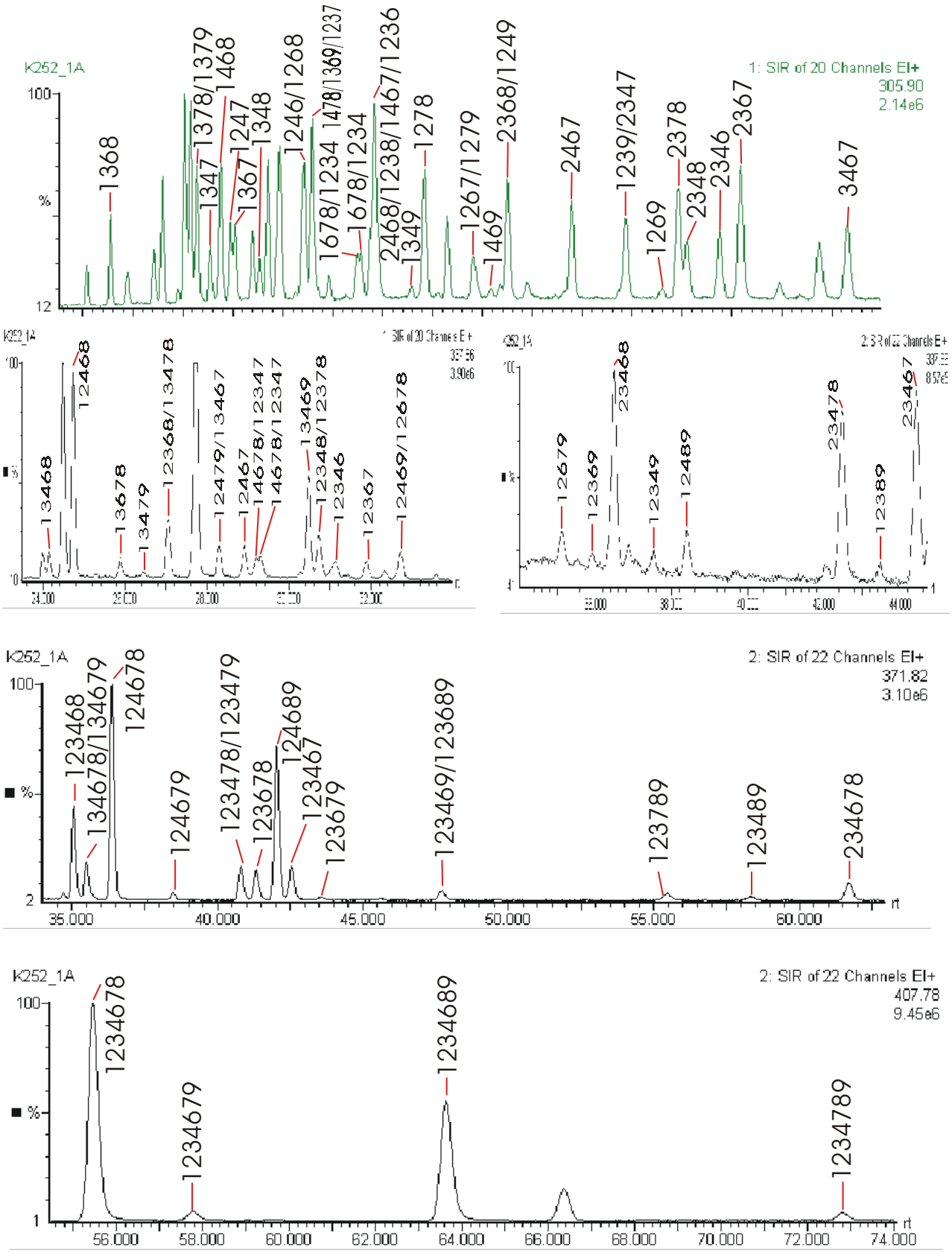


Bild 165 PCDF-Chromatogramm der Probe HA01

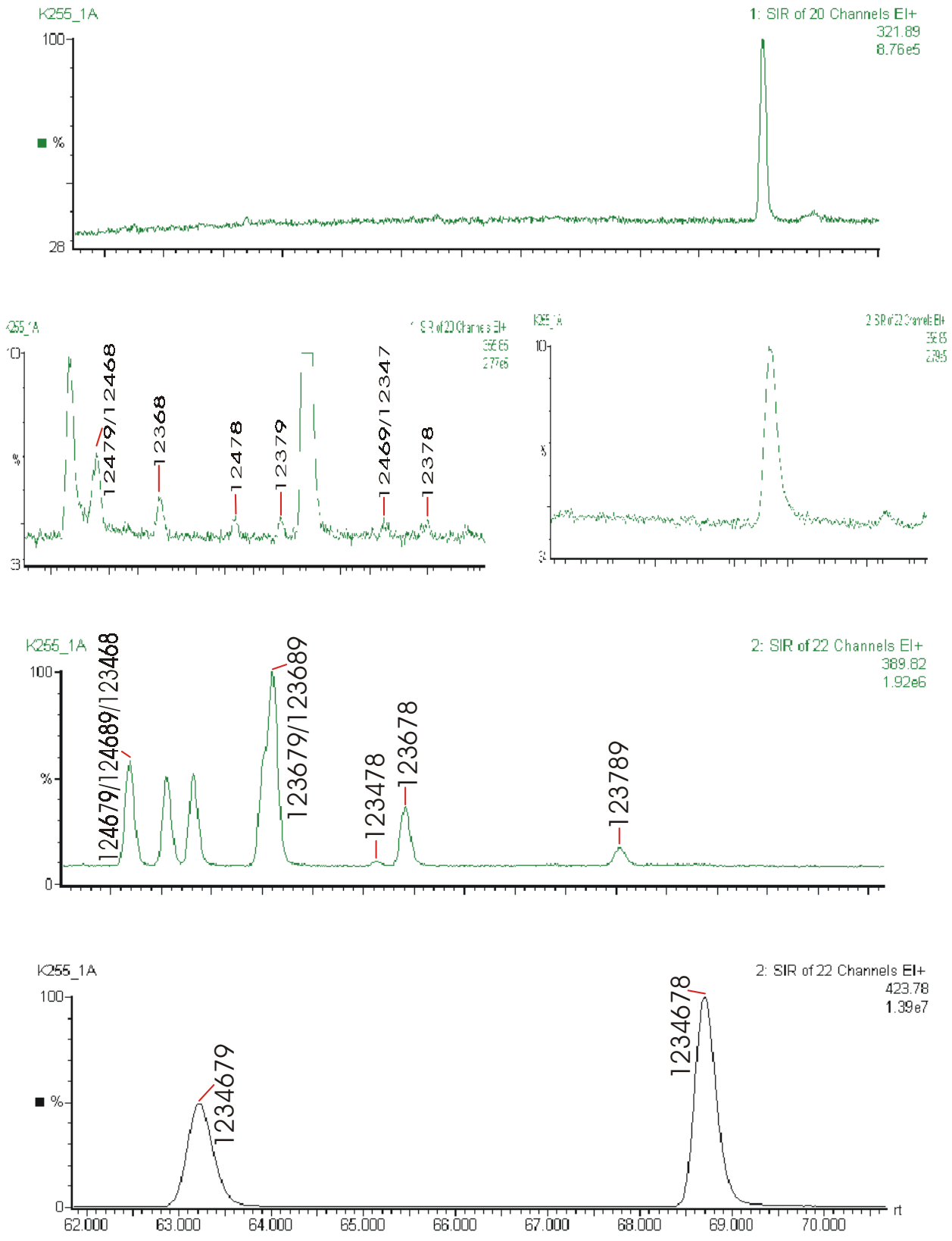


Bild 166 PCDD-Chromatogramm der Probe WÄ07

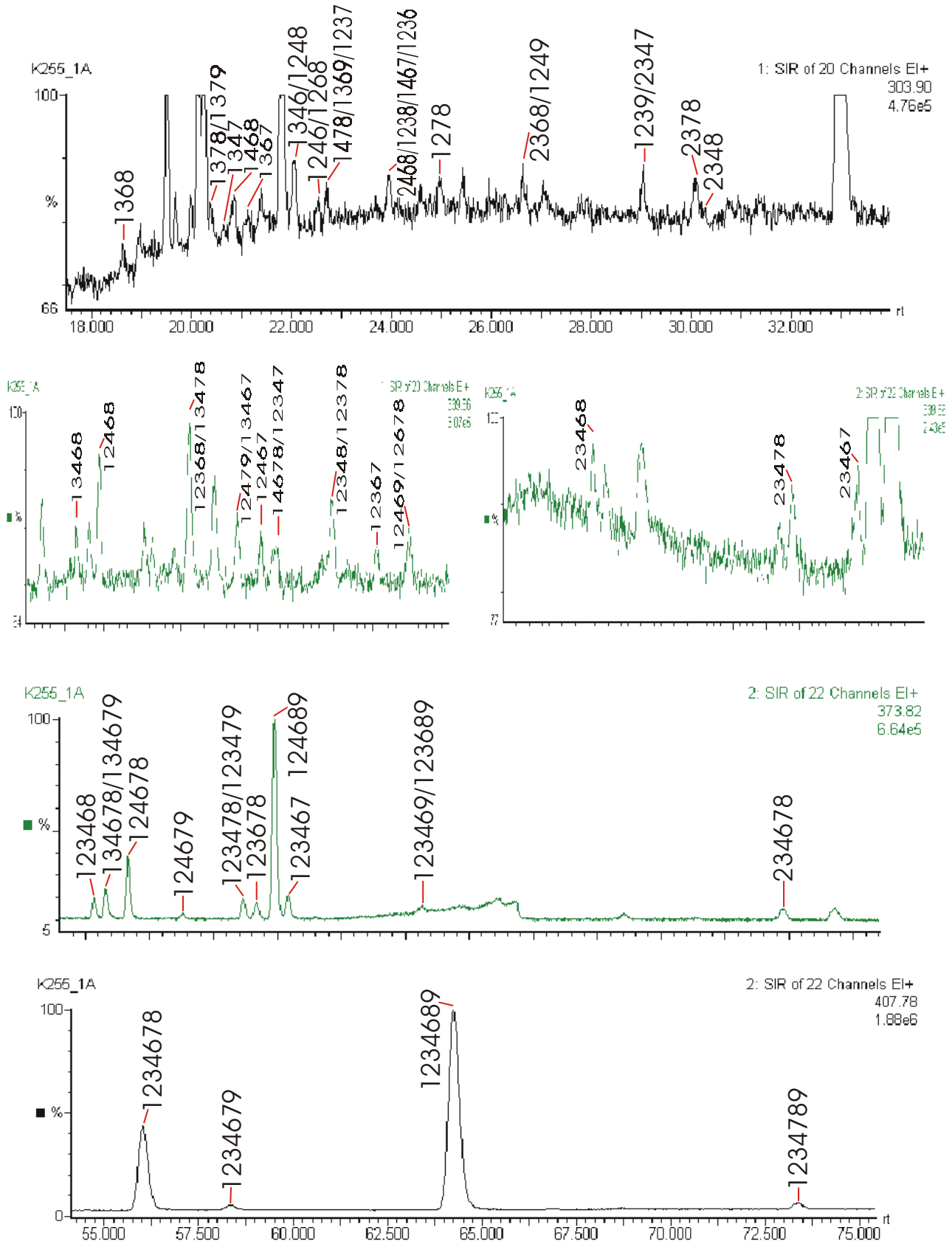


Bild 167 PCDF-Chromatogramm der Probe WÄ07

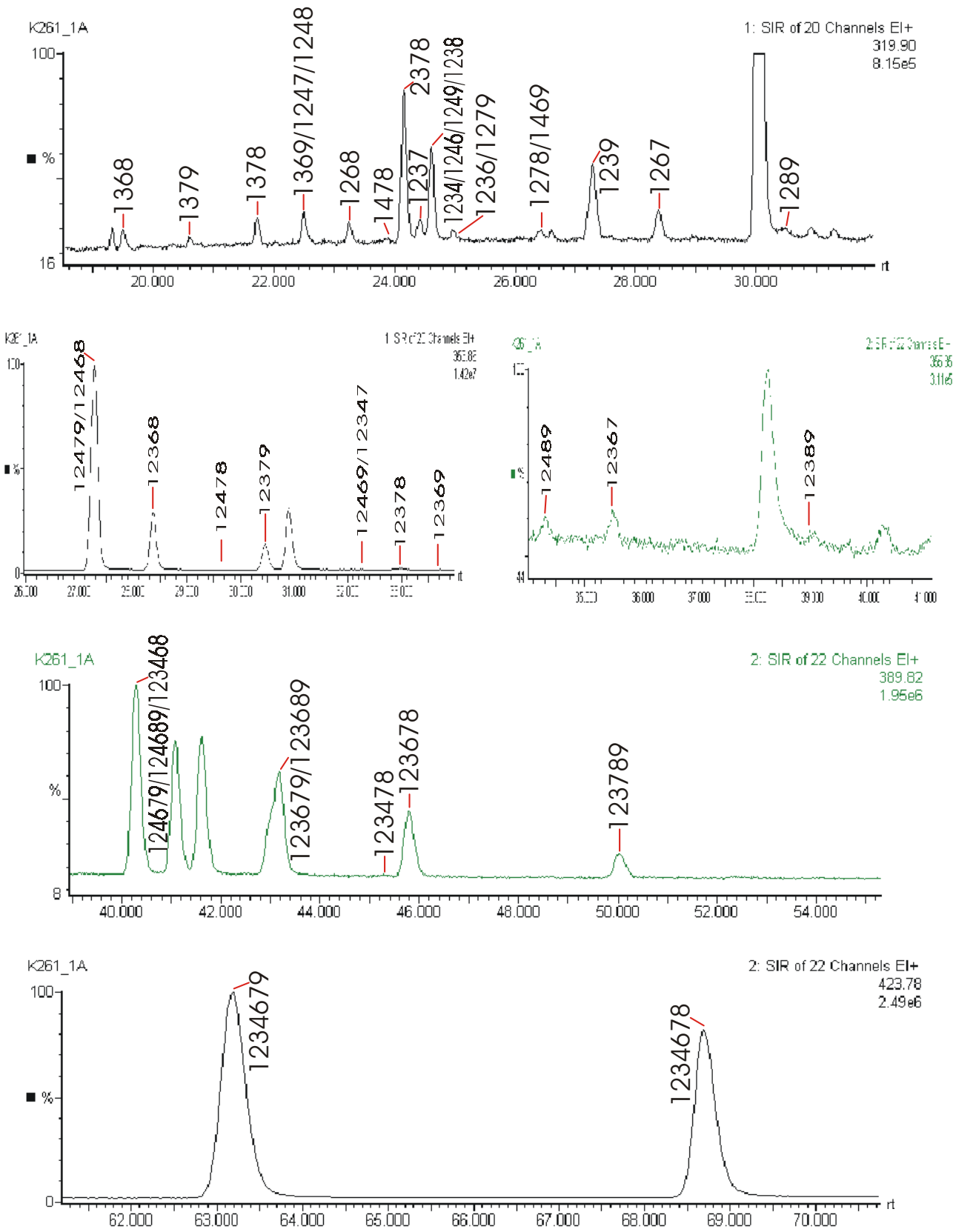


Bild 168 PCDD-Chromatogramm der Probe WÄ06

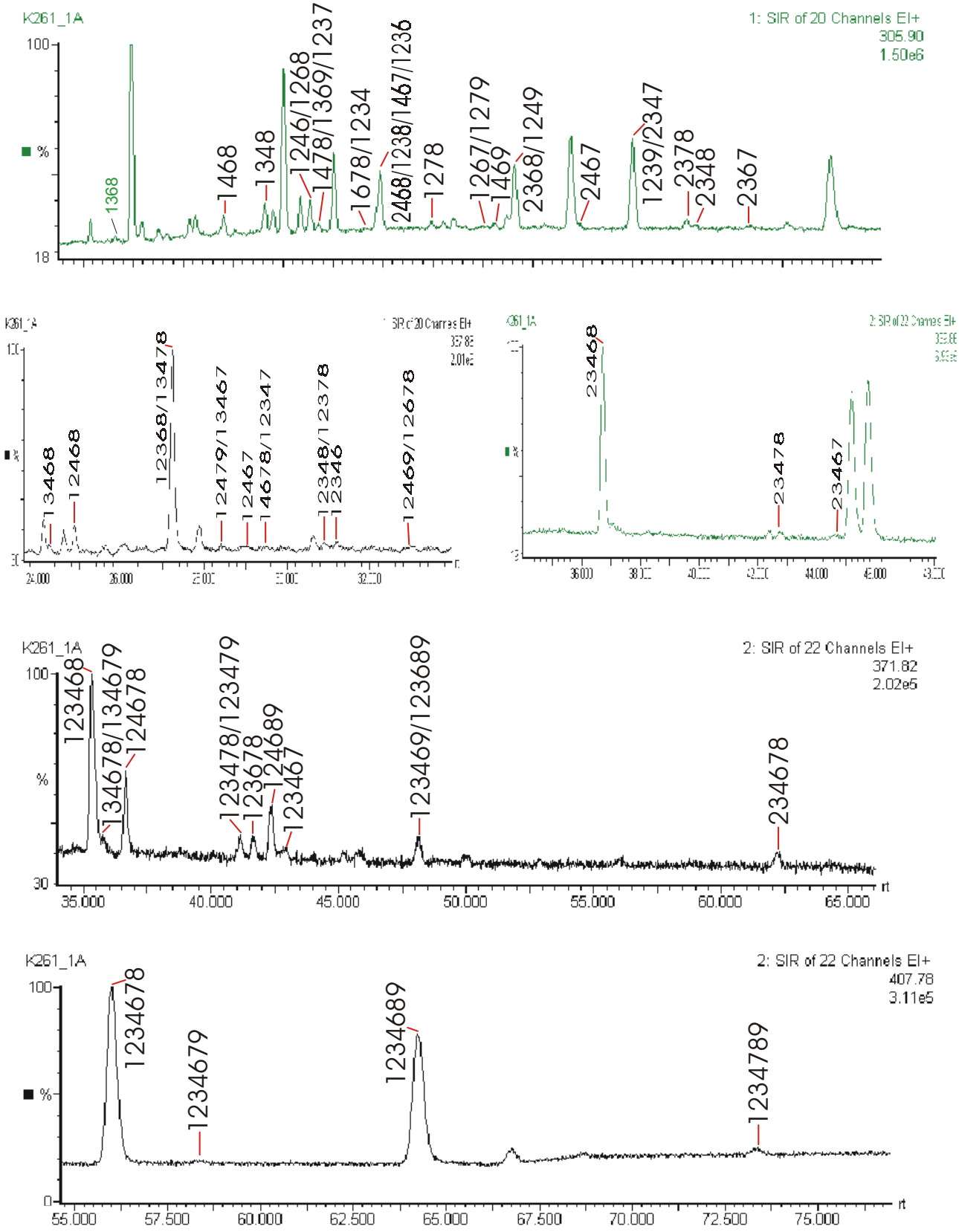


Bild 169 PCDF-Chromatogramm der Probe WÄ06

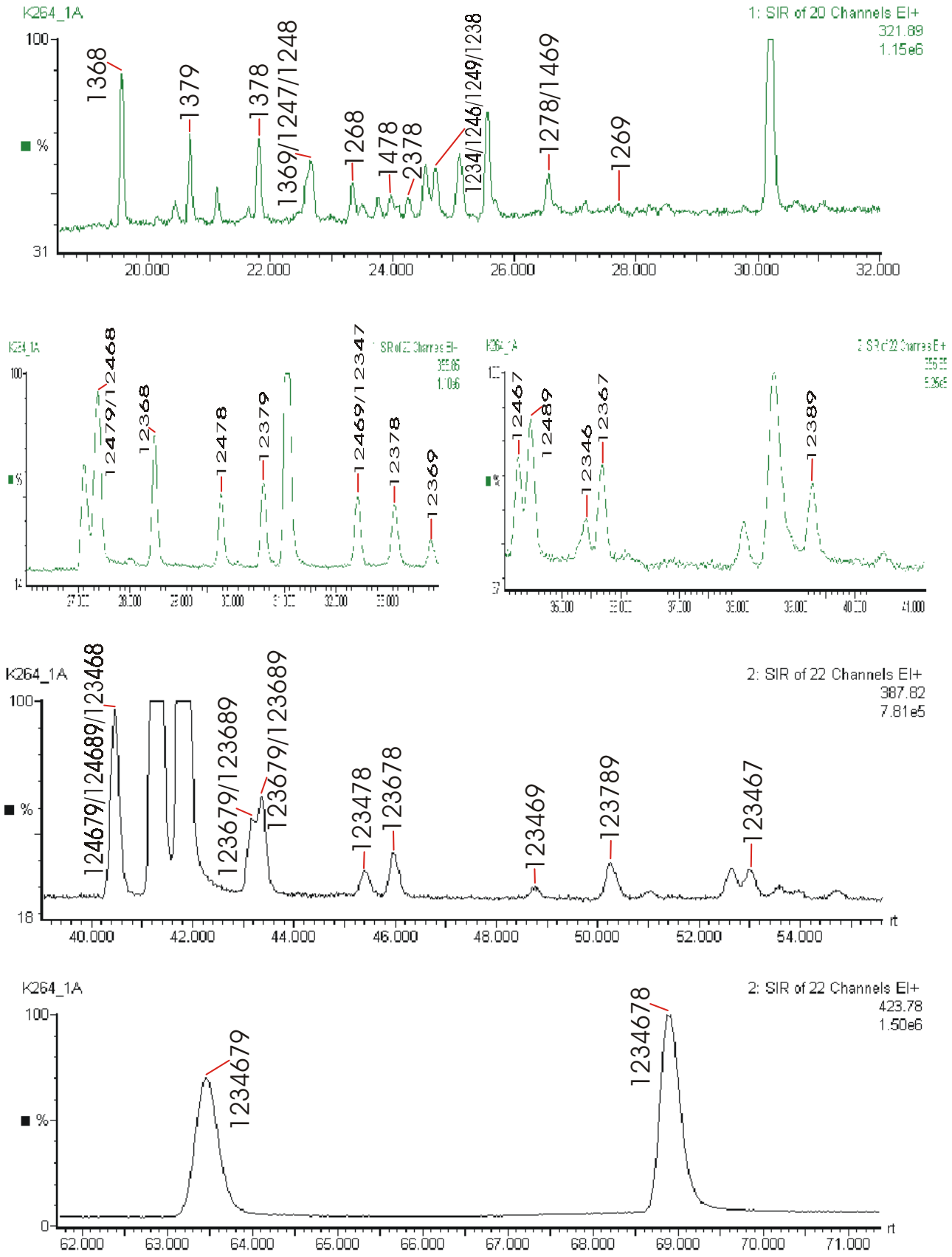


Bild 170 PCDD-Chromatogramm der Probe KW26

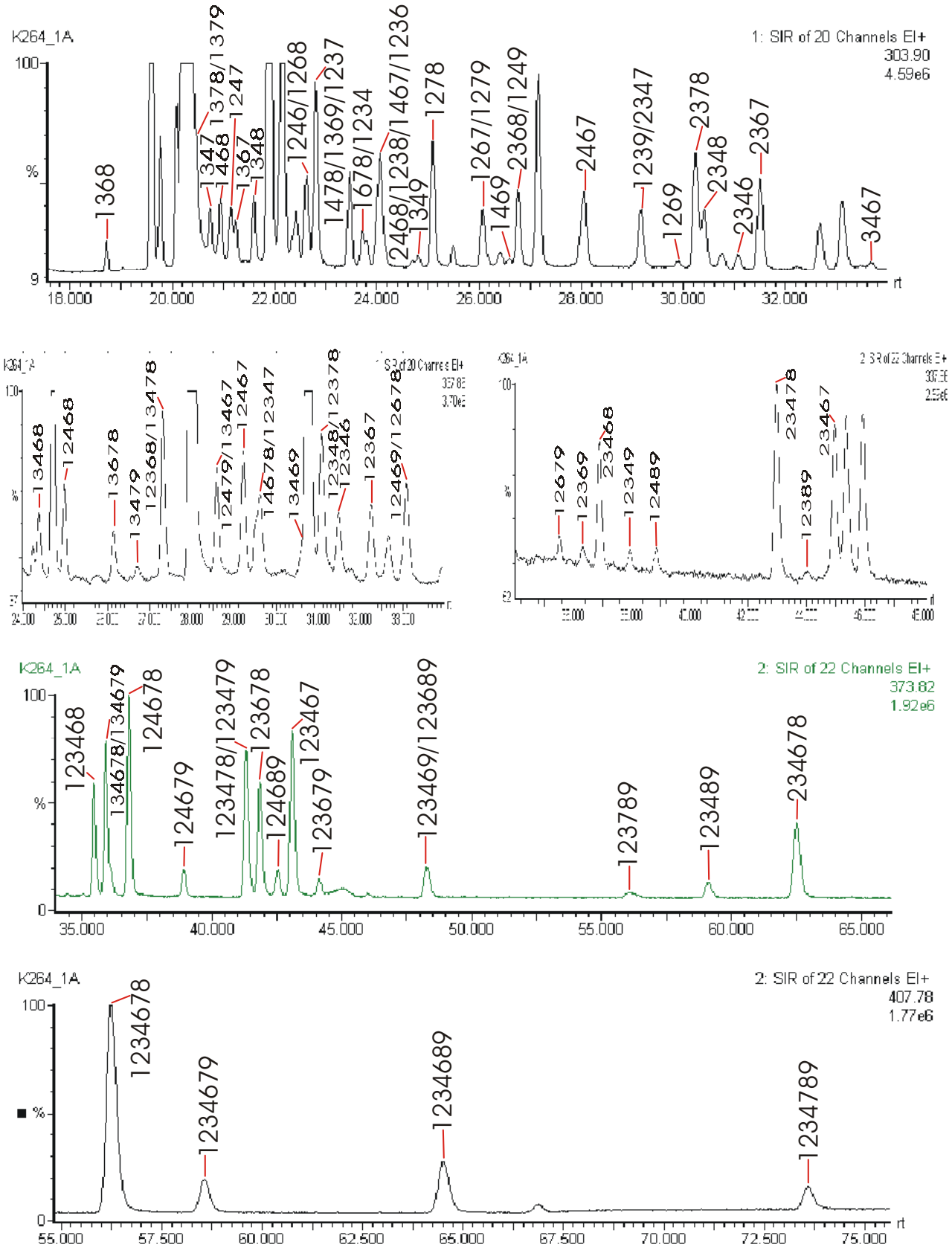


Bild 171 PCDF-Chromatogramm der Probe KW26

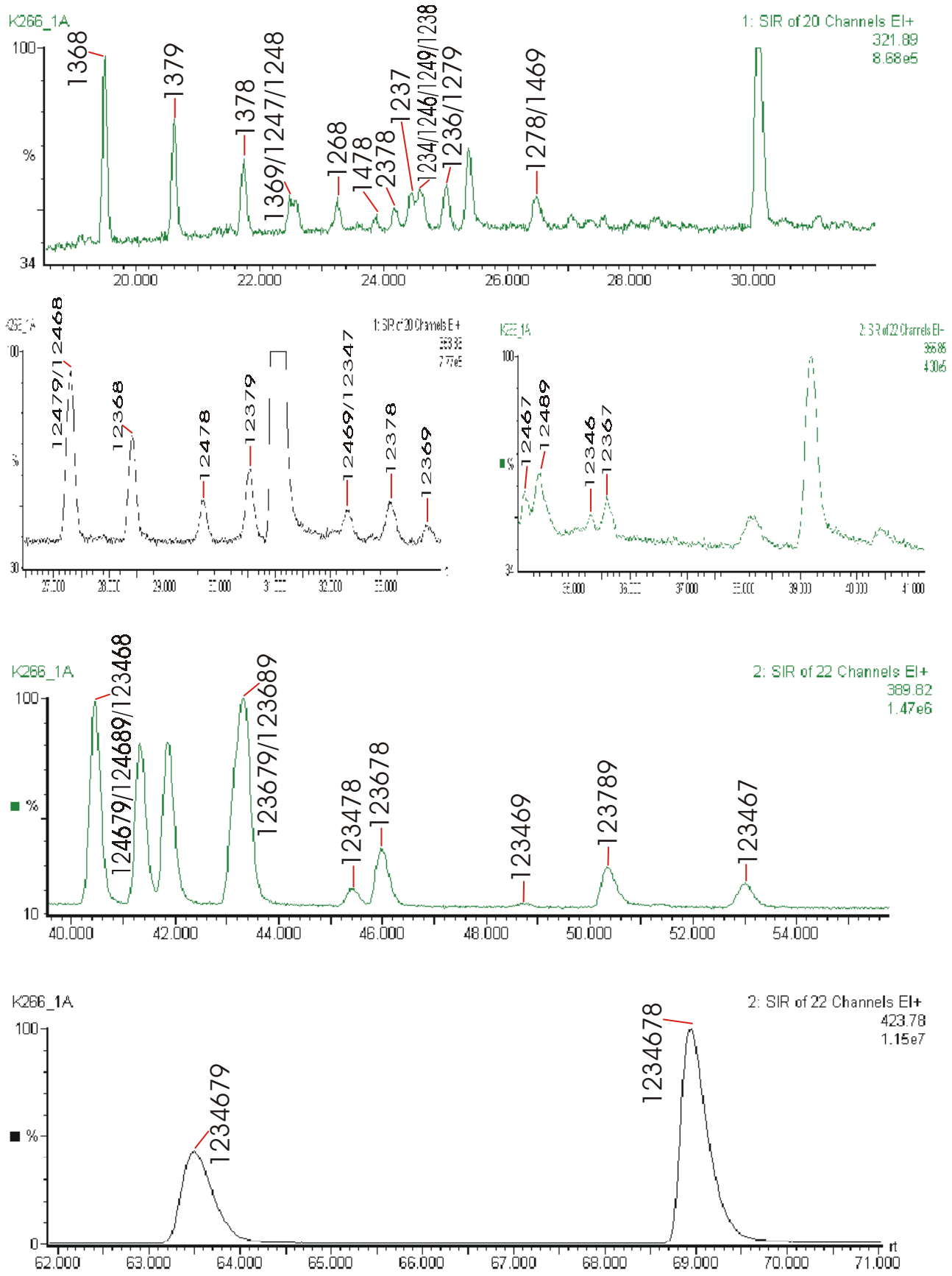


Bild 172 PCDD-Chromatogramm der Probe ME14

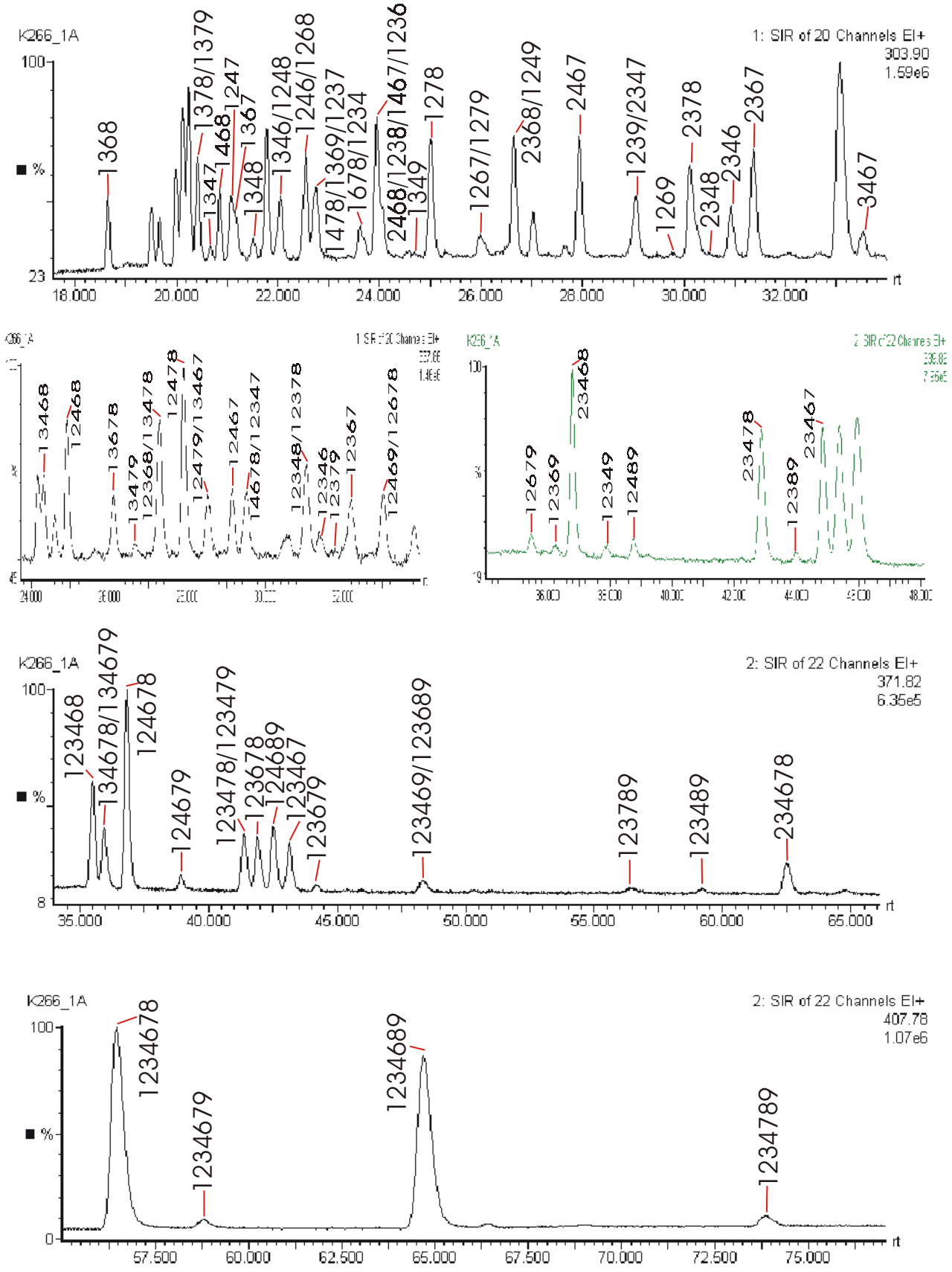


Bild 173 PCDF-Chromatogramm der Probe ME14

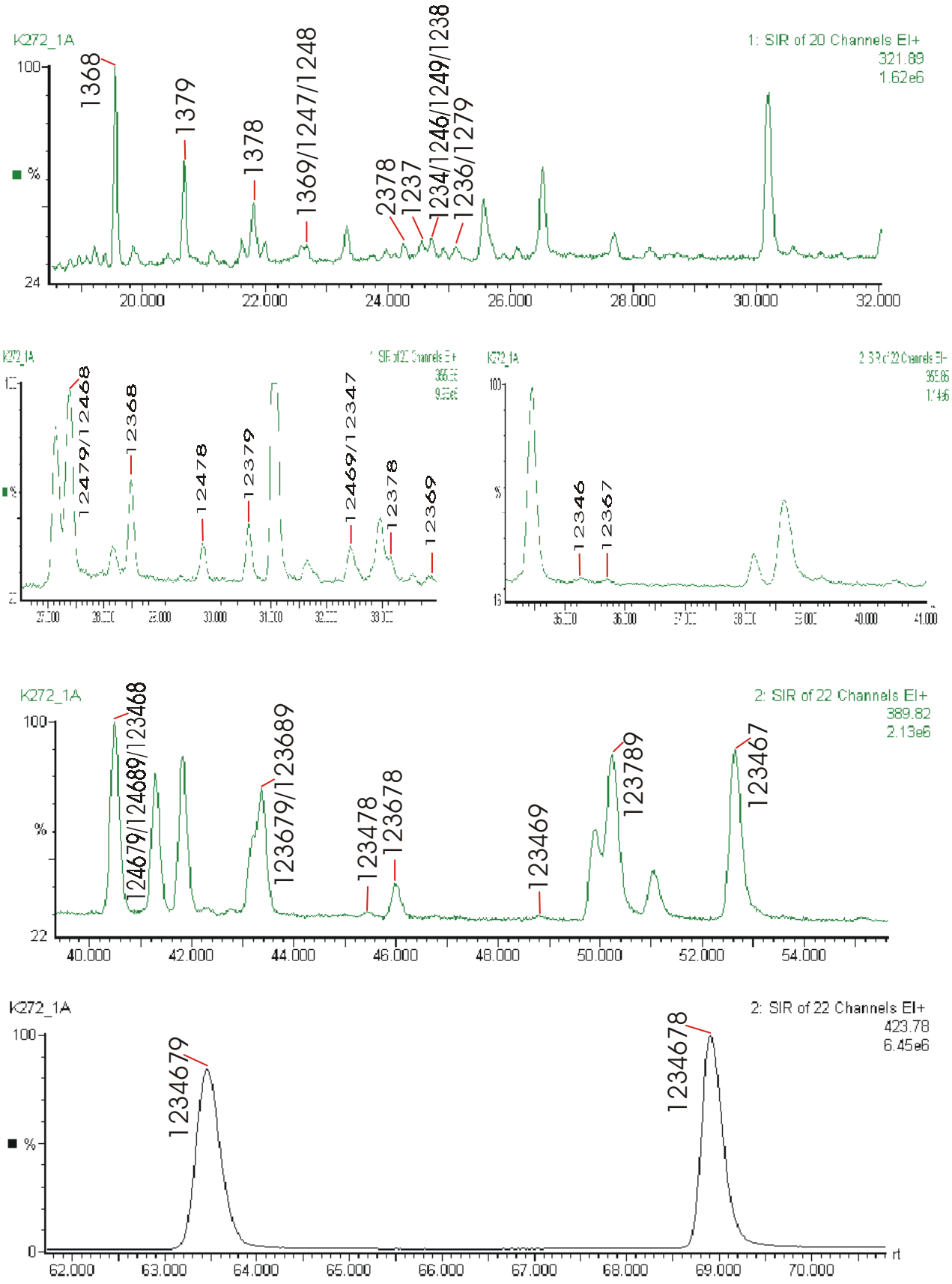


Bild 174 PCDD-Chromatogramm der Probe TX07

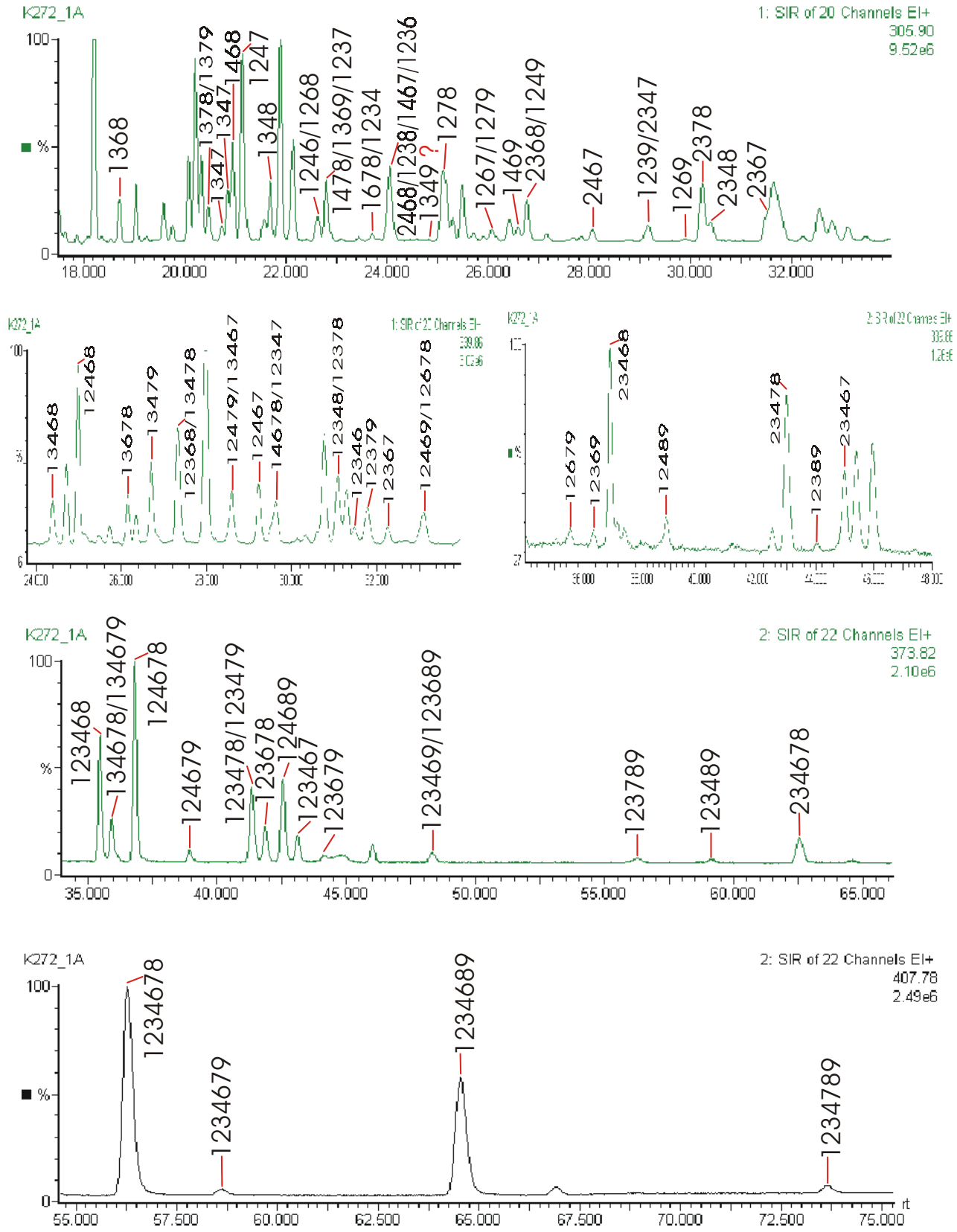


Bild 175 PCDF-Chromatogramm der Probe TX07

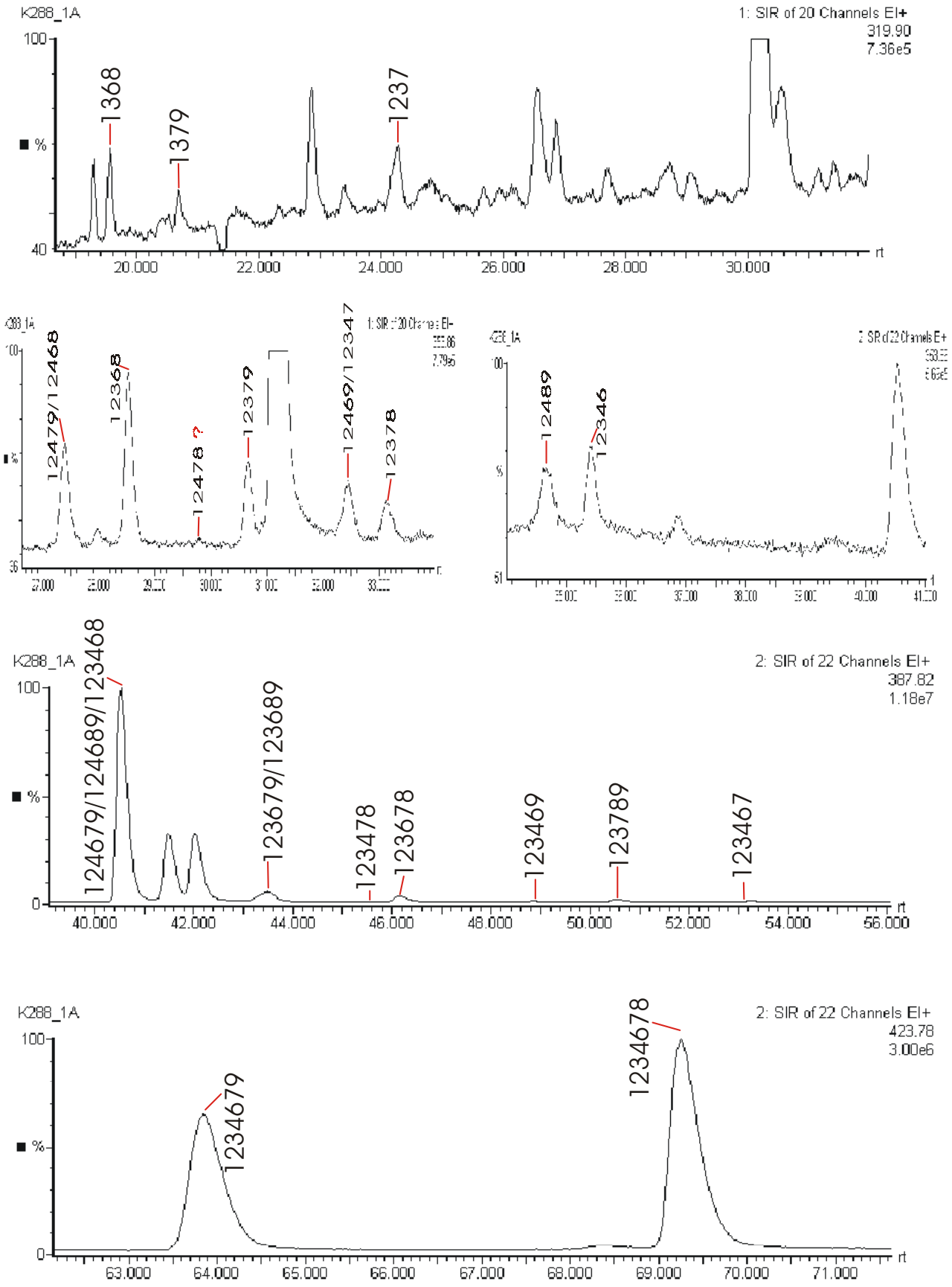


Bild 176 PCDD-Chromatogramm der Probe TX06

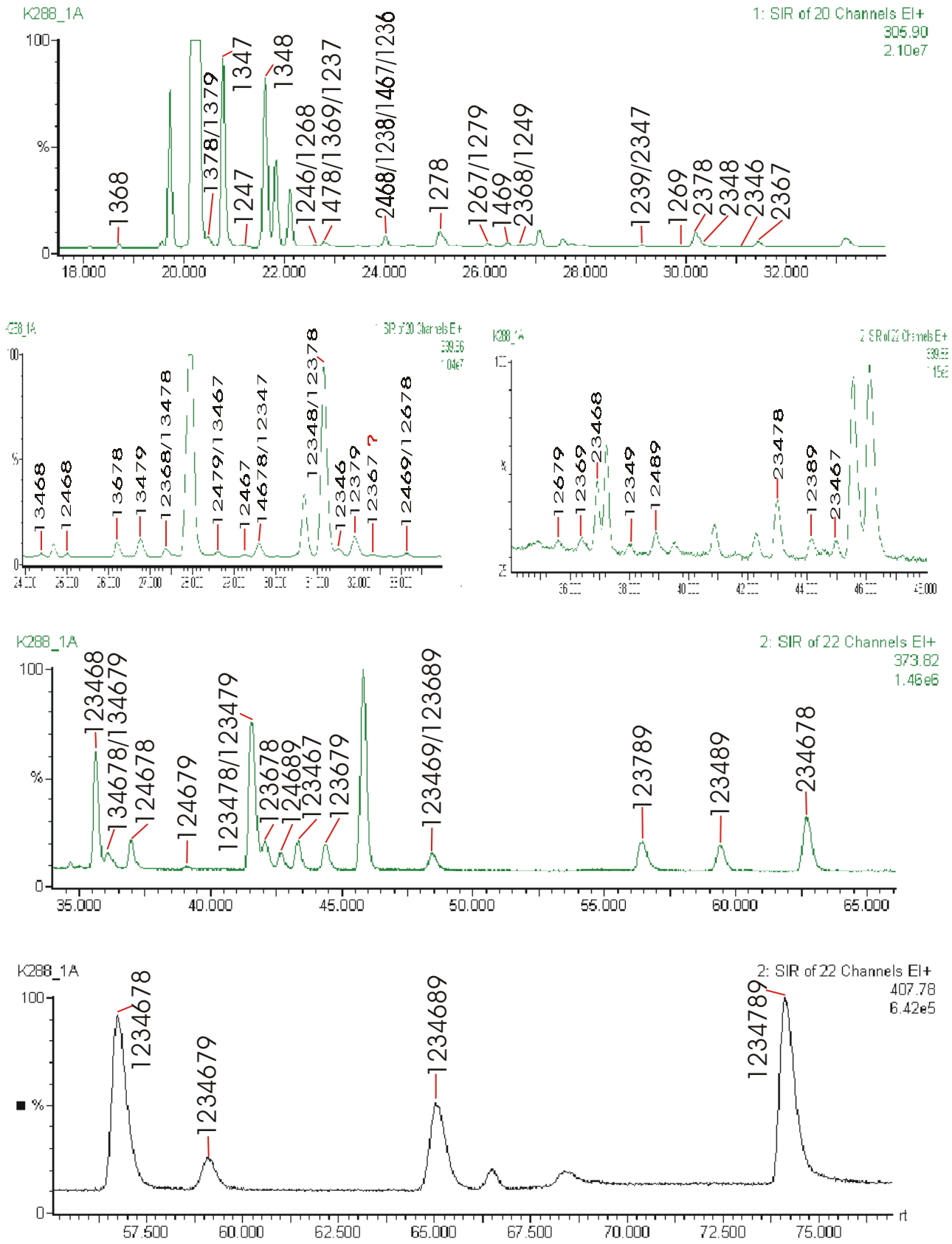


Bild 177 PCDF-Chromatogramm der Probe TX06

10.2 TYPISCHE PCDD/F-CHROMATOGRAMME VON SEDIMENTPROBEN

Im Folgenden sind typische PCDD/F-Chromatogramme von Sedimentproben dokumentiert. Alle Chromatogramme stammen von der Probe WS 35-40.

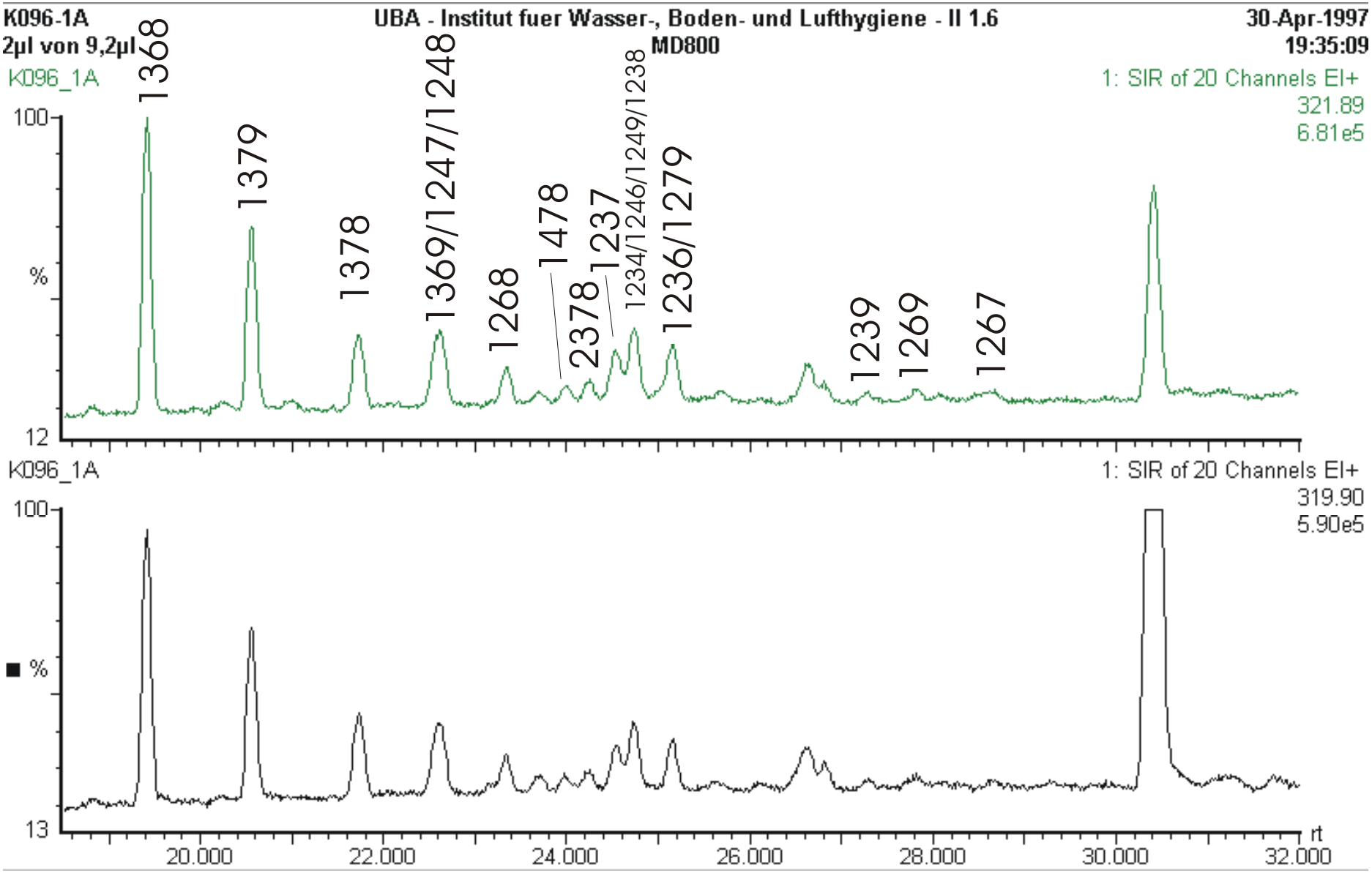


Bild 178 TeCDD-Chromatogramm der Sedimentprobe WS35-40

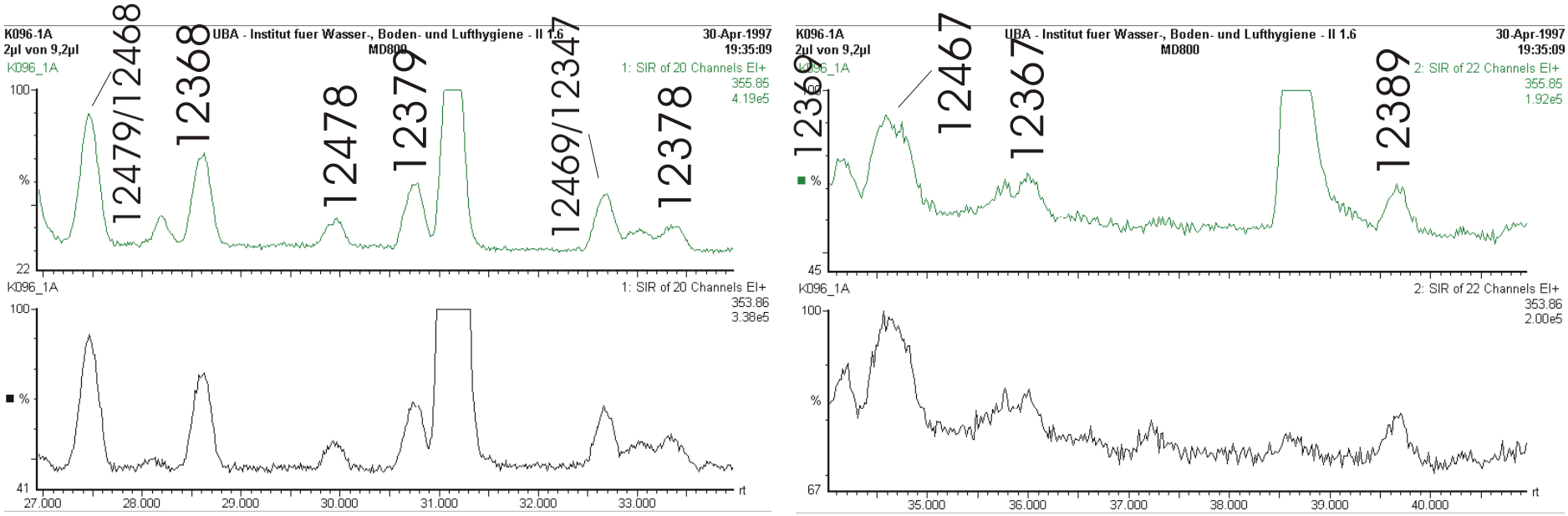


Bild 179 PeCDD-Chromatogramm der Sedimentprobe WS35-40

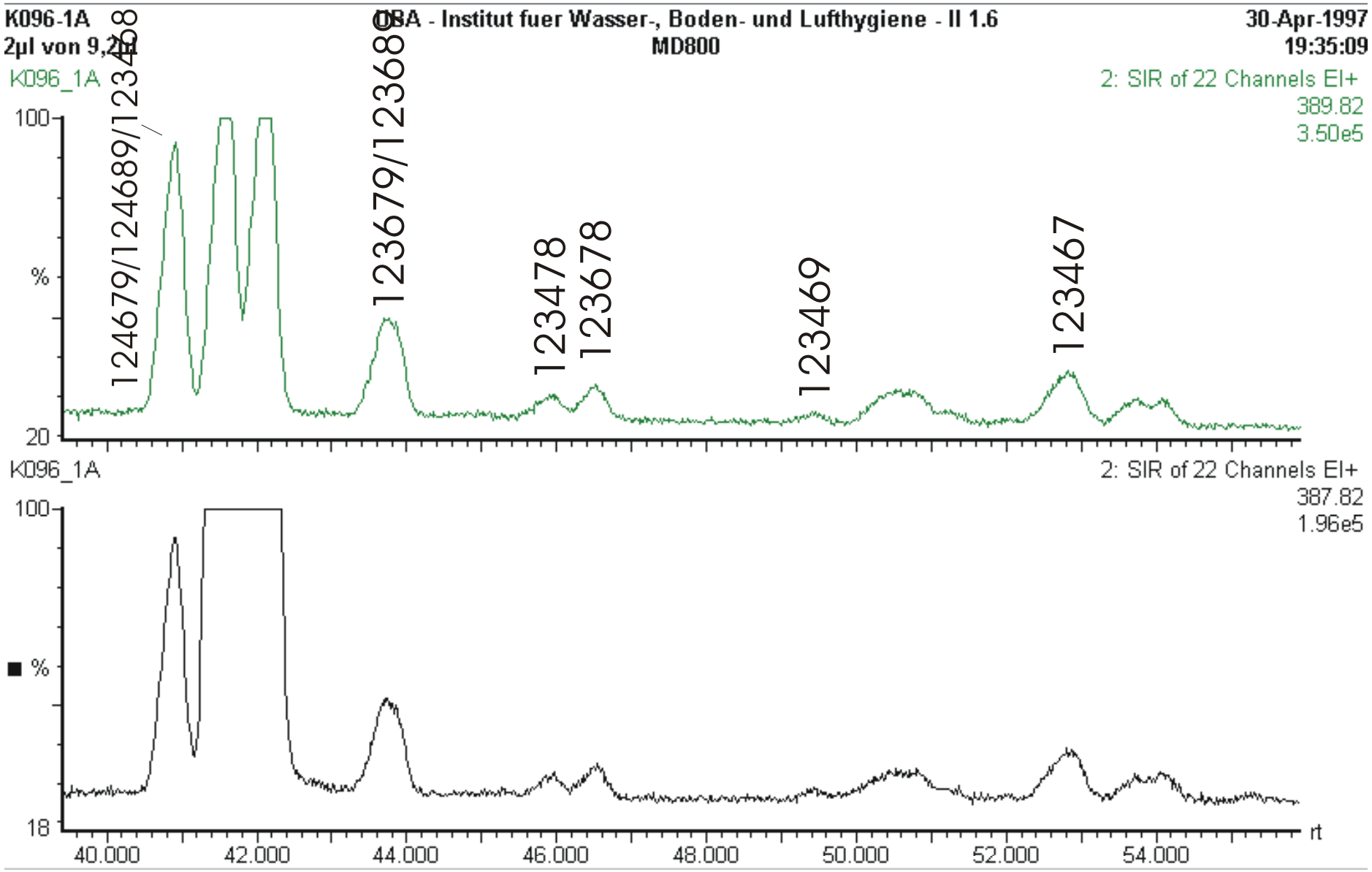


Bild 180 HxCDD-Chromatogramm der Sedimentprobe WS35-40

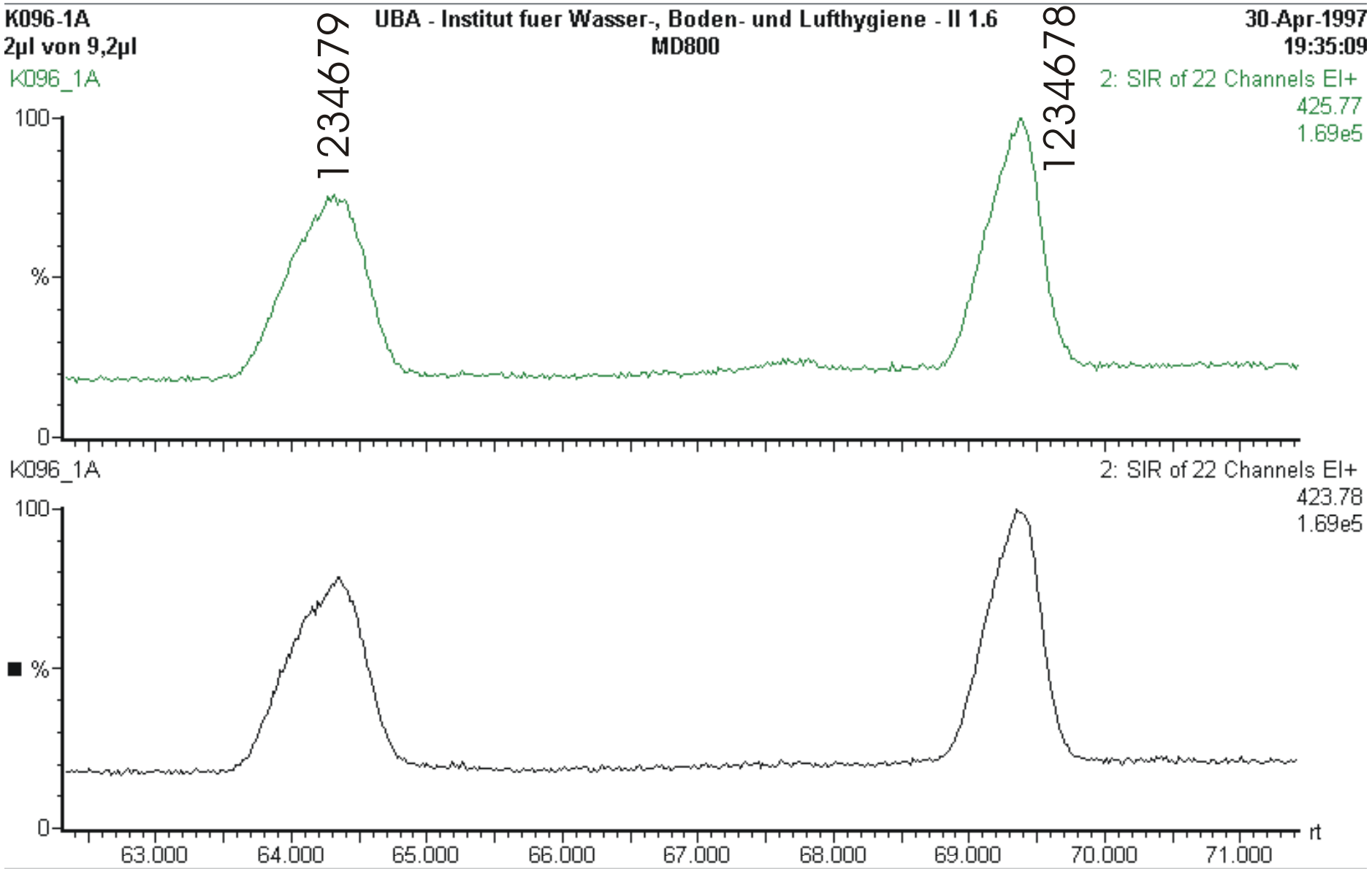


Bild 181 HpCDD-Chromatogramm der Sedimentprobe WS35-40

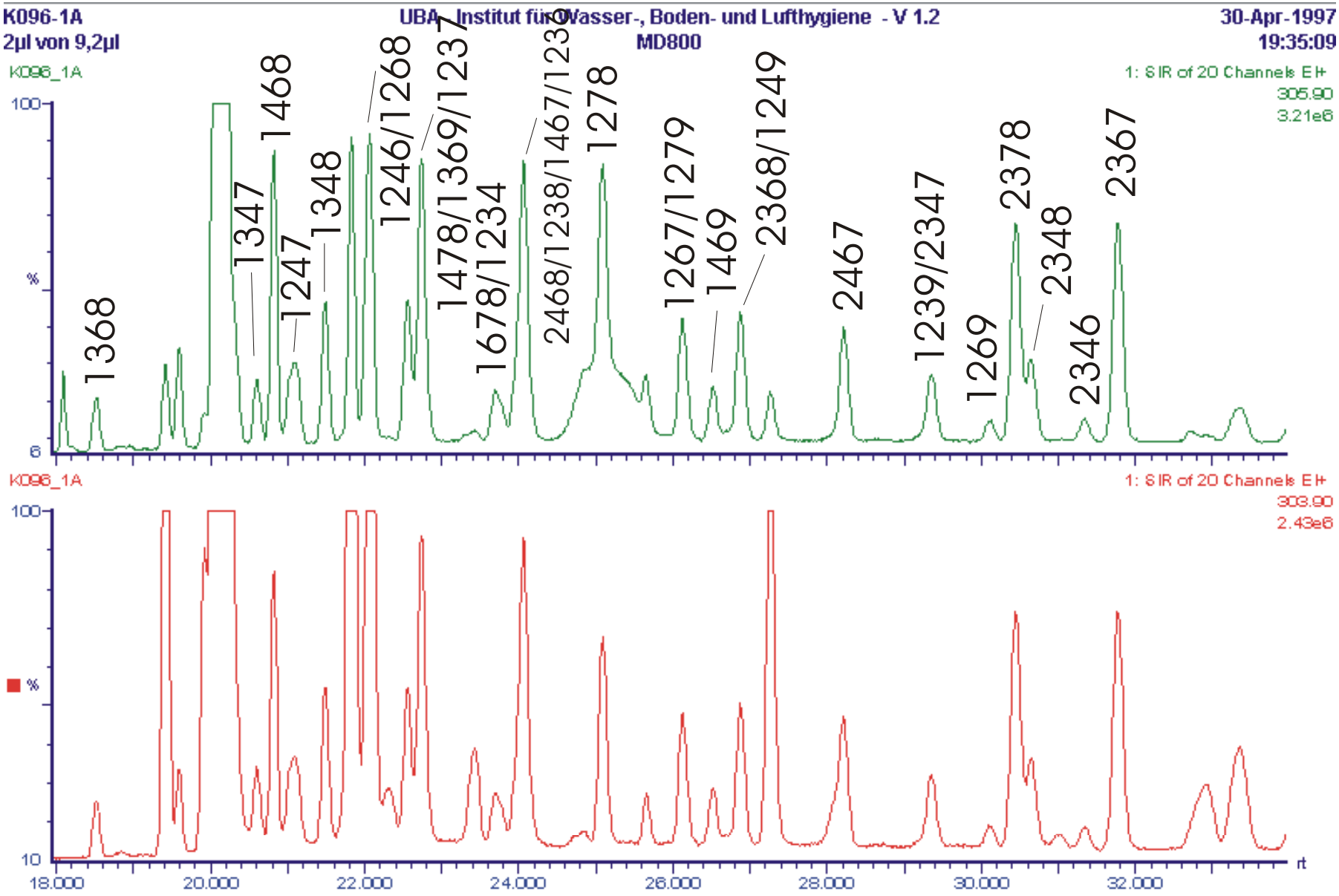


Bild 182 TeCDF-Chromatogramm der Sedimentprobe WS35-40

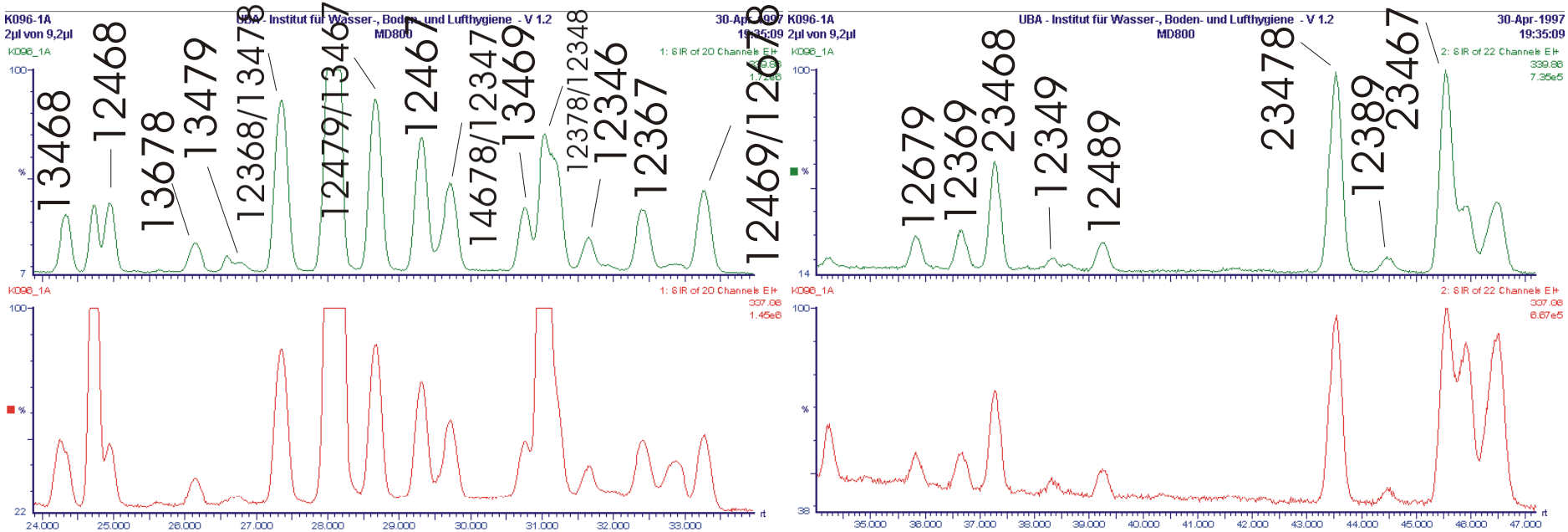


Bild 183 PeCDF-Chromatogramm der Sedimentprobe WS35-40

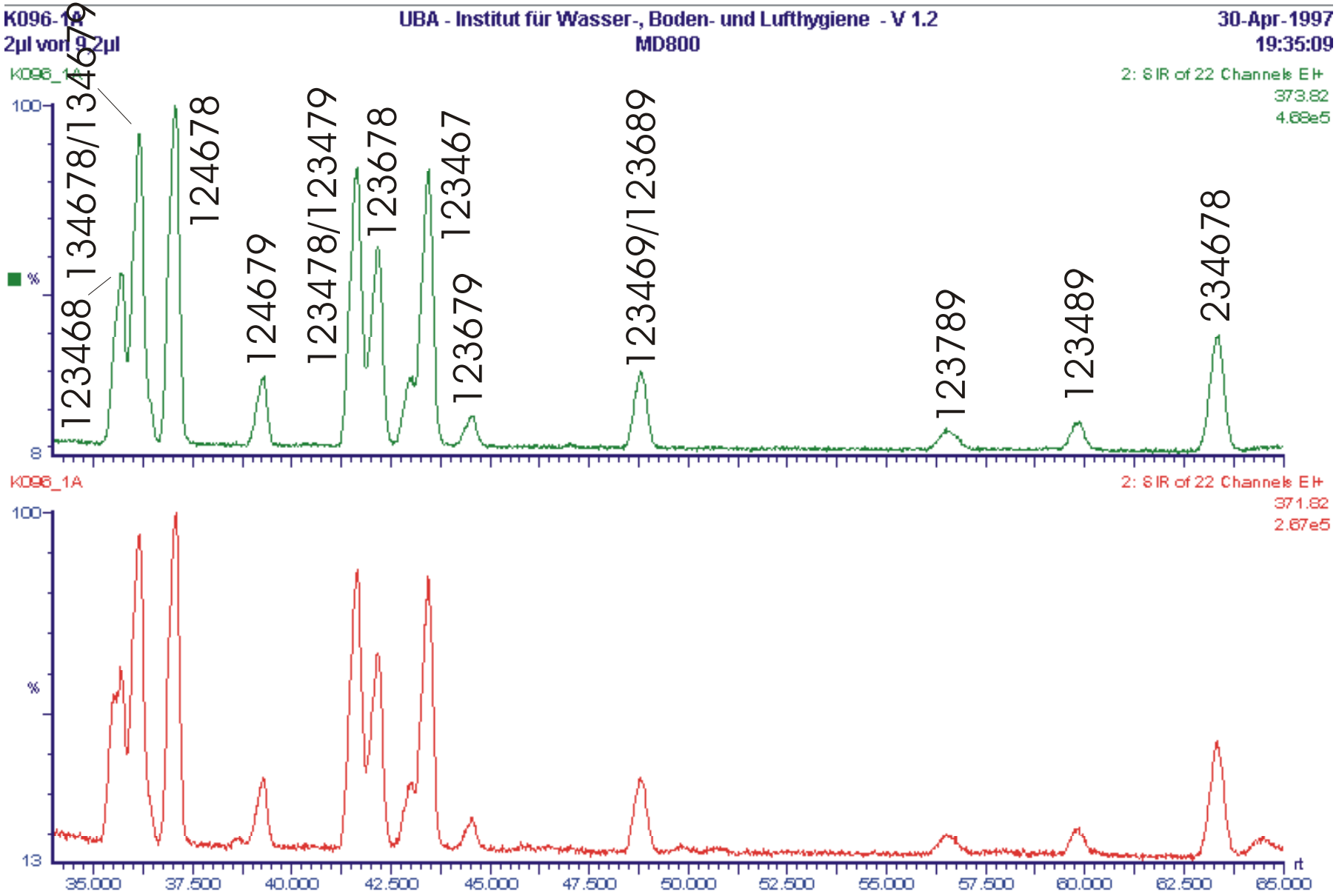


Bild 184 HxCDF-Chromatogramm der Sedimentprobe WS35-40

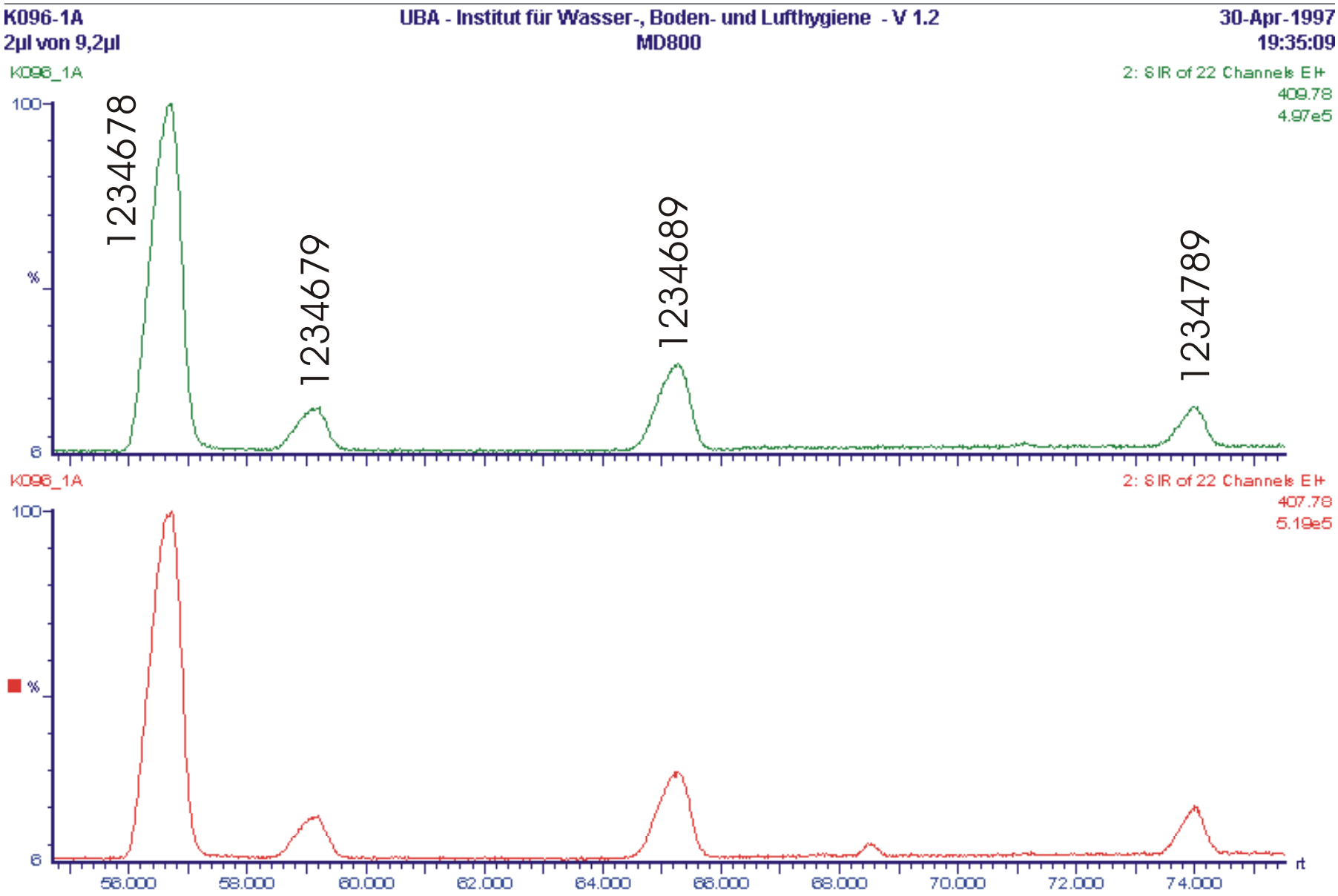


Bild 185 HpCDF-Chromatogramm der Sedimentprobe WS35-40

10.3 BEISPIELHAFTE PCB-CHROMATOGRAMME VON SEDIMENTPROBEN

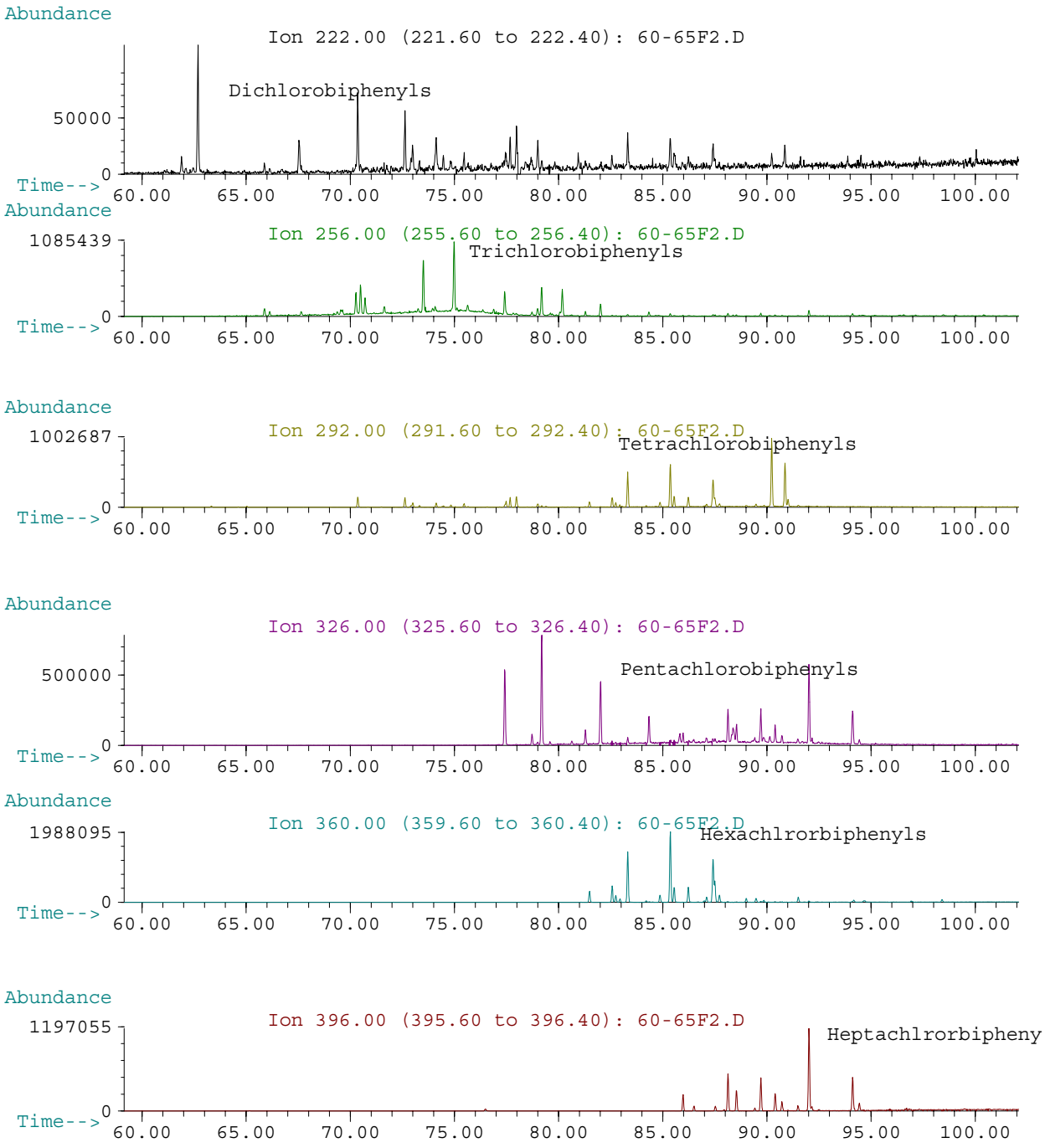


Bild 186 PCB-Chromatogramme einer Probe des Teltowkanals

10.4 BEISPIELHAFTE PAK-CHROMATOGRAMME VON SEDIMENTPROBEN

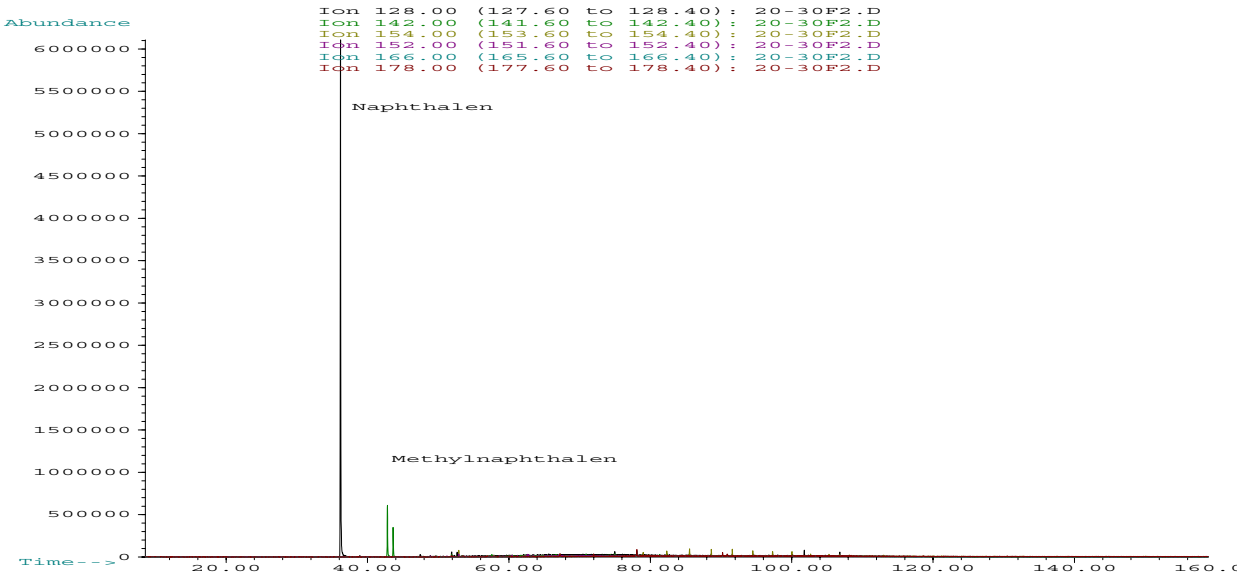


Bild 187 PAK-Zuordnung einer Probe des Teltowkanals (Teil 1)

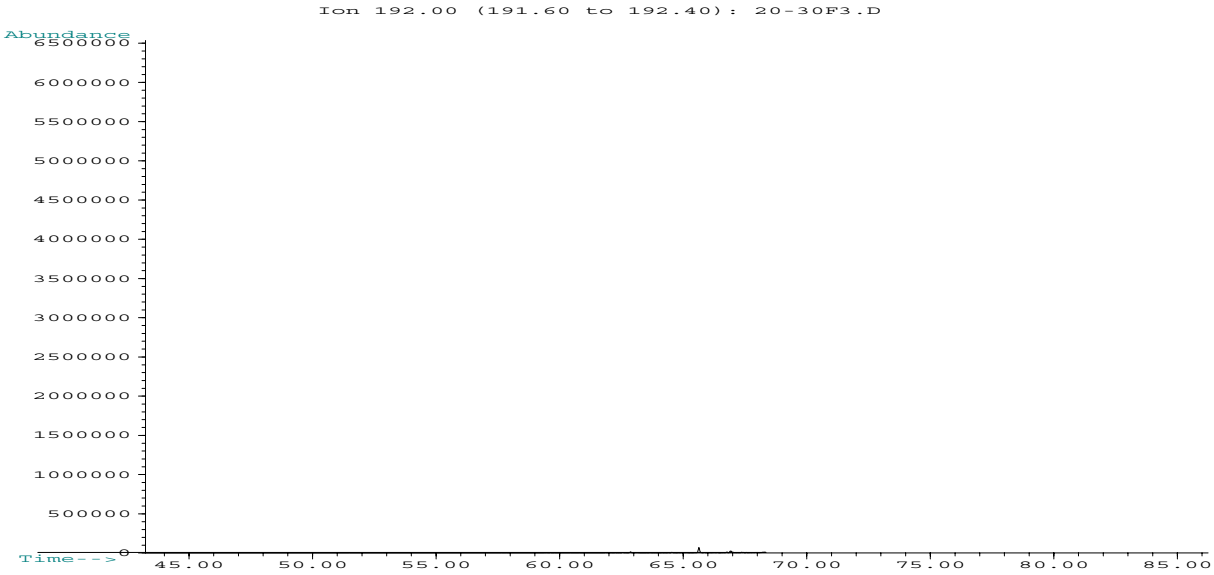


Bild 188 PAK-Zuordnung einer Probe des Teltowkanals (Teil 2)

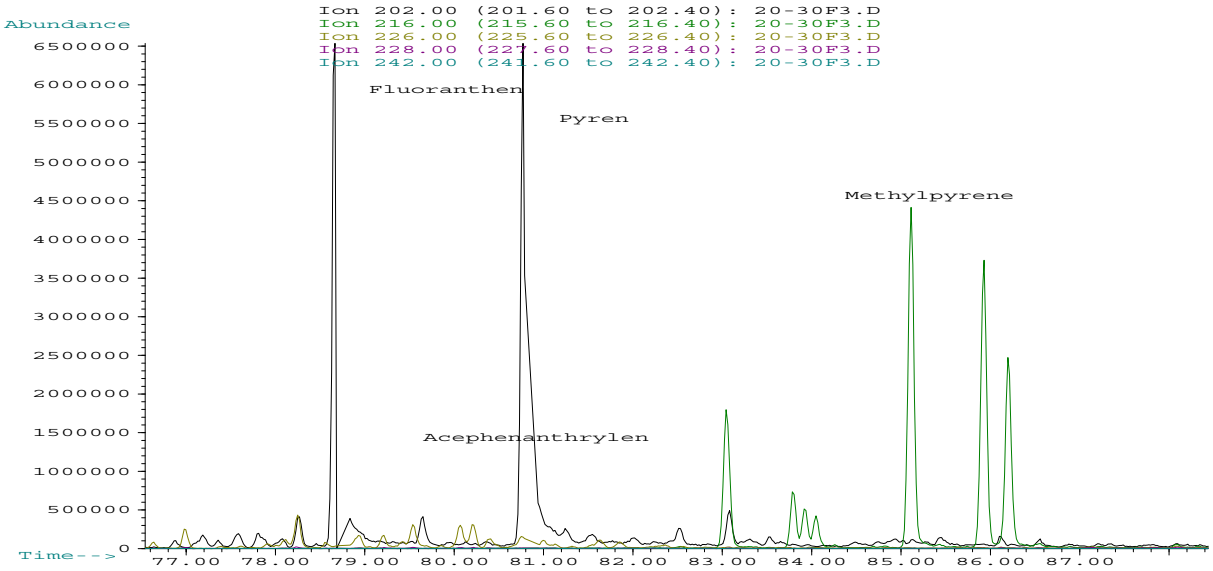


Bild 189 PAK-Zuordnung einer Probe des Teltowkanals (Teil 3)

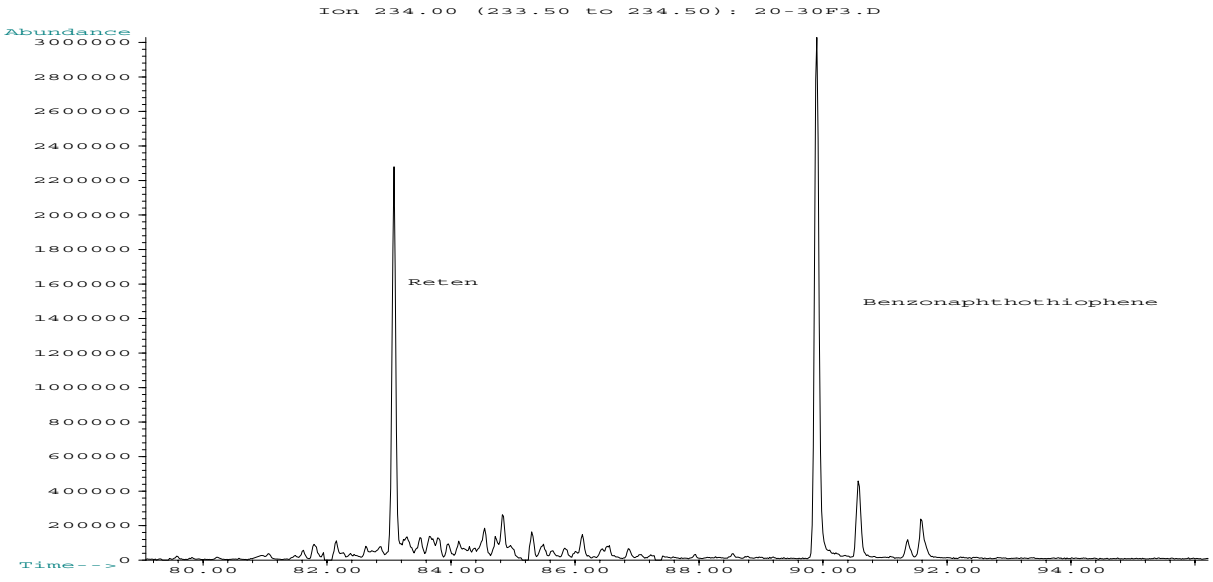


Bild 190 PAK-Zuordnung einer Probe des Teltowkanals (Teil 4)

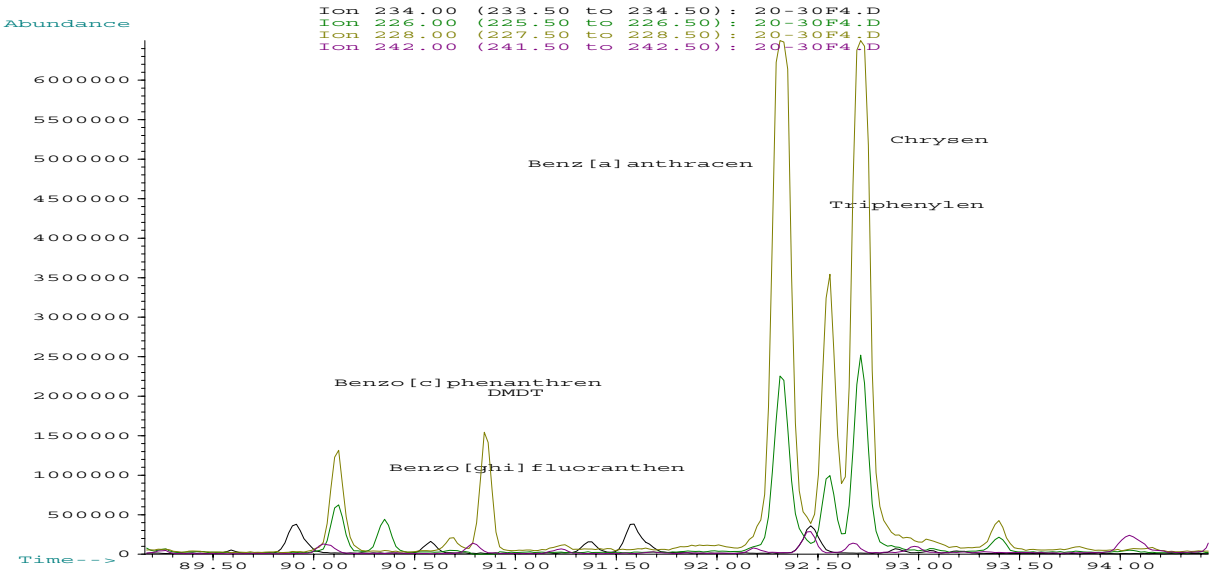


Bild 191 PAK-Zuordnung einer Probe des Teltowkanals (Teil 5)

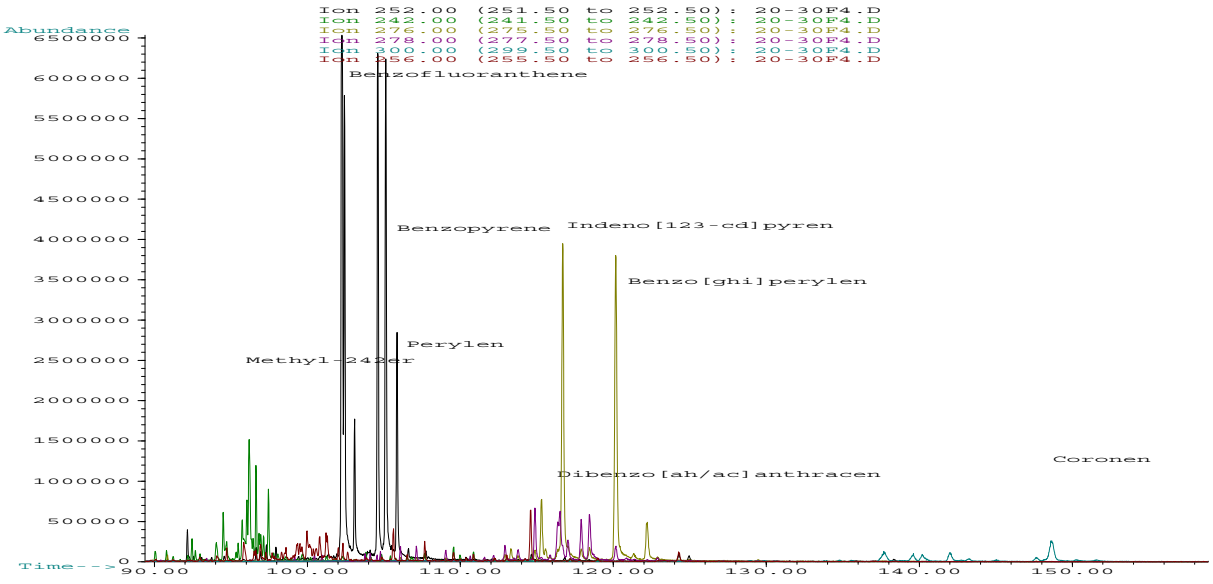


Bild 192 PAK-Zuordnung einer Probe des Teltowkanals (Teil 6)

10.5 BEISPIELHAFTE CHROMATOGRAMME VON PESTIZID-ANALYSEN IN SEDIMENTPROBEN

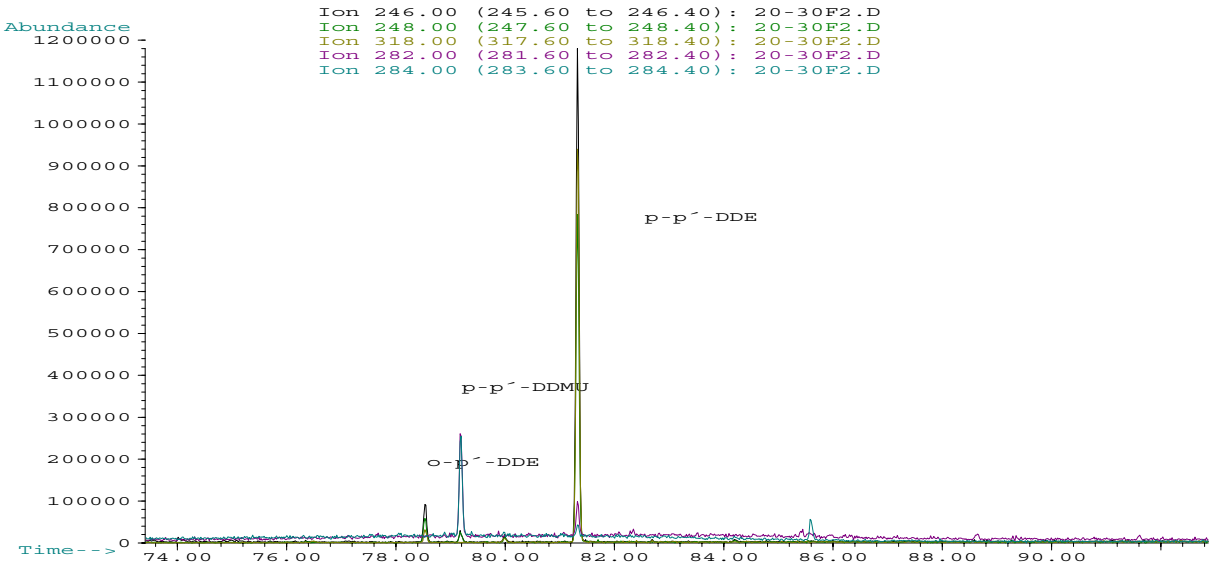


Bild 193 Zuordnung von DDE und DDMU einer Probe des Teltowkanals

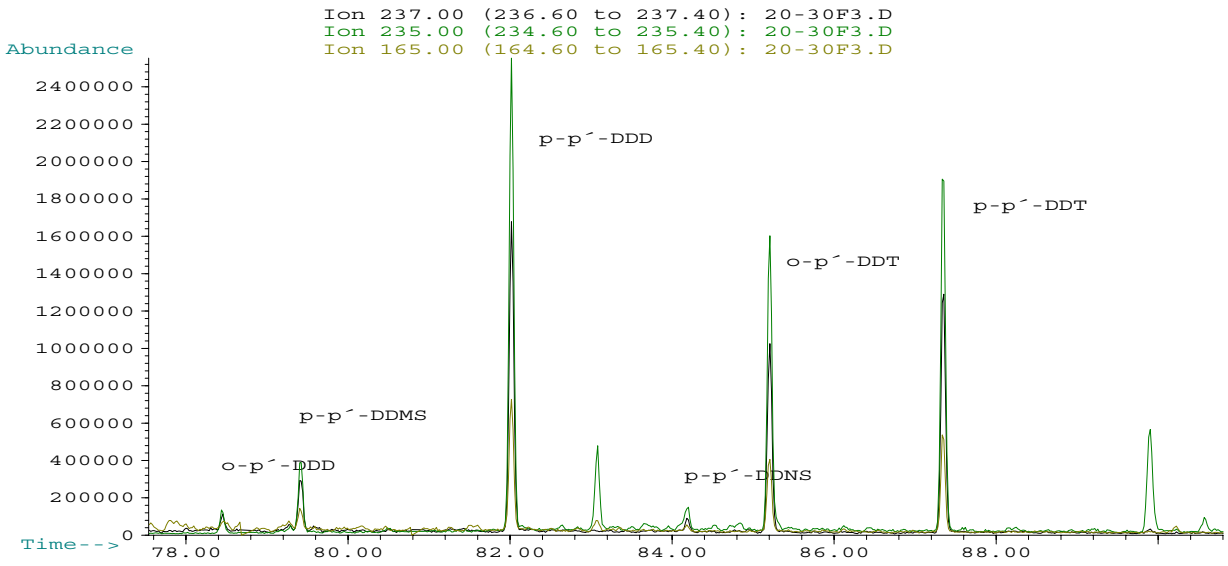


Bild 194 Zuordnung von DDMS, DDD und DDT einer Probe des Teltowkanals

11 ANHANG 3: DOKUMENTATION DER MESSWERTE

11.1 ELEMENTGEHALTE IN SIELHÄUTEN

Die bestimmten Werte werden in **mg/kg T**rocken**m**asse angegeben.

Werte unterhalb der Nachweisgrenze werden mit **n.n.** (**n**icht **n**achweisbar) angegeben.

In einzelnen Proben **n**icht **g**emessene Elemente werden als **n.g.** vermerkt.

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
AB01	17	0,42	42	n.g.	1069	2141	29108	5896	n.g.	1599	20358	244	45	68
AB02	5	0,13	22	n.g.	7767	1510	5303	10501	3124	7110	67163	55	11	27
AB03	11	0,32	9	75	363	2841	8383	705	1719	1153	16403	748	63	59
AB04	4	0,06	36	178	5594	927	1196	1493	2507	1112	203042	35	7	25
AU01	191	0,43	55	n.g.	10871	3468	21510	7957	3170	5298	41610	267	19	121
AU02	6	0,22	228	n.g.	4862	3186	5207	11160	1757	1753	75743	153	14	150
BA01	8	0,23	14	305	511	3460	8260	10434	799	2650	36739	303	19	28
BR01	3	0,40	47	n.g.	4406	1816	17514	17724	n.g.	4024	20466	354	26	67
BR02	2	0,06	10	17	9433	2405	1951	13573	607	10399	46532	73	17	33
BT01	8	0,22	19	n.g.	1023	2046	5825	6432	3717	1545	45515	127	12	52
BW01	9	0,35	8	n.g.	1083	1628	14464	7588	n.g.	1611	35201	148	14	28
CH01	19	0,37	26	n.g.	3508	3900	14265	11097	1481	3400	45585	145	15	31
CH03	7	0,19	14	85	5404	9765	4211	8138	741	20648	142988	124	13	39
CH04	6	0,30	10	96	1486	19513	5858	298	228	1194	139660	311	24	46
DA01	19	0,95	45	n.g.	2242	5331	16213	2285	97	2519	18254	719	86	100
DL01	5	0,20	28	83	1388	18597	7832	5338	731	2231	130002	152	16	45
DP01	1	0,27	142	n.g.	3251	2457	1749	12339	n.g.	2052	45225	80	51	23
DP02	13	0,41	70	327	4218	6212	18991	22807	1133	8556	72038	379	31	98
DP03	3	0,30	49	n.g.	361	985	2882	4324	n.g.	645	23223	41	4	8
DP04	12	0,26	299	n.g.	26775	5842	3944	12426	1623	22211	21350	184	13	30
DP05	10	0,34	42	n.g.	2092	4728	15167	12777	2520	4167	48324	184	18	49
DP06	5	0,43	4	221	172	1677	8264	13034	612	1179	9168	192	59	104
DR01	7	0,26	28	432	1364	2285	9109	66383	1695	4968	79832	251	18	36
DR02	8	0,26	20	469	2663	2477	12634	10064	1343	2701	31775	364	20	26
DR03	5	0,35	34	n.g.	1713	7163	3712	10774	n.g.	2794	32978	247	22	57
DR04	2	0,14	21	n.g.	1528	7291	1909	13062	n.g.	5568	27445	102	13	31
DR05	4	0,22	21	n.g.	985	4496	5810	6531	n.g.	1313	16917	15	2	252
DR06	9	0,46	15	n.g.	976	3664	8171	2289	n.g.	1837	30616	433	24	39
DR07	6	0,31	27	249	1349	3207	8127	8808	1446	3233	31103	231	52	40
DR08	8	0,39	38	66	961	8819	9794	7456	1786	4403	53870	439	18	99
EL01	3	0,15	23	n.g.	954	950	2100	2527	n.g.	640	8457	107	16	65
EL02	13	0,92	23	n.g.	520	2822	9364	2735	n.g.	1354	43073	587	40	159
EL03	3	0,22	34	n.g.	3279	2478	16248	19080	n.g.	2391	51953	144	12	41

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
EL04	4	0,13	94	447	2222	2409	15700	14747	1582	2272	65746	88	106	109
EL05	4	0,01	958	250	43130	2721	213	35630	3414	15534	37241	19	3	8
EL06	5	0,42	30	n.g.	5432	4373	8887	12560	2972	2796	76490	162	9	42
EL07	13	0,36	40	43	1330	17364	6384	3157	505	3046	154488	152	26	45
EL08	6	0,26	35	283	5531	3364	7182	13548	1730	5565	26608	440	19	64
FH02	4	0,26	24	3	2999	2521	8046	19376	1328	1534	54503	140	11	40
FL02	10	0,52	91	27	2241	2006	7625	18051	473	1917	60733	317	1	400
FO01	4	0,14	8	296	1198	2133	7866	11778	1962	4607	25622	149	16	36
FR01	3	0,25	18	670	1359	1768	5329	25808	1788	3799	70639	187	10	24
FR02	15	0,53	28	425	1123	4533	13796	17261	1893	2888	47538	860	36	110
FR03	6	0,27	9	491	632	2374	5744	7897	2096	1576	16400	637	24	51
FR04	6	0,22	23	439	1135	3514	7877	19173	2060	4285	43463	202	12	37
FR05	3	0,12	39	450	2933	3584	17860	14072	2338	5745	89868	131	10	57
FR06	3	0,07	23	313	2062	2800	4950	16406	1742	5824	9964	368	8	14
FR07	4	0,21	49	n.g.	3792	2665	2097	10328	n.g.	5874	9638	455	17	59
FR08	1	0,24	16	n.g.	11447	2971	1928	16581	n.g.	4328	52279	42	3	45
FR09	1	0,41	45	n.g.	1019	1611	3532	10574	n.g.	4141	11019	113	5	227
FR10	3	0,24	28	n.g.	1071	3724	4402	12020	n.g.	3874	60121	107	27	116
FR11	6	0,35	16	n.g.	668	2417	12697	4282	n.g.	1809	28693	158	18	19
FR12	13	0,64	16	n.g.	571	3798	17749	11298	n.g.	2893	11451	464	41	48
FR13	16	0,87	33	n.g.	1480	4334	14670	4601	1436	2264	51387	257	27	33
FR14	3	0,14	32	n.g.	2893	2392	11829	14003	n.g.	8917	28842	67	7	23
FR15	6	0,27	54	n.g.	4025	3051	15959	33363	1991	2038	135351	116	11	48
FR17	5	0,17	47	n.g.	3508	2741	24250	11058	1968	3622	61096	42	11	23
GE01	2	0,05	10	658	13076	1472	400	6849	6942	676	168327	865	5	179
GG01	5	0,73	132	n.g.	978	3480	5622	5436	n.g.	2092	22783	151	14	50
GG02	3	0,25	66	n.g.	12589	2583	9535	38996	n.g.	6644	60845	25	1	428
GG03	6	1,18	29	n.g.	2698	2373	28137	25507	4021	2859	45296	190	36	121
GG04	5	0,26	22	n.g.	3269	2376	6852	25276	3150	3390	52656	178	22	49
GG05	4	0,18	17	n.g.	438	6232	3641	7714	1885	927	51787	268	23	44
GG06	4	0,10	55	n.g.	6460	2968	12362	11227	539	4758	35348	121	17	111
GG08	8	0,20	43	73	32496	2639	10603	10952	923	8607	15384	159	17	30
GG10	81	0,72	32	n.g.	4238	17284	20811	6856	3479	2983	48275	105	23	50

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
GG11	9	0,42	29	n.g.	2363	3954	19510	11236	n.g.	4659	39671	180	14	42
GR01	1	0,13	31	528	967	2458	13347	5265	4030	3406	35797	255	7	27
GR02	2	0,05	28	626	454	1044	5334	2686	2980	2135	49574	111	3	16
GR03	2	0,19	84	621	2036	1682	9968	9983	4626	3570	26139	131	2	30
GR04	4	0,23	92	582	4964	2673	14466	6945	6155	2045	44289	162	4	39
GR05	2	0,16	45	546	919	3122	4354	59412	3638	6391	79777	129	7	73
GR06	0,2	0,03	32	n.g.	451	2750	923	60683	n.g.	2901	86398	24	3	12
GR07	4	0,19	28	n.g.	2853	2408	26531	15367	n.g.	5083	37510	63	11	23
GR08	1	0,02	41	n.g.	5067	2080	2186	5252	1409	4374	22894	36	1	24
GR09	1	0,03	48	n.g.	5430	2407	2730	6111	1681	3911	24975	34	2	26
GV01	7	0,13	100	n.g.	43714	5127	19740	12864	n.g.	17410	53159	73	6	28
GV02	3	0,14	22	430	920	3339	8146	44243	2080	8643	40447	165	9	36
GV03	16	0,48	23	448	523	2865	9664	7427	1753	1053	41736	454	12	218
GV04	10	0,48	88	479	1747	4748	4403	5637	3620	1799	3940	330	1	802
GV05	1	2,54	115	442	11851	1961	4781	15439	3864	2006	227040	436	45	412
GV06	14	0,66	38	487	1567	3953	14826	22456	2053	5423	49852	919	41	76
GV07	20	0,40	47	275	3035	8063	12076	4580	791	2468	70339	549	91	138
GV08	14	0,69	27	n.g.	994	30376	12135	2305	n.g.	2994	139050	291	50	162
GV09	5	1,81	251	n.g.	2677	29931	4588	11252	n.g.	6081	133911	85	25	340
GV10	3	0,17	14	n.g.	392	4372	38859	8715	n.g.	461	214570	44	10	335
GV11	6	0,54	1231	n.g.	69167	2281	7973	7443	n.g.	28608	33577	69	32	1980
GV12	4	0,17	45	n.g.	13661	2631	22127	13965	n.g.	5908	47731	92	7	25
GV13	14	0,51	26	162	2200	31420	11899	1838	612	2714	117034	532	49	111
GV14	6	1,16	129	185	3959	36553	2642	5788	503	19823	108604	109	1	459
HA01	13	0,49	15	288	869	5137	14569	5367	989	3141	16960	569	48	328
HA02	4	0,20	26	985	4710	2072	3771	3931	1764	2511	13153	365	52	42
HL01	10	0,47	25	n.g.	2520	4901	21259	11082	n.g.	3991	65437	283	18	45
HZ01	8	0,34	38	254	2427	4119	9717	22568	1580	5058	31328	360	19	25
KH01	4	0,19	74	n.g.	4008	2945	7289	40248	2829	3404	91260	85	13	49
KH03	2	0,10	50	653	5011	1829	3136	67128	2144	6215	88414	109	12	23
KH04	8	0,18	14	337	1558	4007	7379	24707	1032	5034	51238	312	18	35
KH05	11	0,31	24	291	1632	4860	15523	13686	1025	2783	62562	329	24	33
KH06	1	0,16	21	n.g.	616	1594	1052	12177	n.g.	3187	29316	33	3	8

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
KH07	2	0,06	11	n.g.	2500	4058	2978	28801	1434	4165	90497	38	2	20
KH09	4	0,39	49	254	2287	2723	9150	17181	1065	11059	26050	74	15	22
KH10	7	0,41	20	266	1595	3587	23085	8563	1242	3855	37664	224	28	59
KH11	8	0,53	18	254	304	1581	8295	4881	670	1521	32557	188	30	44
KH12	8	0,31	28	13	2225	23598	11205	5889	357	2379	119014	227	21	55
KH13	5	0,22	33	207	1116	16107	6568	5112	841	3244	120794	134	26	30
KH14	24	0,16	25	39	3035	8547	8142	6589	464	3462	82940	156	12	34
KL01	2	0,17	18	n.g.	1212	755	2716	9216	3776	4650	4870	1004	8	12
KL02	6	0,23	68	n.g.	1430	2857	16549	25515	n.g.	5352	25229	173	13	43
KL03	3	0,15	49	n.g.	3247	2347	14126	14111	n.g.	2903	37605	79	8	15
KL04	4	0,18	125	n.g.	9647	7039	12676	40149	n.g.	10200	42978	285	10	17
KL05	8	0,43	61	n.g.	1161	5411	27924	36635	n.g.	3146	63694	381	23	39
KL10	16	0,44	46	271	1587	2921	18722	32679	998	4448	29219	302	31	38
KL11	10	0,32	42	238	1906	2833	23170	35495	998	3683	33684	170	19	28
KL12	12	0,34	47	226	2080	4195	25436	46225	976	6199	32400	203	28	42
KL13	2	0,14	55	n.g.	5173	1679	13816	7972	n.g.	3413	25021	37	6	22
KL14	6	0,21	452	n.g.	32825	5252	7429	22279	n.g.	17116	35666	41	8	109
KL15	9	1,55	81	59	8446	4650	38852	27089	1107	8626	51879	168	16	37
KL15a	6	0,09	82	327	5393	1354	2438	1286	3076	2925	201779	87	29	33
KL16	3	0,12	47	51	3837	2192	10213	6134	886	2135	22951	101	8	24
KL16	3	0,11	47	51	4205	2230	10760	7166	941	2339	23318	143	9	27
KL17	3	0,10	1	n.g.	2607	2056	20924	14264	494	2898	28690	61	8	15
KO01	6	0,15	21	461	2685	2830	7003	23065	1750	4848	20285	138	12	53
KO02	0,1	0,31	8	209	462	328	592	2244	288	219	29786	23	55	7
KR01	13	0,42	39	153	768	6159	9858	6527	736	2853	19354	753	36	245
KR02	14	0,37	46	11	11325	10890	10816	6841	1001	3145	64754	186	114	291
KS01	12	0,31	9	307	521	8828	7082	8465	927	2885	119735	861	40	68
KT01	3	0,14	28	n.g.	9113	12218	3250	12649	n.g.	14778	51535	40	11	8
KU01	12	0,55	35	n.g.	1648	4366	18670	14023	3754	2545	74236	431	29	107
KV01	10	1,24	29	n.g.	965	2710	23798	14312	2672	3998	34612	111	38	122
KV02	15	0,59	80	n.g.	675	41265	9710	6361	n.g.	3143	16494	394	27	134
KV03	8	0,32	5	n.g.	610	4723	4408	2215	n.g.	948	205198	115	17	82
KV04	7	0,38	18	161	851	3336	6563	3354	612	1980	21864	412	76	82

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
KW01	28	1,11	28	n.g.	3487	7250	19547	5042	n.g.	4913	29995	1515	87	94
KW02	28	1,01	31	n.g.	1125	8486	19401	1944	n.g.	3449	23895	1276	90	106
KW03	14	0,65	31	n.g.	1230	2014	14381	3432	7039	4237	19405	613	63	153
KW04	11	0,54	21	n.g.	1529	3361	8498	7442	n.g.	3580	16421	517	55	123
KW05	16	0,64	51	n.g.	734	3781	19795	4001	n.g.	10200	4184	859	36	68
KW06	25	1,00	24	n.g.	3409	8246	26860	10647	n.g.	4879	36934	872	37	190
KW07	18	0,73	26	n.g.	2754	5150	14118	11729	n.g.	5659	40056	798	60	87
KW08	25	1,02	22	n.g.	746	8289	22049	1446	n.g.	2853	12770	1000	78	276
KW09	11	0,55	24	n.g.	1168	3783	14485	26384	2640	3296	59045	344	31	156
KW10	10	0,87	122	n.g.	2664	3383	7277	22062	2472	3922	63170	264	34	57
KW11	7	0,45	35	646	1198	12196	19752	10246	1746	2417	83643	174	20	48
KW12	2	0,85	36	483	341	9032	35452	35009	1727	4738	55071	2621	57	144
KW14	9	0,32	30	586	579	16386	19174	16282	3328	2116	95328	289	28	203
KW15	5	0,20	6	823	153	10966	3218	2890	5528	781	51413	186	38	146
KW17	5	0,07	23	750	1005	18448	8378	6945	7352	2283	95203	407	1	227
KW18	7	0,24	34	731	332	10645	5613	10370	4243	2662	71484	271	1	234
KW20	4	0,08	13	629	375	16368	8240	1983	5625	1702	101889	378	1	267
KW21	6	0,23	17	656	226	2730	5980	19703	8961	1103	15235	113	20	60
KW22	1	0,06	13	666	577	7144	6864	32291	4335	4803	62556	307	16	267
KW23	3	0,15	20	711	1074	2157	5974	2732	6524	1441	40459	164	12	58
KW24	4	0,04	10	634	350	6975	8261	4946	4804	2577	36282	272	1	254
KW25	4	0,05	11	599	257	9466	9571	3436	5493	1958	61848	269	1	198
KW26	11	0,31	171	n.g.	627	5073	15266	2423	n.g.	1059	43745	310	20	252
KW27	20	0,61	101	n.g.	4748	4555	17968	3415	3148	16941	49587	329	53	44
LA01	6	0,13	35	470	2614	3864	7641	13070	1732	5160	32172	265	12	200
LA02	6	0,11	41	n.g.	4305	4460	6554	10794	407	5900	32729	155	19	67
LP01	6	0,32	25	279	4178	2667	10616	11971	1342	4100	22705	406	21	51
ME01	2	0,09	34	n.g.	6044	1756	4212	19668	3900	1261	68227	64	10	557
ME02	8	0,45	47	n.g.	1058	1652	7807	11728	n.g.	1745	35953	227	19	34
ME03	12	0,67	24	n.g.	792	3861	9031	5306	n.g.	2700	73049	776	49	58
ME04	4	0,13	15	330	1232	2618	5241	32669	1180	5757	31763	110	13	61
ME05	13	0,52	30	266	2047	2078	6902	29379	1105	1596	39876	296	25	88
ME06	41	0,45	31	263	1738	2723	6995	34955	1695	1672	48345	319	27	120

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
ME07	6	0,23	27	276	2181	2636	6709	53356	3059	1524	57521	228	20	145
ME08	2	0,09	74	n.g.	886	5402	87305	13585	n.g.	158	264589	13	18	605
ME09	14	0,48	78	n.g.	917	20060	15519	7868	n.g.	4226	53800	182	26	110
ME10	10	0,26	33	n.g.	1099	5214	8091	7048	n.g.	5435	22313	140	19	83
ME11	14	0,85	180	n.g.	7663	3896	111440	10883	n.g.	1610	20368	174	33	101
ME12	9	0,54	62	n.g.	2609	5571	24433	13830	n.g.	3085	40762	86	1	7746
ME13	7	0,48	25	n.g.	1556	4519	19142	5424	2749	1933	65309	174	16	25
ME14	6	0,29	35	n.g.	775	4513	19489	7711	n.g.	2622	34052	283	15	54
ME15	3	0,15	33	81	823	3601	7555	20592	600	3150	71362	112	8	107
ME17	5	0,20	47	n.g.	2156	4066	23554	12889	n.g.	4267	44332	68	13	23
ME19	10	0,34	12	315	2262	5857	11142	2684	1006	3334	11228	313	40	148
ME20	6	0,31	9	111	284	2067	4351	614	347	550	8241	594	67	34
ME21	4	0,12	642	108	6406	3665	931	41368	1294	3051	191473	58	2	241
ME22	3	0,06	8	307	1715	790	2423	2562	1584	1331	16540	63	12	62
ME23	4	0,29	30	305	1549	1844	6817	4764	732	2966	17689	171	70	96
ME24	8	0,46	18	277	882	3341	49131	2300	791	1987	9788	386	57	166
ME25	5	0,26	35	258	2351	3288	5859	11952	1066	7373	21292	224	28	174
ME26	3	0,09	74	82	4258	3953	7447	13987	883	7553	28807	95	10	113
ME28	9	0,29	44	56	3383	12784	27055	10356	623	3137	80415	93	18	42
ME29	2	0,10	18	51	2522	6448	14304	4105	491	1393	81006	60	6	20
ME30	11	0,40	23	154	2982	21181	7792	773	478	1828	148816	417	35	75
ME31	3	0,05	25	80	158	1163	1263	506	1687	713	52567	84	2	26
ME32	11	0,20	15	52	571	9684	4761	6186	582	1019	84614	157	25	353
ME33	9	0,31	20	85	624	27873	6491	2675	425	2401	135539	309	22	76
ME34	8	0,25	23	81	2198	13161	5039	10166	1076	2576	104136	116	17	84
ME35	16	0,72	33	35	1750	19563	18784	6778	432	5150	96945	322	29	48
MI06	3	0,14	10	450	209	505	2333	1018	928	538	2392	235	7	153
MI07	7	0,15	36	457	3415	4339	7452	16478	1975	5032	29248	209	17	180
MI08	12	0,31	17	485	1058	6856	6020	25614	1495	5568	73614	712	32	40
MI09	25	0,49	37	320	1928	6690	22711	16866	1079	5091	49782	501	41	47
MI10	15	0,38	44	269	1607	4365	17823	17510	1145	4325	42197	320	27	37
MI13	4	0,22	38	n.g.	3931	2708	10690	12797	n.g.	5248	24334	64	19	40
MI14	6	0,89	25	n.g.	955	3319	20658	13947	n.g.	2152	59796	139	26	32

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
MI15	16	0,32	27	n.g.	1559	805	4358	1104	n.g.	1736	41458	167	25	9
MI16	10	1,10	72	n.g.	1836	3378	23049	27087	n.g.	2557	76033	135	1	12343
MI17	3	0,15	53	n.g.	2900	2367	16874	14517	n.g.	6114	23467	68	8	16
MI18	10	0,45	34	n.g.	3096	4363	21744	8291	n.g.	4227	48641	315	35	49
MI19	8	0,20	27	n.g.	9020	9926	4807	6170	n.g.	10371	50531	117	22	87
MI20	8	0,20	26	n.g.	10642	10369	4529	4986	n.g.	8307	53302	121	25	85
MI21	8	0,32	22	n.g.	631	21830	8892	4042	n.g.	1978	145138	77	16	30
MI24	2	0,10	42	n.g.	1123	1243	5344	3635	n.g.	1586	28723	80	10	21
MI25	4	0,18	21	n.g.	1797	1876	8235	9517	n.g.	2393	79248	23	10	33
MI26	5	0,23	31	n.g.	2277	3197	21895	9052	n.g.	2864	40475	125	13	25
MI27	8	0,36	35	n.g.	1825	3587	18595	8172	n.g.	3019	33328	208	20	36
MI29	0,5	0,02	8	n.g.	326	305	1883	1230	n.g.	504	21393	12	2	6
MI30	4	0,17	32	n.g.	1497	1492	9492	4268	n.g.	2355	37914	81	7	17
MI31	6	0,28	33	n.g.	3259	2540	11358	9561	n.g.	3085	28731	133	17	40
MI32	6	0,31	37	n.g.	2423	2803	13503	8450	n.g.	3504	35138	130	18	28
MI34	14	0,71	30	n.g.	2844	4957	13897	6297	n.g.	3977	59690	357	41	67
MI35	12	0,56	24	n.g.	1491	2787	8677	4978	n.g.	1450	40008	286	28	54
MI36	5	0,24	21	n.g.	520	16549	7109	2599	n.g.	1986	93749	113	15	41
MI37	8	0,27	24	n.g.	507	16932	6297	2450	n.g.	1689	105409	134	16	152
MI38	4	0,17	63	n.g.	3461	7865	12550	13912	n.g.	4929	49007	66	9	35
MI39	12	0,52	21	n.g.	358	24005	14583	4378	n.g.	3160	118466	208	32	63
MI40	11	0,49	47	n.g.	681	15902	16945	5177	n.g.	3211	105560	264	22	77
MI41	9	0,33	36	n.g.	1552	15995	15657	8344	n.g.	4307	91330	80	22	58
MI42	8	1,09	33	n.g.	1058	1712	2751	516	n.g.	2784	102302	47	8	7
MI43	10	0,39	25	n.g.	583	37253	12599	3186	n.g.	1982	148216	158	21	225
MI44	5	0,42	46	n.g.	129	6488	13200	1295	n.g.	3232	108766	301	19	14
MI45	13	0,49	42	n.g.	931	16541	21335	9498	n.g.	2786	65643	109	28	98
MI46	15	0,63	76	n.g.	4142	4949	27521	11014	n.g.	6808	34703	144	34	200
MI47	4	0,23	72	n.g.	1196	2580	14719	11337	1004	5790	30278	208	30	42
MI48	66	0,40	30	n.g.	4758	3148	16148	22637	2559	2858	63547	204	29	122
MI50	5	0,16	33	n.g.	3065	2439	14883	14034	1696	9391	24507	106	9	19
MI51	8	0,29	61	n.g.	2519	6282	18428	11990	n.g.	3807	85230	118	13	35
MI52	3	0,27	44	n.g.	3830	2166	21376	12085	1812	3122	35748	27	6	265

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
MI53	2	0,15	18	1301	382	2387	5851	2213	2027	2139	14773	118	27	21
MI54	2	0,12	37	627	1042	4138	11729	11654	1631	3987	26224	150	7	27
MI55	12	1,33	81	451	346	8969	23561	8235	1742	3646	37080	825	29	69
MI56	1	0,05	26	n.g.	2015	2089	7326	9491	1536	3987	70093	24	2	9
MI57	3	0,16	38	720	1511	7205	7698	10341	1806	5035	44152	240	20	45
MI58	5	0,18	20	522	1171	10195	7090	8252	1436	2440	110337	214	12	52
MI59	1	0,06	17	n.g.	1002	2242	7859	6153	n.g.	1636	55855	35	3	10
MI60	1	0,29	13	n.g.	1700	3923	2806	13101	1350	12767	22735	98	4	27
MI61	13	0,98	25	490	392	14990	28908	1860	1095	10202	91809	1802	33	51
MI62	0,2	0,04	22	772	504	2401	3973	2552	1357	804	52869	43	4	11
MI63	7	0,27	40	483	949	20165	14898	6342	1181	2089	106880	331	20	56
MI64	7	0,25	25	619	1365	16992	16173	5690	1152	4218	154622	131	17	21
MI65	1	0,04	14	744	511	2193	4465	2700	1194	1031	75002	43	5	12
MI67	8	0,31	33	n.g.	4663	4481	24031	13178	1578	3955	47697	149	15	56
MI68	10	0,26	45	128	6624	6991	18608	8370	732	4826	72934	227	19	29
MI72	7	0,56	59	295	5607	4003	3572	4686	1836	4458	191746	200	55	26
MI73	7	0,41	13	164	609	3084	5948	1395	506	880	12897	401	80	41
MI74	3	0,69	13	230	1139	2818	12476	6853	1625	3497	49500	105	11	94
MI75	14	0,30	26	651	1981	2025	9144	3831	3205	3804	8853	480	48	64
MI76	7	0,27	13	261	757	2245	10350	4216	1918	1357	55849	224	34	44
MI77	4	0,22	27	60	1162	2751	18220	10400	1506	1927	56537	108	8	55
MI79	7	0,23	41	n.g.	3315	3646	14631	9990	602	4319	39774	201	17	58
MI81	9	0,28	4	n.g.	1172	3501	13773	4069	341	2297	36324	259	19	27
MI83	11	0,28	15	n.g.	2074	4418	22648	7874	741	3284	43413	201	24	30
MI85	10	0,35	31	102	1711	27517	8157	1654	416	2508	145321	318	54	83
MI86	1	0,07	15	54	1735	1774	7508	7175	884	3653	85807	39	2	12
MI87	3	0,30	16	56	1414	3734	20155	9967	388	1649	33518	255	13	16
MI88	5	0,21	40	65	3107	11532	14488	11264	743	4155	102407	157	13	47
MI89	3	0,11	16	139	6455	2577	10026	5250	567	4339	43914	95	7	15
MI90	6	0,06	24	90	2288	4102	11919	10864	428	3804	47700	23	3	11
MI91	33	0,44	29	100	23178	22722	18610	3271	472	2168	131228	751	36	74
MI92	5	0,19	48	66	10369	7430	5204	2391	938	4291	62892	173	14	17
MI93	4	0,16	40	48	1178	5765	13915	14172	928	5395	31470	78	12	22

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
MI94	2	0,11	29	62	1728	4632	12709	7845	713	5703	86745	29	5	10
MI95	4	0,22	18	66	1601	3805	11026	3444	1306	2840	71106	412	18	23
MI96	6	0,21	35	47	2819	10375	19908	9845	622	4374	85157	90	15	43
MI97	4	0,19	41	60	2306	7063	20357	13023	791	2868	94182	57	7	39
MI98	4	0,16	37	87	2619	3863	21383	12727	681	6047	43018	43	10	20
MI99	3	0,14	34	n.g.	3186	6400	24136	17727	993	6120	53080	123	7	47
MI100	4	0,17	17	29	1647	4685	9811	4843	348	1823	39350	78	7	11
MI101	5	0,22	19	38	1591	27035	8767	8258	441	2564	136407	98	14	24
MI102	2	0,10	34	46	2455	4118	10479	12431	872	4080	82833	45	7	24
MI103	2	0,08	30	n.g.	4843	3160	10991	9915	543	4584	71880	35	5	14
MI104	9	0,34	39	35	1170	13556	20900	10385	268	2622	98072	124	17	82
MI105	11	0,52	55	78	161	7064	25714	1478	2062	2475	48343	1636	115	57
MI106	2	0,09	12	58	675	2991	5008	4243	285	2430	74290	63	6	17
MI107	1	0,01	2	39	416	420	1311	926	252	1505	27137	10	2	4
MI108	10	0,36	65	9	1446	15186	11021	9112	886	5662	73709	217	21	83
NA01	0,3	0,03	9	474	2693	1992	489	9645	1871	16778	11683	31	5	134
NA02	4	0,32	40	231	3563	4758	21744	5249	970	3319	74193	175	35	32
NA03	9	0,15	17	317	770	5892	4764	7609	1050	1812	191757	191	22	46
NA04	2	0,14	23	315	1409	1732	2770	3517	1850	6281	14319	176	45	47
NA05	4	0,11	18	349	2239	2443	3457	4437	1443	7068	15664	244	28	37
NA06	5	11,17	9	n.g.	2401	645	102127	13921	6496	1214	5387	67	25	126
NA08	12	0,31	109	36	932	7530	10441	4850	1845	3945	77586	255	18	36
NA09	1	0,02	3	259	391	675	1008	1675	590	809	12543	49	2	27
PA01	7	0,35	27	n.g.	3369	3073	10607	24813	4415	2483	66494	236	21	83
PA03	5	0,16	6	76	529	3944	4960	166	409	405	154004	69	2	6
PH01	16	0,46	20	650	4370	7069	16600	9107	1582	3017	73226	1065	63	56
PH03	4	0,26	42	1	1142	3794	13419	9390	688	3241	23309	337	10	60
PH06	4	0,21	33	14	2398	2117	5135	8367	1041	2799	43060	119	9	75
PW04	0,1	0,01	1	37	2325	2290	15282	11563	266	3604	43058	13	1	3
PW05	2	0,13	35	209	3657	2418	20452	14560	831	5075	37276	99	8	20
PW06	3	0,15	41	n.g.	1132	3856	17799	24052	693	2563	126246	89	8	21
PW07	4	0,17	127	n.g.	15088	7879	11132	43830	1385	13570	44276	224	9	22
PW08	6	0,36	35	17	1115	3795	17573	23726	2097	2520	124599	307	18	34

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
PW09	0,2	0,01	4	n.g.	913	252	754	1066	247	373	18351	6	1	4
PW10	7	0,27	15	17	2149	2612	5104	5506	851	2837	97851	208	14	26
PW11	1	0,04	58	n.g.	555	292	1932	1448	n.g.	455	26456	34	2	7
PW12	1	0,09	6	n.g.	981	598	4929	2835	n.g.	511	45126	42	7	16
PW18	6	0,25	60	n.g.	2067	1840	7691	10780	n.g.	4892	15350	36	15	62
PW19	1	0,04	15	n.g.	753	686	1574	3799	n.g.	497	22228	24	4	7
PW20	10	0,52	26	n.g.	2430	3645	10100	4723	n.g.	2982	42695	272	32	46
RE01	20	0,95	27	n.g.	900	3132	24585	2076	n.g.	2182	7396	371	71	99
RE02	19	0,90	31	n.g.	1793	3653	21137	2031	n.g.	2190	11472	345	75	108
RF01	19	0,92	4	n.g.	384	53860	29622	928	n.g.	692	25530	147	27	24
SR01	6	0,28	12	n.g.	308	2375	4927	2140	n.g.	1110	48860	189	16	15
SW01	4	0,35	16	n.g.	1743	3198	13502	15118	n.g.	3107	27660	111	5	32
SW03	1	0,08	19	19	2492	1729	21783	12084	444	3205	41660	15	5	22
SW08	6	0,23	39	40	2105	14033	18016	13546	729	2909	113238	116	14	45
TA01	20	0,96	34	n.g.	702	7628	20977	2532	n.g.	2516	17192	998	66	253
TR01	9	0,47	24	n.g.	872	2250	9901	7004	3206	1211	52933	416	29	41
TX01	9	0,42	12	n.g.	1442	1865	6455	12270	n.g.	1210	39558	206	18	34
TX02	7	0,30	24	n.g.	305	1357	4269	5649	n.g.	615	24238	217	10	13
TX05	8	0,31	36	697	1944	4244	17035	15477	2308	5070	47202	250	11	177
TX06	1	0,09	6	n.g.	637	504	7837	2656	n.g.	574	34387	20	4	18
VB01	5	0,22	48	n.g.	2455	2488	28513	9717	n.g.	2898	64164	224	20	40
VB02	10	0,45	43	n.g.	2431	2859	21461	10596	n.g.	2999	51122	297	22	41
VB03	5	0,31	3	n.g.	113	1545	2681	11577	n.g.	411	34943	217	32	89
VB04	7	0,28	18	259	902	11030	6925	8599	1034	2418	38811	404	20	86
VB05	3	0,16	26	n.g.	4973	771	42953	28399	n.g.	815	9274	81	16	26
VB06	9	0,16	30	92	486	3210	2739	4325	284	2620	152286	93	18	59
VB07	7	0,30	10	154	464	38260	5837	1933	310	1593	151726	225	20	52
VB08	4	0,19	18	49	4995	6806	2829	22878	1292	2116	48581	165	18	171
WÄ01	4	0,18	82	331	2256	2626	23607	18178	978	2890	60093	228	22	67
WÄ02	4	0,13	37	246	4101	2012	13421	42362	1024	1069	187985	252	3	297
WÄ03	4	0,02	69	305	43160	1021	734	46350	2838	12163	12722	44	3	24
WÄ04	3	0,19	25	141	2305	2336	4646	15230	1506	937	49977	412	7	231
WÄ05	2	0,22	28	n.g.	5734	10616	4294	112181	n.g.	717	191388	115	20	263

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
WÄ07	1	0,24	8	284	3420	1112	964	10032	726	718	17553	25	5	9
WÄ08	2	0,25	27	48	4321	7139	2539	113547	409	617	176572	186	26	232
WÄ11	8	0,44	22	273	893	1986	10799	9933	592	1848	21880	293	20	29
WB01	4	0,71	63	n.g.	2163	1778	26451	15185	n.g.	3292	34099	102	10	30
WB02	4	0,26	65	n.g.	2995	2225	25796	13388	n.g.	3839	35925	163	11	22
WB03	4	0,21	43	n.g.	2335	2262	21179	10761	n.g.	3038	48804	151	15	23
WB04	7	0,41	19	n.g.	1581	3191	17735	4627	n.g.	1130	59665	415	19	44
WB05	3	0,18	58	n.g.	2627	3779	27093	12649	n.g.	2785	85450	93	7	34
WB06	5	0,12	23	628	3168	2548	8537	26583	1858	4447	35813	125	12	59
WB07	3	0,12	34	265	720	970	10402	7516	563	1446	23748	94	9	14
WB08	6	0,38	24	n.g.	1275	3278	10581	5450	n.g.	1888	54214	219	21	54
WB09	6	0,37	19	n.g.	2357	3026	14536	4382	n.g.	2466	48328	185	16	76
WB10	5	0,26	21	n.g.	2540	2668	10044	12833	n.g.	7049	25898	109	22	34
WB11	3	0,13	62	n.g.	2739	2505	20678	17206	1533	5353	39369	150	10	21
WB12	1	0,09	69	n.g.	2771	2259	18238	20332	2627	5786	46197	27	4	19
WB13	5	0,23	46	264	996	1939	13378	9552	870	1740	34795	81	16	29
WB14	3	0,22	38	n.g.	2547	3536	20271	10568	1896	2339	102289	88	10	22
WB15	6	0,27	45	153	3077	4681	26172	12490	1040	5368	67401	265	12	24
WB16	5	0,23	66	85	3898	5927	29696	12010	618	3781	84139	131	11	29
WB17	8	1,54	55	30	4773	4322	40877	30439	1064	5173	53793	156	16	36
WB18	1	3,05	30	479	1554	1321	64572	40933	3732	3389	18491	233	38	58
WB19	4	0,12	14	321	970	1907	9217	8988	1001	1363	123941	75	12	12
WB20	3	0,12	51	126	2838	3569	14962	17870	794	3985	71886	79	6	23
WB22	7	0,35	40	2	2848	10218	19658	9160	925	2498	89518	177	12	30
WB24	1	0,04	37	n.g.	3009	2931	9263	27772	429	10070	34498	31	2	23
WK01	12	0,10	34	44	31946	6241	3321	6745	1674	17570	49814	119	13	67
WR01	59	0,13	16	79	15890	4788	3824	9288	642	6959	52102	187	10	32
X01	7	0,52	27	n.g.	794	2984	15106	11592	3342	1809	23850	315	23	86
X02	9	2,77	32	111	3187	3992	54790	20204	1226	3257	30268	184	73	130
X03	8	0,29	29	40	5435	23825	15969	6130	380	3408	135541	146	25	45
X05	9	0,25	32	n.g.	3620	3271	11105	11353	310	5388	29708	70	16	34
X06	8	0,24	32	n.g.	2418	4177	9634	7727	480	3947	35086	128	20	46
X08	14	0,40	44	n.g.	3098	4756	11680	9751	341	7920	26604	143	25	48

mg/kg TM														
Probe	Li	Be	B	F	Na	Mg	Al	P	S	K	Ca	Ti	V	Cr
X12	4	0,11	3	127	1082	3786	3859	11910	865	2984	144868	238	11	51
X14	11	0,32	1	n.g.	8058	2742	10424	3544	62	3478	22467	312	51	181

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
AB01	1805	49896	13	39	746	1954	9	3,1	12	49	1,4	13	78	18,3
AB02	206	21024	4	18	277	801	1	2,2	3	84	1,3	4	207	1,3
AB03	529	47668	7	56	364	852	4	2,2	6	66	4,4	10	104	14,8
AB04	1441	20144	17	54	67	250	1	0,7	2	65	2,9	3	218	2,1
AU01	277	16380	5	149	266	1618	4	3,1	3	180	0,8	10	95	15,8
AU02	186	12901	12	289	340	4178	2	1,5	3	41	1,7	7	65	1,9
BA01	259	12371	5	18	119	606	3	1,5	2	72	0,8	11	55	1,4
BR01	99	6948	4	25	256	1047	3	1,1	5	15	0,5	8	134	1,0
BR02	103	7004	2	19	87	3639	1	0,2	2	223	0,4	5	118	0,4
BT01	513	33267	7	50	285	411	2	3,6	7	51	3,3	7	248	4,6
BW01	200	15214	6	22	82	563	5	1,7	10	26	0,6	8	266	0,5
CH01	3429	4780	7	19	171	846	3	1,0	7	47	2,3	8	108	1,4
CH03	139	8950	3	18	320	2377	5	0,8	2	51	1,0	12	395	0,6
CH04	348	19013	4	22	133	272	2	1,1	5	14	0,5	10	204	7,4
DA01	288	51090	9	47	9131	2356	6	2,2	34	194	2,9	21	117	19,8
DL01	213	11492	8	24	487	1048	2	0,9	3	46	0,7	9	245	1,0
DP01	942	303033	4	11	65	861	1	20,1	128	188	1,2	2	380	15,7
DP02	1186	16359	10	48	116	382	7	1,7	27	200	2,9	31	196	11,3
DP03	2495	382652	4	5	2	41	1	4,5	30	122	0,4	4	182	7,7
DP04	543	9342	3	7	30	212	2	1,3	5	1205	1,0	16	211	3,9
DP05	428	37911	8	23	226	2337	3	3,8	6	77	1,8	13	129	6,5
DP06	941	47599	9	37	262	864	2	2,9	9	49	1,0	4	112	7,1
DR01	202	4756	22	18	202	489	5	2,1	2	31	1,9	15	361	2,3
DR02	117	7607	4	15	92	658	5	2,9	3	40	1,0	15	128	3,3
DR03	238	8527	7	26	252	1226	1	0,6	2	262	2,9	6	146	4,1
DR04	205	16790	3	16	155	366	1	0,5	3	74	1,5	7	42	1,2
DR05	70	4014	6	146	761	521	1	0,1	1	62	1,0	2	50	0,1
DR06	289	37504	13	32	1793	1600	4	0,8	6	2394	1,9	12	255	12,8
DR07	405	11643	13	21	156	807	2	1,3	4	132	1,1	6	134	3,6
DR08	696	41471	26	149	1076	3370	4	2,2	6	92	1,1	21	164	13,7
EL01	110	14295	21	4242	301	2113	4	1,9	5	25	0,5	3	38	3,6
EL02	99249	80558	63	145	1763	7238	18	7,2	28	121	22,2	10	189	21,9
EL03	1761	32360	8	37	498	2379	4	1,9	12	22	3,1	4	164	10,6

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
EL04	104	7115	12	434	727	2457	5	1,9	2	33	0,9	5	80	13,1
EL05	19	1102	1	48	49	611	0,4	0,3	1	596	0,5	13	114	5,4
EL06	1705	13349	10	177	2181	702	3	2,6	3	255	1,2	7	193	1,3
EL07	433	13830	28	25	146	2530	3	0,9	5	157	1,1	20	168	5,6
EL08	212	21926	9	50	5975	3282	4	1,8	13	111	1,9	14	104	1,8
FH02	223	12518	10	40	782	1243	2	1,0	14	39	1,6	5	179	1,6
FL02	178	14454	7	43	312	1057	3	1,1	4	49	0,6	10	152	2,1
FO01	64	8108	2	12	532	189	2	1,2	4	164	0,6	6	106	0,6
FR01	2593	7040	6	16	227	850	2	1,6	4	140	1,3	7	120	1,0
FR02	323	18380	32	76	426	1504	8	3,8	15	33	7,5	18	107	2,3
FR03	315	38982	27	81	465	1513	5	5,6	29	26	3,0	9	69	7,3
FR04	116	6943	8	25	309	1348	3	1,7	5	36	12,2	10	132	0,3
FR05	137	12748	8	27	1151	3940	4	1,8	9	76	2,2	7	123	0,6
FR06	42	3193	3	14	364	9698	2	0,5	3	29	3,4	8	79	0,3
FR07	344	7329	3	15	558	1975	1	0,3	2	62	4,2	5	30	0,7
FR08	112	7101	5	63	1792	1209	1	0,3	1	251	2,1	4	121	0,9
FR09	165	7732	25	52	1824	1325	2	2,9	22	307	10,0	5	53	1,1
FR10	186	18959	61	128	1400	1600	2	0,7	31	106	2,7	8	131	2,1
FR11	230	8186	4	15	141	604	4	0,4	3	57	1,2	10	81	0,5
FR12	417	19450	8	34	139	886	7	0,7	6	77	1,6	18	65	1,4
FR13	248	13615	9	32	400	1196	4	2,0	5	56	1,8	8	150	0,6
FR14	61	2490	2	18	255	704	3	0,6	3	59	37,4	6	111	0,9
FR15	407	13955	11	41	533	956	3	1,7	3	97	1,5	5	388	1,8
FR17	138	3187	3	15	227	841	6	0,8	4	119	4,2	8	404	0,4
GE01	334	40333	16	17	71	146	0,5	4,9	1	112	1,2	2	111	1,6
GG01	266	14418	7	23	219	1809	2	0,5	2	53	1,6	7	63	1,3
GG02	2068	4416	10	71	427	5486	2	0,3	1	124	2,0	5	197	0,6
GG03	491	30769	11	61	428	1145	3	3,2	7	141	2,4	4	126	6,2
GG04	570	20126	10	72	786	1365	2	2,2	8	126	2,3	4	143	2,7
GG05	397	25385	12	34	254	493	2	2,8	5	86	0,5	4	96	12,3
GG06	522	41691	10	70	531	3671	3	1,3	4	88	0,7	6	161	1,9
GG08	207	9381	8	26	281	1353	3	1,1	3	163	1,6	16	116	2,0
GG10	493	28246	16	286	151	1189	6	2,9	29	59	1,9	7	163	8,2

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
GG11	145	7298	6	20	283	1026	4	1,6	4	87	3,9	10	89	0,7
GR01	30	4249	12	57	13525	1239	4	1,6	4	97	0,8	5	103	7,3
GR02	14	1758	4	35	7496	1523	1	0,6	3	48	0,6	2	75	11,1
GR03	363	3542	3	28	17264	1087	2	0,8	6	571	1,6	4	106	7,3
GR04	129	4074	3	43	30609	1472	3	1,0	6	960	1,7	3	107	5,0
GR05	157	15419	5	62	2407	3063	2	2,2	4	104	1,9	8	125	2,2
GR06	148	8487	5	26	637	1556	1	0,4	3	94	1,7	4	498	0,6
GR07	78	5001	3	20	1053	870	5	0,2	2	65	0,7	9	245	1,9
GR08	14	867	1	40	4948	1011	0,4	0,1	11	270	0,7	3	60	0,5
GR09	18	1077	1	44	4199	955	1	0,1	11	408	0,8	2	65	0,4
GV01	71	2649	2	23	969	774	4	0,7	2	287	1,4	19	413	0,7
GV02	91	5539	3	40	1515	1229	3	1,3	4	157	1,6	10	72	1,7
GV03	171	13268	7	1136	526	1040	5	2,3	8	16	0,7	11	116	1,4
GV04	142	26502	7	1100	6629	7820	3	3,2	6	165	1,1	9	42	3,6
GV05	1238	62104	15	3031	8208	2804	2	5,8	2	32	1,8	2	206	4,6
GV06	342	14198	24	46	474	1154	7	3,6	8	23	7,5	38	106	6,0
GV07	332	24844	53	96	3658	1819	6	2,6	5	74	0,8	18	87	4,9
GV08	502	23298	8	54	458	1409	4	0,3	5	150	0,9	25	198	9,9
GV09	473	21546	7	7152	1234	113647	1	0,6	5	29	9,9	18	181	6,4
GV10	168	14305	23	192	829	865	17	0,3	2	55	0,9	2	312	3,1
GV11	724	38914	26	94	513	51683	2	0,6	8	423	4,1	9	69	2,7
GV12	102	4172	35	23	1001	700	4	0,7	2	51	13,7	6	339	0,5
GV13	557	27329	10	64	418	1742	5	2,2	7	200	1,4	28	175	7,5
GV14	728	38501	10	7096	2535	61609	2	1,7	6	44	7,9	33	157	4,2
HA01	769	33512	19	57	240	1633	3	2,5	7	89	1,4	13	68	13,6
HA02	221	13368	3	24	282	612	1	3,4	3	87	10,2	4	40	3,5
HL01	160	9842	4	66	257	848	25	1,6	6	104	1,0	15	146	5,9
HZ01	429	7393	5	26	105	1365	4	1,1	5	24	2,1	20	67	2,2
KH01	154	4359	9	32	197	1110	3	0,9	4	51	1,4	5	345	1,3
KH03	122	8320	3	16	1337	851	2	1,4	3	36	1,2	4	208	3,2
KH04	334	7707	4	20	176	1132	4	1,3	2	37	2,1	13	126	2,2
KH05	156	8070	8	27	245	1155	5	1,7	3	69	2,0	13	109	0,6
KH06	53	5487	1	13	2558	412	1	0,3	1	118	1,1	5	116	0,8

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
KH07	69	2792	7	17	325	1140	1	0,4	1	54	0,7	3	228	0,2
KH09	107	4576	4	13	393	415	1	1,0	3	86	0,8	4	117	0,6
KH10	253	12534	6	31	240	782	4	1,1	4	79	2,4	8	124	2,3
KH11	352	25580	6	23	232	462	2	1,5	9	33	0,6	8	86	4,2
KH12	300	12675	6	28	233	963	4	1,0	3	64	1,2	16	118	1,7
KH13	341	13519	4	20	183	1239	2	0,8	4	120	0,9	14	126	1,9
KH14	184	5813	2	12	98	791	3	0,4	2	57	0,9	10	115	2,3
KL01	106	32826	2	7	35	70	1	2,0	8	39	0,7	13	41	6,1
KL02	207	37383	7	27	343	649	5	2,4	3	69	1,4	10	128	8,7
KL03	195	7980	2	10	277	575	3	0,8	2	72	0,7	6	188	0,3
KL04	295	27211	4	20	391	640	3	1,6	6	317	1,9	11	192	5,1
KL05	470	23885	7	31	554	1186	6	1,9	6	92	2,1	15	265	13,4
KL10	278	17115	5	26	268	622	6	1,5	4	128	1,8	24	121	4,4
KL11	271	9187	5	19	262	662	6	1,2	3	96	1,6	14	152	1,6
KL12	266	13728	5	24	197	842	7	1,3	6	199	3,0	22	147	3,7
KL13	120	2923	2	15	111	509	3	0,1	1	41	0,8	4	161	0,2
KL14	579	6171	3	30	124	390	2	0,3	3	651	2,3	15	203	0,5
KL15	451	18723	5	25	302	982	13	2,9	5	495	3,4	19	150	9,1
KL15a	390	23723	24	96	141	1181	1	1,7	4	224	1,7	3	278	4,2
KL16	241	8375	3	12	112	477	2	0,5	1	44	1,0	4	124	1,1
KL16	251	8852	3	11	128	497	2	0,5	1	58	0,7	5	114	3,2
KL17	198	3898	2	11	122	504	3	0,3	2	178	1,1	6	118	0,7
KO01	127	5662	4	36	113	744	3	1,2	2	30	1,0	13	102	1,5
KO02	2078	48171	4	2	0,4	7	1	11,1	20	894	1,7	0,4	142	8,8
KR01	1996	59750	29	136	941	2616	4	2,7	8	166	2,4	17	80	7,7
KR02	496	41870	13	110	856	1442	5	3,6	13	370	1,2	19	113	7,6
KS01	387	19257	11	33	139	743	4	2,5	9	36	1,0	15	219	12,8
KT01	292	2537	2	6	42	156	1	0,2	2	168	0,6	17	52	0,8
KU01	572	24284	16	47	2162	2128	5	3,2	7	116	2,3	11	292	16,1
KV01	149	14568	8	24	1574	1256	5	2,5	6	73	4,4	6	155	4,8
KV02	296	14925	12	44	1289	838	6	2,8	3	131	1,8	16	192	3,6
KV03	150	6994	7	31	280	1227	2	1,0	3	63	3,4	4	186	9,0
KV04	1714	26589	9	49	264	2523	3	1,7	8	317	2,7	11	89	9,4

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
KW01	624	42525	18	70	324	3455	11	2,1	13	69	2,0	41	66	26,3
KW02	648	49108	13	55	441	3470	11	1,8	9	61	1,3	34	72	32,8
KW03	592	50011	13	44	2007	4972	9	1,7	18	72	1,5	40	117	40,7
KW04	1021	49783	12	65	869	1818	7	1,9	21	74	1,7	16	117	18,7
KW05	182	17870	4	26	1166	10016	7	1,1	9	62	2,2	39	20	24,2
KW06	1038	88993	15	138	5032	6542	11	1,8	19	52	1,9	42	105	12,2
KW07	489	33175	13	59	346	2520	7	1,2	11	100	2,6	27	171	17,2
KW08	822	84602	14	105	4419	3489	10	1,8	16	64	1,4	30	52	77,3
KW09	506	35126	7	52	1804	12649	4	3,5	11	43	2,3	9	244	12,5
KW10	1581	46038	8	25	217	1158	3	7,9	14	166	1,3	9	431	19,7
KW11	205	18860	4	29	300	1389	4	3,5	5	58	1,0	7	70	6,6
KW12	245	20080	6	42	120	4447	7	3,8	7	35	1,2	3	375	13,2
KW14	405	34406	9	66	1717	2741	5	4,6	8	77	2,3	13	261	14,5
KW15	497	48411	15	82	993	2582	2	17,7	16	39	1,2	4	80	6,8
KW17	439	48476	11	96	4992	3388	3	12,5	11	55	2,2	12	227	69,5
KW18	378	41799	7	53	2901	4271	2	7,4	7	143	2,1	9	125	29,1
KW20	409	48791	27	101	6410	4726	3	9,3	10	64	2,0	11	138	82,0
KW21	619	40858	12	17	555	7871	2	31,2	4	57	1,7	6	61	11,9
KW22	516	48962	15	61	3676	10298	3	8,5	17	79	2,1	15	214	19,0
KW23	219	41678	6	34	803	2303	2	8,3	6	72	1,2	6	140	10,2
KW24	275	48665	10	74	3913	4887	3	8,0	9	48	1,7	11	90	9,4
KW25	392	48656	11	89	2778	5427	3	8,4	11	69	2,0	10	103	36,8
KW26	1012	48648	52	649	1923	3245	3	7,2	10	34	0,8	5	64	20,1
KW27	159	15693	7	23	315	1011	6	1,0	11	77	1,0	49	100	13,6
LA01	297	28766	11	167	349	1575	3	3,2	3	26	0,9	11	136	1,6
LA02	281	23257	8	55	947	1168	2	0,6	3	61	1,4	7	128	0,4
LM01	19	1231	1	10	85	83	0,3	0,3	1	17	0,1	1	14	0,8
LP01	189	15706	8	35	1614	3769	4	1,8	16	104	2,0	13	111	1,8
ME01	428	7863	3	811	438	2190	2	0,8	3	18	0,8	2	202	1,2
ME02	182	13998	7	33	512	619	4	2,4	6	28	0,2	11	202	1,0
ME03	902	34231	17	46	328	1161	5	3,4	11	85	1,2	19	230	10,1
ME04	197	10750	7	29	354	994	2	1,4	3	26	3,3	10	105	1,8
ME05	1735	39328	10	29	251	1295	6	3,5	6	114	0,6	11	144	15,4

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
ME06	1800	40703	12	38	287	1430	6	4,0	6	154	0,7	18	167	16,1
ME07	3315	41005	16	51	434	1718	7	6,4	7	149	1,0	10	143	20,0
ME08	146	10484	8	661	148	62	8	0,7	5	42	0,9	1	232	0,9
ME09	534	42247	13	85	962	7961	4	0,6	8	64	2,0	23	103	14,8
ME10	203	19963	18	39	459	1567	2	0,4	5	41	1,1	13	117	9,4
ME11	391	24968	16	470	1988	4585	13	0,4	6	97	1,5	6	86	3,7
ME12	429	17732	24	5553	6252	11348	4	0,3	8	131	13,3	11	230	0,5
ME13	279	23361	15	49	262	649	4	2,9	24	42	2,3	7	184	2,3
ME14	170	11465	6	28	421	3955	3	1,6	5	38	1,3	8	63	3,0
ME15	194	10268	14	31	1251	1561	2	0,5	1	50	1,0	7	116	1,7
ME17	76	3244	2	11	163	670	3	0,8	3	91	2,5	7	200	1,0
ME19	406	32953	12	100	150	649	2	1,8	5	68	0,9	8	39	8,3
ME20	697	13805	4	17	51	261	2	1,0	2	62	0,5	5	39	4,9
ME21	4780	30260	5	2338	432	6864	1	1,2	2	275	1,4	1	242	17,3
ME22	177	20464	6	52	876	749	1	1,2	4	268	0,5	2	68	3,4
ME23	460	53447	23	38	402	308	2	2,6	13	89	0,7	8	84	6,3
ME24	1957	26388	15	127	517	1960	6	2,2	7	120	1,6	9	68	7,7
ME25	370	16170	26	184	1167	961	2	1,3	3	24	0,9	8	61	2,3
ME26	188	10893	8	94	646	1344	2	0,7	2	102	0,9	11	154	0,4
ME28	149	8813	7	59	167	1371	6	0,8	3	58	3,5	13	157	0,5
ME29	86	6168	2	13	74	471	3	0,4	1	54	2,4	5	220	0,5
ME30	819	38296	12	46	273	1993	4	1,7	12	96	0,7	19	231	13,5
ME31	70	3334	2	26	37	756	1	0,3	1	136	0,4	4	415	5,0
ME32	898	47061	11	238	816	5235	2	1,9	8	121	0,7	5	156	10,1
ME33	385	15816	7	37	224	1129	3	0,9	4	44	1,0	17	117	3,4
ME34	209	11728	8	33	556	2736	2	0,7	4	51	1,1	12	219	0,7
ME35	278	18979	5	24	163	706	6	1,5	5	59	0,7	32	193	6,8
ME36	584	41207	10	37	215	1137	3	2,0	14	45	0,5	14	203	6,6
ME37	510	23015	10	111	1209	1652	6	2,4	10	54	0,8	5	80	7,6
ME38	85	3148	3	19	169	755	3	0,6	3	83	4,1	6	222	1,1
MI03	150	7160	4	15	341	1506	4	1,5	5	25	2,8	10	184	4,4
MI04	185	7170	5	23	303	1513	4	1,6	4	26	2,1	10	134	1,6
MI05	204	9771	7	28	405	1411	9	2,3	5	110	2,7	18	302	1,6

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
MI06	85	5339	2	38	189	1133	2	1,4	1	16	0,2	6	19	5,1
MI07	256	19862	12	160	385	2420	3	2,4	3	63	1,3	15	132	0,8
MI08	261	16308	6	26	222	1392	4	2,7	4	30	1,4	20	156	9,6
MI09	294	14793	10	28	227	1481	8	1,8	5	79	3,0	26	132	4,0
MI10	169	9250	6	22	186	1409	6	1,6	5	53	4,2	19	174	0,9
MI100	106	4245	2	7	56	629	2	0,4	1	31	0,8	7	118	0,2
MI101	203	6396	3	14	88	925	2	0,6	2	48	2,0	12	209	0,5
MI102	141	2729	4	18	115	7819	3	2,0	2	244	2,0	7	202	0,8
MI103	53	2636	1	7	82	813	2	0,2	1	71	1,9	9	209	3,8
MI104	354	12151	11	46	156	3099	5	0,9	4	45	2,9	20	251	0,7
MI105	553	33321	8	34	133	899	11	2,9	22	98	1,1	22	173	43,1
MI106	240	13120	2	12	55	635	1	0,6	3	51	0,6	10	116	8,3
MI107	8	305	0,2	2	28	259	0,3	0,1	0,2	28	0,5	4	28	2,0
MI108	339	28597	9	52	585	5223	4	1,2	6	53	1,3	21	167	10,9
MI13	112	3337	3	19	84	615	3	0,2	4	37	3,3	6	112	0,4
MI14	242	8440	4	21	154	732	5	0,4	5	42	3,4	9	137	0,4
MI15	1900	15686	5	13	25	406	2	0,5	4	27	0,5	7	190	6,6
MI16	774	10670	25	1961	854	5042	6	0,4	24	40	10,0	8	607	1,7
MI17	117	2301	3	13	68	396	4	0,2	1	34	1,9	6	222	0,8
MI18	337	18270	6	30	154	1262	6	0,7	5	39	3,0	14	185	1,2
MI19	248	13559	6	27	187	845	2	0,3	4	261	1,0	30	117	2,5
MI20	301	14822	7	28	183	913	2	0,4	4	275	0,9	26	125	2,8
MI21	182	6674	3	36	150	461	3	0,1	3	64	1,9	9	297	0,2
MI24	95	9945	4	18	222	692	2	0,3	6	31	1,7	4	67	1,6
MI25	61	1870	4	25	470	942	2	0,1	5	42	0,8	3	57	0,3
MI26	115	8491	4	24	622	1790	5	0,4	7	43	1,7	9	236	0,5
MI27	137	12416	6	31	505	1540	5	0,5	6	42	1,6	11	152	1,4
MI29	18	2250	1	3	82	170	0,4	0,1	0	12	0,3	1	35	3,3
MI30	77	4342	2	11	252	496	2	0,2	2	31	0,5	6	125	2,5
MI31	197	15593	5	24	257	870	4	0,4	6	48	1,3	11	136	2,1
MI32	118	8343	6	29	428	1016	4	0,3	6	42	1,7	12	151	1,1
MI34	377	18821	23	37	432	2221	6	0,6	15	37	2,6	18	240	5,4
MI35	241	20525	18	37	326	919	5	0,6	11	30	2,6	13	247	2,7

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
MI36	200	10375	3	21	240	733	2	0,4	2	41	0,9	9	171	1,4
MI37	380	25900	5	35	561	874	2	0,5	5	55	0,9	10	207	4,1
MI38	156	5730	3	18	171	1002	3	0,3	3	55	1,9	9	353	3,2
MI39	482	21945	9	42	233	1370	4	0,5	5	57	1,1	29	207	4,3
MI40	471	16544	7	37	326	1494	4	0,3	4	122	1,4	22	187	8,0
MI41	247	9646	5	24	401	1543	3	0,2	3	143	1,6	14	220	1,5
MI42	365	2924	1	6	33	394	1	0,2	2	68	0,8	8	241	4,4
MI43	648	22705	11	51	524	2290	3	0,5	5	131	1,6	13	191	2,1
MI44	398	12039	4	17	50	378	3	0,3	2	90	0,7	22	136	16,3
MI45	229	13133	5	40	336	1196	5	0,2	4	124	1,8	17	138	1,6
MI46	604	23087	15	107	1778	3196	5	0,4	8	76	3,2	20	115	4,6
MI47	297	28284	6	25	231	1651	2	2,7	11	65	0,8	5	98	4,9
MI48	690	22203	8	130	537	1417	4	2,3	5	139	1,1	8	169	13,5
MI50	95	3897	3	14	140	1160	3	1,1	5	52	3,9	7	310	1,4
MI51	178	6735	4	26	170	872	4	1,2	3	82	1,6	7	418	0,5
MI52	166	10348	7	125	223	2593	3	1,1	4	76	5,3	3	280	0,9
MI53	89	5684	1	9	152	247	1	1,4	2	123	0,9	7	67	0,9
MI54	100	4725	2	14	461	1036	2	1,0	1	171	1,5	6	110	1,7
MI55	1648	20487	12	89	683	3109	4	4,4	6	104	2,3	8	83	8,3
MI56	46	1353	1	6	63	560	1	0,2	1	64	1,3	4	232	0,9
MI57	100	6373	7	24	404	2337	2	1,4	8	85	2,3	4	95	1,6
MI58	171	7119	11	23	769	1474	2	1,7	4	71	1,7	5	97	0,7
MI59	45	2146	1	7	58	498	1	0,3	1	43	0,7	2	96	2,1
MI60	89	4362	2	13	86	793	1	0,6	1	36	0,5	5	41	1,3
MI61	860	23769	14	54	34	133	7	3,5	5	85	1,7	40	81	22,7
MI62	37	1406	1	5	45	325	1	0,4	0,4	67	1,4	1	61	0,9
MI63	229	14512	5	32	227	991	4	3,0	3	56	1,9	9	205	3,3
MI64	158	6624	4	14	88	555	3	1,4	2	55	2,5	16	319	0,4
MI65	34	1466	1	6	44	276	1	0,4	0,3	69	1,6	2	100	0,5
MI67	461	5804	4	25	169	1439	5	1,2	4	60	2,8	10	191	2,0
MI68	145	7379	4	18	208	611	4	1,5	2	51	1,6	10	156	0,6
MI72	5516	28487	8	19	63	428	1	1,9	6	342	1,5	10	310	10,1
MI73	1213	21741	6	24	87	515	2	1,5	5	173	1,0	7	37	3,5

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
MI74	396	12125	5	46	186	715	1	1,4	4	148	1,5	4	109	5,5
MI75	119	11694	3	21	148	137	3	2,7	2	157	1,1	13	50	3,4
MI76	4519	37274	8	28	139	606	2	2,3	10	18	2,5	4	115	6,6
MI77	774	25640	4	24	268	1076	3	1,3	3	34	0,9	7	242	2,2
MI79	130	8219	5	19	221	1143	4	0,9	3	49	1,6	12	150	0,7
MI81	144	9234	4	32	102	616	4	1,0	3	38	1,5	13	127	0,5
MI83	136	8369	8	19	234	1741	6	1,1	7	81	3,3	15	154	0,6
MI85	525	24560	8	40	411	1305	3	1,3	7	356	1,6	21	106	6,1
MI86	38	1075	1	7	67	527	1	0,2	1	64	2,0	5	178	2,3
MI87	102	5666	3	13	76	782	4	0,8	1	33	2,1	7	123	1,0
MI88	165	8801	24	31	226	1292	11	2,3	2	65	2,3	19	131	2,4
MI89	65	4483	2	8	44	537	2	0,4	1	51	1,9	11	169	0,7
MI90	65	1329	1	8	75	447	2	0,2	1	54	1,8	8	296	0,4
MI91	338	19089	5	37	168	877	5	1,6	5	50	1,7	16	197	2,8
MI92	187	7721	2	11	68	986	2	0,6	2	86	0,6	26	162	3,3
MI93	91	3609	2	15	92	995	3	0,3	3	176	1,6	12	133	0,4
MI94	59	1637	1	8	77	757	2	0,2	1	57	2,0	20	129	0,4
MI95	212	9376	3	14	58	1249	3	0,6	2	327	1,6	16	159	3,2
MI96	182	7595	4	25	158	889	4	0,7	3	58	2,3	13	170	0,4
MI97	118	6327	4	30	160	4401	4	0,6	3	38	3,2	6	158	0,4
MI98	107	3079	2	10	99	903	4	0,4	2	49	1,2	10	187	0,3
MI99	96	4457	3	17	199	1218	5	0,6	2	67	1,5	11	102	1,8
NA01	49	6908	2	43	345	2039	0,4	1,2	2	45	0,6	35	30	0,6
NA02	287	10001	4	34	159	1988	3	1,1	3	82	1,5	5	78	1,1
NA03	290	10274	6	24	129	640	1	1,1	2	14	1,1	8	1405	0,9
NA04	305	15107	3	23	59	640	1	1,2	3	450	1,0	7	100	1,8
NA05	299	18204	4	27	70	322	1	1,3	2	216	0,5	13	100	1,5
NA06	235	22968	9	85	41	1252	4	5,4	2	36	1,9	3	36	2,2
NA08	293	12394	4	22	122	1105	3	0,8	3	68	0,7	21	205	5,4
PA01	820	30197	10	57	477	1311	3	4,1	8	94	1,5	7	206	21,2
PA03	88	2551	1	5	8	132	2	0,3	1	13	0,3	5	544	8,1
PH01	425	26130	11	40	162	1606	8	4,2	7	191	1,3	20	131	5,6
PH03	125	9028	6	42	1146	2048	2	0,6	2	80	0,9	4	93	1,5

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
PH06	150	10085	4	46	3213	1180	2	0,9	7	424	1,7	7	107	2,8
PW04	111	7525	0,1	1	135	819	0,1	0,05	0,4	23	0,1	0,5	12	1,0
PW05	105	4476	3	16	287	973	3	0,9	4	38	1,9	7	177	1,2
PW06	447	21460	3	16	468	1050	4	0,5	2	59	3,4	9	227	0,5
PW07	445	30275	5	22	425	678	2	1,3	6	616	2,0	13	239	10,3
PW08	441	21231	6	24	463	1026	5	1,2	5	78	1,7	16	262	8,6
PW09	12	478	0,2	1	29	84	0,2	0,1	0,2	92	0,2	1	29	0,7
PW10	4848	13707	5	15	216	1124	2	0,8	5	1429	1,5	13	232	3,1
PW11	74	2057	0,5	4	76	99	0,5	0,1	1	7	0,2	1	45	2,3
PW12	331	11107	1	17	177	251	1	0,8	3	4	0,7	1	116	4,9
PW18	29	2092	4	29	502	1328	2	0,3	3	36	1,1	6	277	0,7
PW19	45	1394	1	4	64	274	0,5	0,1	1	22	0,4	1	39	1,3
PW20	354	23328	21	34	346	2792	4	0,7	15	43	2,5	13	192	5,3
RE01	392	29070	10	51	671	6821	7	0,5	21	63	3,0	27	59	18,1
RE02	485	32742	11	60	1312	6714	6	0,6	29	224	2,9	23	84	14,6
RF01	281	11942	4	11	33	263	9	1,5	5	30	0,3	4	73	1,8
SR01	242	11460	4	13	119	307	2	1,4	3	23	0,3	7	195	2,4
SW01	152	22334	2	16	371	4404	2	2,4	9	1414	4,1	5	216	7,4
SW03	67	5673	2	14	964	946	1	0,1	3	60	1,2	1	159	0,5
SW08	188	9590	6	28	316	1501	5	1,2	3	67	2,1	13	199	0,7
TA01	657	69828	11	83	2773	4012	9	2,3	13	63	1,9	29	55	58,7
TR01	4961	48677	16	51	379	361	5	5,8	15	67	1,3	9	189	10,5
TX01	153	8975	5	24	167	346	3	1,7	2	28	0,2	9	237	0,4
TX02	140	9060	3	9	56	283	2	1,2	1	12	0,5	5	95	1,9
TX05	184	7217	6	60	435	1488	5	1,8	5	26	2,8	12	200	1,6
TX06	59	1454	2	18	1079	6627	1	0,1	2	569	1,2	2	108	2,9
VB01	224	13912	7	29	230	1187	7	2,0	4	42	0,7	8	216	1,6
VB02	257	8221	5	19	294	1158	6	2,0	3	43	0,9	16	288	0,5
VB03	732	65582	10	39	512	478	3	4,4	26	19	0,5	4	126	4,1
VB04	321	29918	10	56	1123	987	3	2,9	10	23	0,8	10	118	7,6
VB05	210	38581	4	23	237	687	31	0,9	11	74	0,6	2	75	3,7
VB06	199	23275	4	19	1558	6280	2	0,9	5	56	1,2	11	170	3,3
VB07	485	18652	8	35	117	1149	3	1,3	5	53	1,3	14	230	3,7

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
VB08	327	41607	10	110	1219	1783	2	1,6	9	47	1,6	5	164	9,9
WÄ01	153	6581	18	65	200	871	7	1,3	2	81	1,1	8	395	0,7
WÄ02	345	26628	20	303	457	1525	3	2,1	6	78	1,2	5	472	13,1
WÄ03	26	1897	1	48	113	224	1	0,4	3	574	0,5	5	48	8,5
WÄ04	1655	42247	24	203	2149	2974	6	2,4	4	22	0,4	2	70	2,2
WÄ05	400	45036	66	239	815	4779	2	1,0	4	61	1,2	2	357	26,6
WÄ07	4928	47061	11	15	14	215	1	12,7	45	87	0,5	1	105	3,0
WÄ08	484	47201	62	242	746	4405	3	3,0	10	48	0,8	1	289	24,6
WÄ11	175	10133	5	24	179	554	3	1,4	3	57	0,5	9	86	0,6
WB01	149	3222	3	26	201	1295	5	1,4	2	25	1,2	7	179	1,1
WB02	164	7682	3	20	255	898	5	1,1	3	65	2,1	9	242	3,0
WB03	108	5665	4	14	118	397	5	1,5	2	41	0,9	10	162	0,4
WB04	154	10820	6	49	472	568	5	2,1	4	20	1,1	7	195	1,0
WB05	112	4653	5	36	489	694	6	0,9	12	19	2,8	4	185	0,4
WB06	85	3598	3	17	124	678	3	1,0	3	36	1,8	7	168	2,7
WB07	86	3326	2	13	59	444	3	0,7	1	55	0,4	7	114	0,2
WB08	218	10935	5	33	150	1133	4	0,5	4	39	3,2	9	151	1,5
WB09	194	7668	6	27	113	518	4	0,6	3	29	0,8	10	106	0,9
WB10	188	5394	3	17	94	405	3	0,2	3	25	1,6	10	110	0,2
WB11	144	7994	3	17	233	1481	4	1,2	4	124	2,9	6	208	0,8
WB12	113	3599	3	18	185	635	5	0,9	2	179	1,7	6	235	0,8
WB13	167	4076	4	24	78	315	2	0,7	3	23	1,1	3	167	0,6
WB14	211	9440	8	47	237	754	4	1,2	8	96	3,4	3	345	0,9
WB15	170	10236	3	17	418	1079	5	1,0	3	40	3,7	15	158	1,2
WB16	129	5305	3	26	242	1115	5	1,0	3	38	18,3	12	180	0,4
WB17	483	19908	5	23	328	1090	14	2,8	5	383	2,8	16	161	7,6
WB18	371	8373	5	25	263	1215	5	3,7	4	49	2,6	1	146	7,0
WB19	14152	41996	7	14	154	325	2	2,5	25	181	0,9	3	106	5,4
WB20	126	4075	2	28	1395	527	4	1,2	2	53	2,0	8	228	0,7
WB22	157	11996	6	30	533	844	5	1,2	10	57	1,9	9	211	1,7
WB24	66	1013	2	12	97	440	2	0,1	1	50	3,1	8	171	1,0
WK01	114	8402	2	27	121	876	1	0,6	3	53	0,4	47	96	3,3
WR01	186	10139	3	18	39	647	1	0,6	2	51	0,2	8	124	5,5

mg/kg TM														
Probe	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Br	Se	Rb	Sr	Zr
X01	419	16904	7	23	1449	3897	6	2,2	3	114	2,2	9	154	2,0
X02	465	23782	17	46	357	1072	3	2,1	6	74	2,2	3	140	3,9
X03	247	11744	4	24	151	943	4	0,9	4	39	2,7	19	274	0,8
X05	157	7727	4	26	194	722	3	0,6	3	56	1,8	13	155	1,2
X06	218	10999	5	32	264	792	3	1,1	3	57	1,5	11	124	0,3
X08	175	11416	6	23	141	578	4	1,2	7	67	1,3	21	84	0,6
X12	178	19050	5	36	907	641	2	1,6	2	71	0,6	7	158	9,4
X14	150	11922	36	41	2714	1238	4	1,7	3	39	0,7	18	70	1,6

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
AB01	1,0	155	0,01	0,02	1,5	11,0	28	21,6	6	1,0	450	5	13	1,3
AB02	0,2	3	0,03	0,02	0,5	0,6	3	0,5	21	0,3	198	2	5	0,5
AB03	1,5	5	0,02	0,02	0,4	0,9	6	0,6	5	1,1	93	7	19	2,1
AB04	0,2	61	0,80	0,05	0,1	0,6	44	2,6	7	0,3	1384	1	3	0,3
AU01	0,8	37	0,09	0,03	1,1	2,0	103	22,9	3	0,9	540	7	17	1,8
AU02	0,3	53	0,04	0,02	0,9	1,3	39	1,9	3	0,8	642	4	9	0,9
BA01	0,7	3	0,03	0,02	1,9	0,8	1	0,3	37	0,8	230	5	13	1,4
BR01	0,4	8	0,02	0,01	0,6	0,5	11	0,3	2	0,4	206	6	15	1,9
BR02	0,4	7	0,06	0,02	0,03	0,3	1	0,1	8	0,1	107	2	4	0,5
BT01	0,3	19	0,08	0,27	1,3	2,8	10	12,8	2	2,0	285	5	13	1,4
BW01	0,4	4	0,03	0,02	2,3	1,2	2	0,3	3	0,7	457	5	13	1,6
CH01	0,3	7	0,02	0,01	1,1	1,9	3	0,5	2	1,3	301	8	17	2,0
CH03	0,3	10	0,49	0,09	1,1	3,1	2	5,6	8	1,0	281	16	353	1,1
CH04	0,4	6	0,36	0,03	0,1	1,0	5	1,7	2	1,4	92	7	18	2,1
DA01	1,9	8	0,01	0,33	2,4	0,9	244	3,5	41	2,7	392	16	41	4,4
DL01	0,4	7	0,34	0,05	3,1	1,2	2	2,6	4	0,6	330	11	22	2,4
DP01	0,9	3	0,11	0,04	0,2	0,4	3	0,2	178	0,1	2270	2	4	0,5
DP02	1,3	4	0,17	0,04	0,9	0,8	32	0,1	386	1,7	576	7	18	2,0
DP03	0,5	1	0,003	0,01	0,03	0,2	1	0,1	215	0,4	1239	4	10	1,2
DP04	0,8	3	0,04	0,02	1,1	0,5	25	0,2	154	0,6	544	3	7	0,7
DP05	0,5	3	0,03	0,01	1,1	1,0	32	0,3	14	1,9	422	4	11	1,2
DP06	0,5	11	0,01	0,02	2,9	0,9	7	0,4	6	0,6	493	7	19	2,2
DR01	0,5	2	0,27	0,11	397,8	0,5	31	0,2	14	0,8	303	11	30	3,0
DR02	0,6	2	0,12	0,04	8,4	0,5	7	0,2	3	0,9	163	18	46	4,8
DR03	0,4	17	0,02	0,01	1,8	5,5	17	3,8	94	0,4	1453	6	15	1,6
DR04	0,5	8	0,01	0,01	2,1	1,0	4	1,7	24	0,2	123	3	6	0,7
DR05	0,1	8	0,01	0,05	3927,6	9,0	0,2	0,6	5	0,1	303	3	7	0,7
DR06	0,5	38	0,03	0,05	2,3	1,2	8	0,9	6	0,9	315	7	17	1,9
DR07	0,6	4	0,03	0,02	2,4	0,7	7	0,3	323	0,9	141	4	10	1,1
DR08	0,9	16	0,11	0,03	8,0	6,8	47	0,8	8	2,1	321	9	20	2,5
EL01	0,3	76	0,04	0,02	1,7	2,5	3	0,7	6	0,2	148	3	194	1,0
EL02	0,6	15	0,06	0,04	3,5	39,2	230	2,4	192	1,0	1279	9	23	2,8
EL03	0,5	10	0,05	0,02	0,9	14,1	24	0,6	12	0,2	480	6	12	1,5

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
EL04	0,3	39	0,21	0,12	1,4	3,2	27	0,5	10	0,3	670	16	126	3,4
EL05	0,1	22	0,03	0,02	1,8	0,3	4	0,4	22	0,1	60	1	15	0,2
EL06	0,5	8	0,09	0,11	2,0	1,0	59	1,1	72	0,3	1982	6	14	1,5
EL07	0,7	6	0,59	0,03	3,2	1,2	7	1,3	42	2,5	94	9	18	1,9
EL08	1,1	67	0,03	0,27	1,0	1,4	24	1,5	17	0,7	535	13	30	3,2
FH02	0,4	50	0,04	0,04	1,2	2,6	12	2,2	4	0,3	528	8	20	2,3
FL02	0,9	20	0,02	0,02	1,1	1,5	5	1,6	2	0,8	327	7	18	2,0
FO01	0,4	6	0,02	0,05	4831,9	0,3	22	0,4	53	0,3	234	6	16	1,7
FR01	0,4	11	0,09	0,06	2,4	1,0	2	0,5	20	0,8	290	6	12	1,5
FR02	1,3	16	0,27	0,17	4,4	7,4	16	3,1	17	1,4	738	29	50	4,9
FR03	1,0	12	0,03	0,05	4,1	2,1	17	1,8	3	0,8	283	20	36	2,8
FR04	0,5	6	0,04	0,04	3,9	0,8	2	0,4	4	0,6	320	9	19	2,1
FR05	1,0	23	0,47	0,12	2,3	21,4	14	2,6	35	0,5	919	7	14	1,5
FR06	0,2	17	0,02	0,03	1,8	3,1	1	1,4	10	0,4	90	3	7	0,7
FR07	0,1	77	0,003	0,02	1,6	14,2	66	0,5	2609	96,6	286	798	5	0,5
FR08	0,2	471	0,03	0,03	48,9	6,5	13	1,3	14	0,8	246	1	3	0,3
FR09	0,1	15	0,31	0,10	7,4	12,3	38	9,8	413	4,2	759	3	93	0,5
FR10	0,4	58	0,10	0,04	73,2	35,1	67	54,4	51	0,4	1199	12	24	2,9
FR11	0,3	2	0,02	0,01	6,9	2,0	1	1,0	13	0,7	296	6	22	1,7
FR12	1,0	5	0,01	0,01	7,9	0,9	2	1,5	22	1,4	593	11	27	3,1
FR13	0,5	6	0,04	0,02	2,8	1,2	1	0,4	2	1,0	572	9	22	2,5
FR14	0,1	8	0,02	0,01	2,2	0,7	1	0,5	3	0,2	228	7	14	1,6
FR15	0,3	5	0,20	0,07	2,9	2,2	26	0,6	25	1,4	2025	10	17	1,8
FR17	0,7	7	0,10	0,05	2,1	1,6	1	0,9	14	0,4	548	9	14	1,6
GE01	0,7	2	0,32	0,03	0,04	0,1	1	0,2	2	0,1	55	1	2	0,2
GG01	0,4	6	0,003	0,02	155,3	2,8	4	0,7	8	0,5	1468	17	23	3,9
GG02	0,2	18	0,01	0,02	1,1	4,6	79	1,4	49	0,4	340	2	5	0,6
GG03	0,5	227	0,03	0,03	1,1	2,0	77	16,7	2	0,3	762	9	22	2,6
GG04	0,4	179	0,03	0,04	1,5	1,8	83	19,5	2	0,3	527	5	12	1,3
GG05	0,3	4	0,09	0,02	3,9	0,5	3	0,3	1	0,3	781	3	8	0,9
GG06	0,6	13	0,05	0,05	1,5	2,1	398	1,4	5	0,3	168	4	9	1,1
GG08	0,3	6	0,04	0,01	2,3	0,9	14	1,4	20	1,0	112	6	12	1,4
GG10	0,3	650	0,07	0,02	0,8	2,1	25	1,1	2	0,8	354	7	18	1,9

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
GG11	0,4	4	0,02	0,01	1,6	0,9	3	0,5	4	1,5	267	15	35	3,8
GR01	0,2	3	0,03	0,64	3,5	1,1	20	0,3	8	0,3	477	11	24	2,5
GR02	0,2	2	0,02	0,36	8,6	1,5	15	0,8	3	0,1	212	4	9	0,9
GR03	0,2	12	0,03	0,82	1,6	0,7	14	0,3	271	0,2	364	5	11	1,2
GR04	0,2	15	0,05	1,47	1,1	0,9	17	0,3	218	0,2	422	6	13	1,5
GR05	0,4	10	0,12	0,15	2,0	0,8	192	0,6	30	0,2	743	13	27	3,0
GR06	0,1	4	0,05	0,04	0,8	0,3	16	1,2	7	0,0	589	3	6	0,7
GR07	0,2	2	0,02	0,02	1,3	1,3	7	0,3	14	0,6	125	3	7	0,8
GR08	0,1	6	0,03	0,12	1,1	0,7	3	0,3	64	0,1	44	1	2	0,2
GR09	0,1	6	0,01	0,13	1,2	0,7	4	0,3	74	0,1	45	1	2	0,2
GV01	0,1	3	0,05	0,03	2,1	0,9	7	0,2	10	0,4	302	3	8	1,1
GV02	0,3	4	0,04	0,12	1842,9	3,5	87	0,5	24	0,3	553	7	17	1,7
GV03	0,6	2	0,13	0,08	5,9	1,1	3	0,3	2	1,2	538	13	31	3,3
GV04	0,4	6	0,03	0,31	1,1	11,7	403	1,0	44	0,7	712	4	9	0,9
GV05	0,1	4	0,62	0,39	1,4	0,8	158	0,2	2	0,1	780	2	5	0,6
GV06	2,2	66	0,15	0,06	2006,5	2,1	9	1,4	6	1,8	907	16	38	4,2
GV07	0,9	77	0,14	0,17	0,8	2,5	48	1,4	6	1,4	758	21	51	5,7
GV08	0,5	8	0,23	0,03	2,6	2,4	27	2,0	11	2,6	430	10	27	2,7
GV09	0,2	38	0,26	0,03	1,8	7,0	172	0,2	2	0,7	140	3	8	0,8
GV10	0,6	53	0,20	0,03	1,7	1,5	9	0,7	4	0,2	266	2	5	0,5
GV11	0,7	22	0,02	0,01	5,6	9,0	11	1,1	17	0,7	131	4	11	1,3
GV12	0,1	6	0,08	0,05	2,1	1,1	33	0,2	5	0,3	861	4	9	1,0
GV13	0,7	14	0,40	0,05	1,2	3,1	21	3,8	10	2,6	530	14	37	4,2
GV14	0,2	12	0,46	0,21	3,1	4,3	182	0,3	2	0,8	118	3	53	0,7
HA01	1,8	25	0,02	0,02	2,3	2,0	8	0,7	7	1,3	381	8	21	2,3
HA02	0,8	6	0,02	0,02	0,8	0,8	5	0,6	5	0,5	90	3	8	0,8
HL01	0,6	7	0,07	0,02	1,1	0,7	5	1,7	4	1,9	212	6	15	1,6
HZ01	0,6	6	0,04	0,02	0,8	1,8	3	0,3	5	1,1	390	5	12	1,3
KH01	0,2	6	0,11	0,04	0,7	1,4	7	0,5	26	0,4	1220	4	10	1,2
KH03	0,3	3	0,13	0,11	1,1	1,0	18	1,2	54	0,2	1115	2	5	0,5
KH04	0,5	13	0,09	0,04	1,4	1,1	7	0,7	517	0,8	402	12	28	3,0
KH05	0,6	4	0,12	0,04	3,9	1,0	1	0,6	78	1,0	1689	12	28	3,0
KH06	0,1	2	0,01	0,05	4,3	0,7	2	0,2	372	0,1	2124	2	4	0,5

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
KH07	0,1	5	0,06	0,03	1,6	0,4	5	0,2	74	0,4	2929	3	5	0,5
KH09	0,2	3	0,03	0,02	2,4	0,9	4	0,3	55	0,2	418	6	14	1,5
KH10	0,5	5	0,03	0,02	3,3	1,6	4	0,7	14	0,8	499	7	16	1,8
KH11	0,4	2	0,06	0,02	5,0	0,8	4	0,4	22	0,8	713	5	12	1,3
KH12	0,5	8	0,40	0,04	1,4	1,1	4	2,8	8	1,0	283	31	45	5,6
KH13	0,3	6	0,41	0,03	3,9	1,5	3	2,4	49	1,0	271	5	13	1,6
KH14	0,4	2	0,04	0,02	1,5	1,9	2	0,6	30	0,7	1023	3	9	1,0
KL01	0,8	6	0,02	0,002	3,7	0,1	2	0,3	10	0,8	203	3	9	1,1
KL02	0,7	5	0,03	0,02	1,9	1,2	27	0,3	95	0,6	315	3	7	0,9
KL03	0,2	3	0,02	0,02	0,8	0,7	1	0,2	42	0,4	288	2	5	0,6
KL04	0,4	5	0,04	0,03	0,7	0,8	18	0,3	404	0,5	436	2	5	0,7
KL05	0,8	8	0,08	0,03	1,9	1,6	37	0,5	152	1,1	745	5	12	1,5
KL10	0,9	5	0,05	0,04	1,4	1,1	11	0,7	49	2,1	436	11	25	2,5
KL11	0,7	5	0,06	0,04	1,3	1,0	6	0,8	59	1,1	416	7	15	1,7
KL12	0,8	5	0,06	0,04	0,9	1,5	13	0,6	103	1,6	597	8	17	2,0
KL13	0,2	4	0,01	0,01	1,1	1,2	0,5	0,5	6	0,3	190	31	16	0,6
KL14	0,3	10	0,01	0,01	2,0	3,2	3	0,7	101	0,7	219	21	20	0,6
KL15	0,9	6	0,13	0,03	0,9	1,1	21	1,0	378	1,8	320	28	71	8,1
KL15a	0,3	48	0,35	0,05	1,2	0,9	6	0,7	4	1,3	463	2	3	0,4
KL16	0,3	8	0,02	0,02	2,0	1,1	2	0,8	9	0,3	198	3	6	0,7
KL16	0,4	8	0,03	0,01	1,8	1,1	6	0,8	11	0,3	204	3	6	0,6
KL17	0,2	2	0,06	0,03	0,9	0,6	1	0,3	70	0,4	238	2	4	0,5
KO01	0,4	5	0,02	0,03	2,6	1,4	38	2,3	4	0,7	142	3	7	0,8
KO02	0,6	1	0,03	0,01	0,2	0,0	0,2	0,2	45	0,01	280	13	33	4,0
KR01	2,1	54	0,03	0,06	10,7	11,4	76	4,9	45	1,5	133	8	20	2,4
KR02	0,6	18	0,14	0,04	1,3	1,7	27	2,8	49	2,0	376	28	158	3,9
KS01	1,3	5	0,28	0,05	2,3	1,0	7	1,4	5	1,2	2569	14	34	3,7
KT01	0,3	2	0,04	0,002	0,2	0,5	1	0,1	9	0,4	50	3	7	0,8
KU01	0,9	23	0,13	0,08	1,0	3,8	149	9,8	5	0,8	626	7	18	1,8
KV01	0,2	30	0,01	0,03	0,7	9,5	106	1,2	6	0,9	1566	12	32	3,6
KV02	0,8	11	0,08	0,05	1,3	1,6	3	0,3	16	1,5	1358	8	23	2,8
KV03	0,1	37	0,55	0,03	3,6	3,4	145	1,4	2	0,7	1822	4	8	0,9
KV04	1,2	6	0,03	0,02	0,6	2,6	7	1,3	18	0,9	266	6	15	1,8

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
KW01	1,8	13	0,03	0,03	0,8	2,9	17	3,3	4	2,9	857	21	56	6,2
KW02	1,5	18	0,01	0,03	5,4	3,7	21	3,0	7	2,4	919	17	47	5,1
KW03	2,6	70	0,01	0,06	1,8	19,5	69	54,1	163	2,9	99	11	27	2,9
KW04	2,8	36	0,01	0,01	1,5	16,0	21	12,6	44	1,4	413	7	15	1,4
KW05	1,2	162	0,01	0,05	4,0	74,9	17	8,9	22	2,2	508	19	50	5,4
KW06	1,1	153	0,02	0,13	5,1	32,8	127	61,8	6	3,1	288	17	44	4,8
KW07	1,1	10	0,03	0,02	1,5	2,4	18	4,3	12	1,8	588	12	33	3,6
KW08	0,9	164	0,01	0,11	6,6	9,7	60	48,8	10	2,5	994	16	43	4,7
KW09	1,2	66	0,06	0,07	3,5	10,5	54	76,3	3	0,8	772	8	19	2,0
KW10	1,7	13	0,07	0,04	1,1	2,4	45	3,8	40	0,8	794	8	18	1,9
KW11	0,3	29	0,20	0,06	0,5	2,7	84	7,3	8	0,7	522	6	15	1,5
KW12	3,1	61	0,19	0,07	0,1	1,8	6	15,9	15	1,3	679	14	35	3,2
KW14	0,6	158	0,19	0,12	0,3	10,4	58	116,4	8	1,7	627	5	14	1,5
KW15	0,8	37	0,02	0,06	0,3	3,5	17	29,8	3	0,8	173	2	6	0,5
KW17	0,7	241	0,10	0,18	0,7	10,6	118	137,4	6	2,1	249	6	16	1,4
KW18	0,5	152	0,14	0,15	0,6	15,2	82	108,1	12	1,3	580	3	9	0,9
KW20	0,3	222	0,14	0,21	1,0	13,9	37	35,8	5	1,5	343	6	15	1,4
KW21	3,0	21	0,02	0,02	0,4	2,8	9	12,7	3	1,1	306	3	7	0,9
KW22	1,1	293	0,12	0,17	0,4	13,7	130	194,5	6	3,3	367	3	8	0,9
KW23	0,4	404	0,04	0,06	0,2	4,6	27	69,6	9	0,6	140	2	4	0,5
KW24	0,2	151	0,03	0,16	0,9	15,3	18	18,4	7	1,6	321	4	12	1,1
KW25	0,3	225	0,04	0,10	0,5	9,8	40	52,7	5	1,4	506	4	11	1,0
KW26	1,0	19	0,04	0,06	1,0	16,3	92	1,7	2	0,7	338	4	10	1,1
KW27	1,0	88	0,02	0,02	0,4	3,3	10	4,5	9	3,2	177	10	25	3,1
LA01	0,7	15	0,06	0,06	1,2	1,2	292	5,6	3	0,4	429	5	12	1,3
LA02	0,3	7	0,03	0,04	2,1	1,0	237	1,1	7	0,3	152	5	11	1,4
LM01	0,3	2	0,01	0,01	1,4	0,2	3	0,1	2	0,1	55	2	4	0,4
LP01	1,0	54	0,03	0,10	0,9	1,5	16	2,1	11	0,8	605	16	37	3,9
ME01	0,2	66	0,04	0,03	1,0	4,8	14	0,9	1	0,2	314	1	3	0,3
ME02	0,5	7	0,03	0,02	1,3	1,9	3	0,9	5	1,0	447	10	28	3,3
ME03	1,6	7	0,14	0,03	1,8	1,2	10	0,3	21	1,5	1345	11	30	3,7
ME04	0,5	9	0,04	0,05	2,4	1,2	50	0,3	124	0,4	277	7	11	1,6
ME05	10,3	21	0,05	0,05	1,2	0,8	16	2,1	9	1,1	549	7	17	1,8

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
ME06	12,1	27	0,07	0,05	1,1	1,4	18	2,5	12	1,9	626	10	25	2,5
ME07	24,2	36	0,07	0,07	1,1	1,4	28	3,8	14	0,7	833	7	16	1,6
ME08	0,2	8	0,29	0,01	0,3	0,2	4	0,3	4	0,05	152	1	1	0,1
ME09	0,6	15	0,03	0,07	6,0	13,6	99	4,7	27	2,0	1531	9	26	2,3
ME10	0,7	19	0,03	0,02	2,2	2,6	30	5,5	14	1,3	595	6	14	2,3
ME11	0,4	9	0,01	0,03	1,9	2,5	545	0,7	23	0,6	222	6	16	1,8
ME12	0,9	13	0,06	0,13	45,0	5,9	6	3,6	58	2,1	584	10	22	2,9
ME13	0,4	95	0,08	0,02	3,7	1,3	4	0,4	2	0,7	543	9	21	2,2
ME14	0,8	14	0,01	0,02	1,1	1,3	11	0,6	2	1,3	176	6	19	1,7
ME15	0,4	25	0,10	0,06	4,2	8,9	4	0,5	5	0,5	360	5	12	1,4
ME17	0,1	4	0,04	0,01	0,9	0,6	2	0,3	3	0,7	190	3	6	0,7
ME19	0,4	6	0,01	0,01	1,9	1,7	7	0,3	4	1,7	89	4	11	1,2
ME20	0,7	3	0,05	0,02	0,3	0,7	1	0,6	16	0,5	876	6	17	1,9
ME21	0,5	18	0,40	0,06	0,6	1,6	76	0,6	8	0,1	789	4	8	0,7
ME22	0,4	80	0,01	0,04	3,2	5,0	13	0,5	7	0,2	895	1	3	0,3
ME23	0,6	11	0,02	0,02	2,0	4,2	7	0,4	9	0,7	388	4	9	1,0
ME24	0,7	18	0,01	0,03	2,5	4,5	45	0,8	13	1,0	391	8	20	2,2
ME25	0,6	18	0,02	0,04	1,3	2,0	9	0,6	9	0,7	135	5	13	1,1
ME26	0,4	10	0,05	0,04	2,2	1,2	76	1,7	11	0,3	132	5	12	1,5
ME28	1,4	5	0,23	0,04	2,7	0,9	1	0,5	10	1,4	511	15	21	2,7
ME29	0,2	3	0,06	0,02	1,0	0,7	1	0,5	4	0,3	148	4	8	1,0
ME30	0,6	13	0,41	0,04	0,4	2,5	15	2,5	6	1,9	206	10	24	2,8
ME31	0,3	1	0,17	0,05	0,1	2,3	7	0,4	20	0,1	710	1	2	0,3
ME32	0,5	15	0,20	0,06	2,0	7,8	235	1,0	12	0,5	898	6	14	1,7
ME33	0,6	14	0,44	0,04	5,9	2,6	8	4,9	6	1,3	545	11	28	3,1
ME34	0,4	50	0,24	0,04	1,6	7,4	3	11,3	7	1,0	1183	6	18	2,2
ME35	0,8	8	0,30	0,03	0,5	1,4	3	1,6	8	2,1	210	16	41	4,4
ME36	0,6	10	0,35	0,03	1,1	2,2	16	3,9	4	1,1	117	7	20	2,2
ME37	0,5	28	0,01	0,04	1,4	2,6	10	0,7	3	0,4	745	9	21	2,2
ME38	0,2	5	0,03	0,02	2,1	1,3	5	0,8	10	0,3	215	4	8	0,8
MI03	1,1	11	0,08	0,05	2,1	1,3	10	1,0	6	0,9	590	6	10	1,3
MI04	1,4	11	0,07	0,05	3,5	1,2	2	0,8	3	0,7	443	7	13	1,5
MI05	1,8	8	0,17	0,08	1,1	2,8	3	1,0	11	1,4	641	13	23	2,6

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
MI06	0,2	2	0,01	0,03	3,1	4,1	138	0,2	4	0,4	164	5	11	1,1
MI07	0,6	14	0,05	0,08	1,1	1,4	291	5,0	6	0,6	206	5	12	1,3
MI08	1,0	5	0,27	0,04	0,9	2,1	6	1,9	5	1,0	215	11	27	2,9
MI09	4,9	6	0,09	0,05	1,9	1,4	4	1,1	18	1,9	428	26	30	3,2
MI10	0,7	7	0,08	0,04	2,1	1,4	2	0,7	23	1,4	533	12	28	3,1
MI100	0,3	2	0,03	0,01	2,4	0,4	0,2	0,3	3	0,4	77	3	7	0,9
MI101	0,2	3	0,46	0,02	2,9	0,9	1	0,3	3	0,7	188	6	13	1,7
MI102	0,3	5	0,10	0,02	1,5	0,9	4	19,6	8	0,3	128	70	117	10,9
MI103	0,1	3	0,04	0,02	2,2	0,7	2	0,7	17	0,3	96	2	4	0,5
MI104	0,3	3	0,25	0,03	6,5	1,6	2	0,5	8	1,1	559	9	22	2,5
MI105	1,4	3	0,09	0,02	0,9	0,5	3	0,2	30	2,7	288	14	37	4,6
MI106	0,2	3	0,02	0,01	1,1	0,7	5	0,6	6	0,5	51	2	4	0,5
MI107	0,04	0,3	0,01	0,002	0,4	0,2	2	0,1	2	0,2	21	0,4	1	0,1
MI108	0,7	16	0,11	0,06	2,8	9,6	36	4,6	16	1,3	1326	8	23	2,4
MI13	0,3	16	0,01	0,01	2,0	1,8	0,3	2,1	5	0,4	207	4	8	0,9
MI14	0,3	8	0,06	0,02	4,1	1,5	2	2,7	3	0,5	429	11	27	3,2
MI15	0,5	1	0,01	0,01	0,4	0,2	2	0,3	3	0,3	67	4	11	1,1
MI16	0,6	52	0,03	0,03	6,0	661,0	15	4,7	3	1,2	1773	6	14	1,6
MI17	0,2	3	0,02	0,01	2,1	1,2	3	0,4	7	0,2	309	2	5	0,6
MI18	0,8	5	0,02	0,02	2,0	2,4	4	1,3	3	0,8	481	13	29	3,3
MI19	0,4	7	0,03	0,01	1,1	1,0	5	2,5	15	1,3	137	3	8	0,8
MI20	0,4	7	0,03	0,01	1,2	1,2	5	2,2	10	1,5	138	3	8	0,9
MI21	0,2	3	0,35	0,01	2,0	0,8	1	0,7	5	0,7	207	4	9	1,1
MI24	0,3	21	0,01	0,01	1,8	0,7	2	1,2	3	0,2	148	3	6	0,7
MI25	0,1	33	0,05	0,02	3,8	1,1	1	0,6	3	0,4	169	2	4	0,4
MI26	0,6	9	0,01	0,02	3,8	1,7	2	1,1	6	0,5	408	9	18	1,9
MI27	0,8	7	0,01	0,01	3,0	1,8	4	1,2	7	0,8	496	11	22	2,4
MI29	0,1	0,5	0,01	0,003	1,5	0,2	5	0,2	1	0,1	49	1	1	0,2
MI30	0,3	2	0,01	0,01	1,2	0,5	5	0,6	2	0,4	185	4	10	1,1
MI31	0,5	6	0,01	0,01	1,4	2,6	7	1,3	3	0,7	293	5	13	1,5
MI32	0,4	21	0,01	0,02	2,7	1,5	2	1,6	3	0,8	253	6	14	1,6
MI34	0,9	102	0,03	0,02	1,0	1,6	8	1,1	3	1,7	613	12	30	3,4
MI35	0,8	25	0,05	0,02	2,2	2,3	4	1,4	2	1,2	567	11	27	3,0

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
MI36	0,4	4	0,02	0,01	5,3	1,7	4	2,4	3	0,6	228	5	13	1,4
MI37	0,5	12	0,08	0,04	1,6	1,3	15	5,5	8	1,0	216	5	18	1,4
MI38	0,3	6	0,04	0,01	1,1	0,9	10	1,7	49	0,9	214	5	15	1,2
MI39	0,6	6	0,17	0,02	6,3	4,7	7	1,3	8	1,7	385	9	23	2,5
MI40	0,8	7	0,13	0,02	3,7	12,1	13	1,4	16	2,3	334	10	23	2,6
MI41	0,6	7	0,10	0,02	2,3	1,8	2	2,0	24	1,3	298	5	11	1,3
MI42	0,2	1	0,07	0,01	0,2	1,0	1	0,2	13	0,3	137	4	6	1,0
MI43	0,8	13	0,21	0,02	5,1	9,3	19	5,6	21	1,2	803	16	33	3,7
MI44	0,9	1	0,04	0,005	0,3	0,4	1	0,2	14	1,2	53	8	18	2,3
MI45	0,7	7	0,05	0,01	3,6	2,1	3	2,7	25	1,5	256	9	27	2,2
MI46	0,7	16	0,03	0,05	0,8	3,2	96	2,3	26	1,9	391	12	32	3,6
MI47	0,5	8	0,03	0,01	1,3	0,9	9	2,0	2	0,3	461	4	10	1,1
MI48	0,7	154	0,08	0,03	0,8	4,0	79	21,0	2	0,7	661	6	14	1,4
MI50	0,3	6	0,05	0,03	1,9	2,0	11	0,8	4	0,3	360	14	30	3,1
MI51	0,2	3	0,12	0,03	2,1	0,9	3	0,3	4	0,5	605	10	22	2,4
MI52	0,4	7	0,04	0,02	1,2	2,9	1	0,6	4	0,2	248	4	9	1,0
MI53	0,3	4	0,02	0,02	1,3	0,6	1	3,1	7	1,5	80	6	10	1,4
MI54	0,3	6	0,06	0,04	1,9	1,3	2	2,7	24	0,4	108	2	5	0,6
MI55	0,5	10	0,06	0,04	2,8	1,8	4	1,9	42	1,2	472	17	51	5,6
MI56	0,1	2	0,03	0,02	1,3	0,3	2	0,7	3	0,1	69	1	2	0,2
MI57	0,8	9	0,02	0,03	2,3	2,8	3	1,7	9	0,4	241	6	9	0,9
MI58	1,0	4	0,20	0,05	2,1	1,8	1	0,8	5	0,5	392	13	16	1,4
MI59	0,2	2	0,01	0,01	1,4	0,3	2	0,3	1	0,1	114	2	3	0,3
MI60	0,2	3	0,01	0,01	1,1	15,0	15	0,4	2	0,1	217	2	4	0,4
MI61	0,7	2	0,17	0,01	0,5	0,6	1	0,03	5	6,5	140	17	42	4,4
MI62	0,1	1	0,03	0,01	3,5	0,3	1	0,4	3	0,1	69	1	2	0,2
MI63	0,5	10	0,25	0,06	3,9	1,8	7	1,0	4	1,6	571	10	25	2,6
MI64	0,2	2	0,58	0,05	1,8	0,8	1	0,2	2	1,5	390	4	11	1,2
MI65	0,2	2	0,06	0,04	1,4	0,4	0,4	0,6	2	0,2	162	3	3	0,4
MI67	0,4	7	0,05	0,02	1,1	1,0	3	0,8	7	1,8	373	7	14	1,5
MI68	7,1	2	0,21	0,03	4,1	0,6	2	0,4	30	0,8	680	48	26	3,2
MI72	1,1	5	0,12	0,04	0,3	0,9	3	0,4	21	0,7	793	3	7	0,7
MI73	1,0	5	0,01	0,01	5,2	1,4	1	0,8	15	0,6	178	9	22	2,5

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
MI74	0,3	24	0,02	0,01	1,5	1,8	6	0,2	15	0,4	822	6	14	1,5
MI75	1,0	6	0,01	0,02	4,6	0,4	2	1,3	6	1,3	256	6	13	1,4
MI76	0,6	5	0,05	0,02	1,4	0,7	6	0,8	6	0,4	492	6	11	1,3
MI77	0,8	3	0,09	0,03	4,0	0,8	66	0,3	4	0,4	464	10	16	1,9
MI79	0,3	4	0,09	0,15	1,6	0,8	2	0,4	2	1,1	301	6	15	1,8
MI81	0,3	2	0,09	0,01	1,8	0,7	1	0,4	3	0,9	221	9	21	2,6
MI83	1,1	5	0,08	0,03	3,5	1,0	1	0,9	4	1,0	362	12	19	2,2
MI85	0,5	15	0,41	0,04	1,7	2,8	13	4,9	13	2,1	370	10	26	2,8
MI86	0,3	2	0,04	0,01	1,7	0,5	2	0,3	11	0,1	96	2	4	0,3
MI87	0,5	1	0,03	0,01	3,3	0,4	1	0,1	3	0,5	145	6	15	1,7
MI88	0,6	6	0,23	0,04	3,0	1,4	11	0,3	25	2,1	697	345	642	49,8
MI89	0,2	2	0,08	0,03	1,0	0,4	1	0,4	6	0,5	84	2	5	0,6
MI90	0,1	2	0,13	0,05	2,0	0,4	1	0,2	3	0,2	74	1	2	0,3
MI91	1,1	9	0,66	0,04	1,6	2,0	17	3,3	13	1,4	374	11	31	3,4
MI92	0,4	4	0,12	0,02	0,8	0,9	4	2,4	38	1,2	63	4	9	1,1
MI93	0,2	4	0,02	0,02	1,5	0,5	1	0,3	15	0,5	128	3	7	0,8
MI94	0,1	1	0,07	0,02	2,3	0,4	0,4	0,2	23	0,5	93	2	3	0,4
MI95	1,3	1	0,04	0,01	3,7	0,7	1	0,3	6	1,2	98	7	12	1,6
MI96	0,3	6	0,39	0,03	3,5	1,1	1	1,4	14	0,6	260	8	18	2,2
MI97	0,9	4	0,13	0,03	3,7	1,2	2	0,6	3	0,3	355	9	18	2,0
MI98	0,3	3	0,04	0,02	1,9	0,7	0,4	0,2	7	0,3	154	4	7	0,9
MI99	0,2	4	0,06	0,03	4,5	0,8	3	0,5	10	0,4	348	3	7	0,8
NA01	0,2	15	0,01	0,01	0,3	0,8	7	0,5	43	6,6	23	0,4	1	0,1
NA02	0,3	4	0,04	0,01	1,9	1,3	2	0,2	3	0,5	480	7	16	1,7
NA03	0,3	2	0,80	0,16	4,7	0,4	2	0,3	1	1,0	576	3	7	0,7
NA04	0,8	2	0,02	0,01	0,5	3,0	2	0,4	11	0,5	439	2	5	0,6
NA05	0,6	3	0,02	0,01	1,1	0,6	2	0,3	148	1,4	152	7	5	0,5
NA06	0,4	9	0,004	0,003	0,2	0,3	5	0,3	1	0,1	123	53	171	19,8
NA08	0,6	4	0,11	0,02	2,0	0,9	3	1,6	13	1,5	119	6	12	1,5
PA01	0,7	106	0,06	0,05	0,8	2,0	111	12,0	3	0,5	635	6	14	1,4
PA03	0,5	0,3	0,61	0,06	0,03	0,1	0,5	0,02	1	0,8	40	1	3	0,4
PH01	1,3	6	0,23	0,04	0,8	1,8	5	1,1	14	2,0	290	20	38	4,2
PH03	0,1	2	0,02	0,03	2,4	0,7	3	0,1	42	0,2	423	7	17	1,7

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
PH06	0,6	9	0,02	0,10	1,4	6,7	4	2,2	2206	0,5	220	5	13	1,3
PW04	0,1	0,1	0,01	0,003	0,1	0,1	0,5	0,05	38	0,02	16	0,2	0,4	0,1
PW05	0,2	7	0,03	0,02	2,6	0,6	6	0,4	12	0,3	187	10	23	2,8
PW06	0,3	4	0,06	0,03	1,5	0,6	2	0,3	22	0,3	287	7	15	1,8
PW07	0,5	6	0,04	0,04	1,4	0,7	22	0,6	465	0,5	396	3	8	1,0
PW08	0,8	6	0,34	0,04	3,2	1,0	25	0,8	60	0,8	491	9	22	2,6
PW09	0,04	0,4	0,01	0,003	0,2	0,1	1	0,1	2	0,03	17	0,4	1	0,1
PW10	0,6	5	0,05	0,03	1,2	0,6	3	0,4	48	0,7	384	6	17	2,0
PW11	0,1	1	0,01	0,0005	0,4	0,2	3	0,3	3	0,1	37	1	1	0,2
PW12	0,1	7	0,005	0,01	1,0	0,5	6	0,2	4	0,1	136	1	2	0,3
PW18	0,2	7	0,01	0,02	2,7	1,7	5	2,8	5	0,7	348	3	5	0,5
PW19	0,2	1	0,003	0,002	0,8	0,4	6	0,2	3	0,1	54	1	1	0,1
PW20	0,7	86	0,02	0,02	1,1	3,0	10	1,5	4	1,3	591	11	28	3,1
RE01	1,6	8	0,02	0,03	1,8	2,2	16	2,5	19	2,8	404	21	54	6,0
RE02	1,2	10	0,01	0,07	1,4	1,7	52	4,3	42	2,6	468	17	45	4,9
RF01	0,1	19	0,09	0,01	0,5	0,3	1	0,01	1	0,6	110	4	10	1,0
SR01	0,2	1	0,10	0,02	1,9	0,3	4	0,2	1	0,6	210	5	12	1,3
SW01	0,3	5	0,04	0,02	1,3	1,6	8	0,5	11	1,3	2064	4	9	1,0
SW03	0,1	4	0,02	0,01	3,0	0,9	1	0,2	8	0,1	222	1	2	0,2
SW08	0,3	6	0,30	0,04	4,2	1,2	2	1,6	6	0,7	361	38	63	6,3
TA01	1,5	86	0,01	0,08	7,4	14,5	73	66,4	5	2,7	790	15	42	4,5
TR01	1,4	15	0,06	0,03	2,9	1,0	46	1,2	21	2,2	748	13	32	3,9
TX01	0,3	3	0,05	0,02	1,3	1,5	2	0,7	5	0,9	301	6	14	1,8
TX02	0,2	1	0,03	0,01	1,0	0,4	3	0,1	1	0,5	98	4	9	1,2
TX05	1,4	11	0,10	0,07	2,6	2,2	4	4,1	4	0,9	580	10	17	2,1
TX06	0,1	2	0,01	0,02	0,1	0,8	1	0,5	25	0,2	73	1	2	0,2
VB01	0,4	10	0,11	0,03	2,0	18,5	6	0,6	18	0,6	526	7	17	2,1
VB02	0,5	3	0,12	0,03	0,9	0,7	1	0,1	24	1,6	272	10	26	3,1
VB03	0,9	6	0,05	0,02	0,1	2,0	10	1,0	6	0,5	349	5	12	1,5
VB04	1,0	12	0,17	0,69	1,5	7,9	68	3,5	7	0,6	521	27	60	6,4
VB05	0,3	45	0,005	0,01	0,1	3,4	4	0,8	27	0,1	42	1	2	0,3
VB06	0,3	4	0,58	0,07	0,3	2,5	4	0,5	7	1,5	145	3	6	0,9
VB07	0,4	8	0,62	0,03	0,9	10,6	9	1,3	5	1,1	216	10	25	3,1

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
VB08	1,3	35	0,16	0,08	2,3	5,9	50	4,4	15	0,4	1103	10	14	1,1
WÄ01	0,5	10	0,21	0,07	1,7	1,9	5	0,4	13	0,6	487	16	36	3,9
WÄ02	3,1	61	0,45	0,09	1,5	4,9	178	7,0	5	0,2	615	33	60	6,4
WÄ03	0,2	8	0,02	0,02	0,6	0,5	22	2,4	10	0,1	73	2	5	0,5
WÄ04	0,6	40	0,04	0,08	2,3	4,7	368	2,6	6	0,2	666	32	67	6,6
WÄ05	1,2	85	0,11	0,05	3,2	8,3	700	7,2	31	0,1	917	26	60	6,9
WÄ07	0,1	2	0,02	0,01	0,3	0,3	2	0,1	69	0,1	388	4	9	0,8
WÄ08	1,1	93	0,23	0,13	5,5	9,3	712	8,8	15	0,1	941	35	79	9,3
WÄ11	0,5	4	0,07	0,03	2,3	1,1	1	0,5	10	0,7	476	8	19	2,1
WB01	0,2	4	0,05	0,02	1,5	1,0	3	0,1	5	0,4	238	8	19	2,5
WB02	0,3	7	0,07	0,03	1,5	1,0	12	0,2	93	0,5	393	3	9	1,1
WB03	0,2	3	0,03	0,02	1,2	0,7	3	0,1	30	0,5	250	7	18	2,2
WB04	0,5	5	0,08	0,02	2,1	1,0	4	0,4	3	0,5	484	13	31	3,9
WB05	0,2	7	0,12	0,03	1,5	1,0	3	0,2	11	0,2	547	5	11	1,5
WB06	0,4	5	0,08	0,04	1,3	0,7	9	0,9	10	0,4	157	4	8	1,1
WB07	0,2	2	0,08	0,02	1,1	0,8	1	0,2	4	0,4	184	5	11	1,2
WB08	0,4	3	0,10	0,01	3,6	0,9	2	21,7	2	0,6	312	14	32	3,5
WB09	0,7	2	0,02	0,01	2,5	3,4	4	1,2	2	0,6	222	11	26	3,0
WB10	0,3	16	0,01	0,01	3,1	0,8	1	1,3	3	0,6	191	6	13	1,4
WB11	0,2	4	0,06	0,03	2,1	0,9	2	0,4	8	0,3	493	3	8	0,8
WB12	0,1	3	0,07	0,04	2,1	0,8	2	0,8	5	0,1	355	2	4	0,4
WB13	0,1	2	0,04	0,02	3,8	1,0	2	0,1	5	0,4	543	3	8	0,9
WB14	0,3	7	0,19	0,03	2,9	1,1	4	0,3	22	0,2	429	7	15	1,8
WB15	0,5	6	0,18	0,04	4,4	0,8	2	1,4	7	1,1	350	8	19	2,2
WB16	0,3	3	0,22	0,03	2,2	0,7	1	0,2	11	1,2	270	6	16	1,9
WB17	0,7	6	0,06	0,02	1,1	1,1	17	1,1	213	1,6	337	30	74	8,6
WB18	0,2	4	0,04	0,03	1,8	1,9	11	0,3	2	0,1	439	22	65	7,1
WB19	0,3	4	0,10	0,02	4,6	0,8	7	0,1	24	0,2	542	2	6	0,6
WB20	0,2	2	0,15	0,07	3,5	0,6	29	0,2	6	0,3	324	17	39	4,6
WB22	0,5	10	0,18	0,03	2,7	1,8	8	0,8	160	0,6	415	14	33	3,6
WB24	0,1	3	0,06	0,02	1,3	0,6	8	0,3	6	0,1	137	1	3	0,3
WK01	0,3	5	0,05	0,01	0,3	0,4	5	0,7	9	1,8	59	2	5	0,6
WR01	0,5	3	0,06	0,01	0,3	0,3	3	1,1	5	0,3	80	2	6	0,6

mg/kg TM														
Probe	Nb	Mo	Ru	Rh	Ag	Cd	Sn	Sb	I	Cs	Ba	La	Ce	Pr
X01	0,5	50	0,04	0,04	5,7	3,4	10	3,2	5	1,0	1565	7	19	2,4
X02	1,0	12	0,02	0,01	1,2	2,6	27	0,3	18	0,7	483	20	45	4,9
X03	0,3	6	0,45	0,03	1,3	1,4	2	0,9	6	1,0	347	8	18	2,2
X05	0,2	4	0,02	0,02	1,7	2,1	2	0,5	16	1,0	127	6	14	1,8
X06	0,3	5	0,03	0,02	2,3	0,8	6	0,5	6	0,8	111	8	21	2,6
X08	0,3	6	0,02	0,01	1,1	0,8	2	0,5	17	1,5	105	17	43	5,2
X12	0,3	8	0,50	0,05	2,0	0,6	13	0,8	6	0,5	3046	6	13	1,6
X14	0,4	46	0,04	0,08	0,8	0,6	39	0,4	6	1,1	365	13	33	3,9

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
AB01	5	0,9	0,24	1,0	0,12	0,7	0,12	0,36	0,05	0,28	0,04	0,29	4,2	0,01
AB02	2	0,3	0,09	0,3	0,04	0,2	0,05	0,12	0,02	0,12	0,02	0,04	1,0	0,04
AB03	9	1,6	0,40	1,9	0,23	1,3	0,20	0,62	0,09	0,45	0,08	0,42	0,9	0,03
AB04	1	0,2	0,37	0,3	0,04	0,2	0,03	0,12	0,02	0,09	0,01	0,07	1,5	0,01
AU01	7	1,1	0,34	1,3	0,16	0,9	0,17	0,50	0,06	0,42	0,06	0,27	5,6	0,03
AU02	3	0,7	0,19	0,6	0,07	0,4	0,07	0,18	0,03	0,16	0,02	0,03	1,8	0,04
BA01	5	1,0	0,22	1,0	0,12	0,7	0,11	0,32	0,05	0,32	0,04	0,03	2,5	0,02
BR01	7	1,3	0,29	2,9	0,20	1,2	0,18	0,57	0,06	0,46	0,06	0,001	0,8	0,05
BR02	2	0,5	0,14	0,6	0,08	0,4	0,08	0,21	0,03	0,16	0,02	0,01	1,0	0,01
BT01	5	0,8	0,17	0,8	0,11	0,5	0,09	0,26	0,04	0,32	0,03	0,12	3,6	0,03
BW01	6	0,9	0,27	2,1	0,14	0,8	0,11	0,34	0,04	0,32	0,04	0,01	0,3	0,02
CH01	7	1,1	0,17	1,0	0,14	0,7	0,11	0,29	0,04	0,26	0,03	0,02	1,5	0,15
CH03	4	1,0	0,31	1,9	0,17	0,7	0,12	0,34	0,05	0,27	0,04	0,01	0,9	0,16
CH04	8	1,5	0,30	1,6	0,19	1,1	0,21	0,54	0,09	0,54	0,07	0,26	0,2	0,21
DA01	16	4,0	0,92	4,7	0,53	2,8	0,45	1,36	0,20	1,16	0,16	0,44	2,2	0,11
DL01	7	1,2	0,34	1,4	0,18	0,7	0,16	0,50	0,07	0,48	0,06	0,02	0,5	0,07
DP01	2	0,5	0,92	1,1	0,12	0,7	0,15	0,48	0,06	0,53	0,08	0,25	7,0	0,01
DP02	8	1,4	0,42	1,4	0,17	0,9	0,16	0,43	0,08	0,37	0,07	0,15	0,5	0,16
DP03	5	1,2	0,38	1,4	0,18	1,1	0,20	0,62	0,09	0,49	0,08	0,08	1,2	0,03
DP04	3	0,6	0,20	0,7	0,10	0,5	0,10	0,29	0,04	0,28	0,04	0,05	1,7	0,02
DP05	4	0,8	0,23	0,9	0,12	0,6	0,13	0,31	0,04	0,26	0,03	0,14	1,1	0,03
DP06	8	1,5	0,36	1,6	0,21	1,1	0,20	0,55	0,07	0,43	0,05	0,19	4,4	0,05
DR01	10	1,7	0,27	1,6	0,17	0,9	0,14	0,34	0,05	0,35	0,04	0,05	0,7	0,02
DR02	17	2,7	0,36	2,6	0,28	1,4	0,21	0,56	0,09	0,42	0,08	0,05	0,1	0,03
DR03	5	0,7	0,33	0,8	0,10	0,7	0,09	0,28	0,04	0,21	0,03	0,04	1,4	0,01
DR04	2	0,2	0,07	0,3	0,04	0,2	0,03	0,08	0,02	0,09	0,01	0,02	0,8	0,01
DR05	2	0,4	0,07	0,2	0,03	0,1	0,02	0,04	0,01	0,04	0,005	0,01	0,6	0,001
DR06	7	1,3	0,28	1,2	0,16	0,9	0,16	0,42	0,06	0,41	0,05	0,20	6,0	0,01
DR07	4	0,8	0,18	0,9	0,10	0,6	0,10	0,28	0,05	0,27	0,04	0,06	0,4	0,02
DR08	9	1,5	0,44	2,1	0,24	1,4	0,24	0,77	0,12	0,65	0,11	0,44	11,7	0,01
EL01	3	0,4	0,34	2,5	0,09	0,4	0,04	0,21	0,02	0,15	0,02	0,01	34,1	0,05
EL02	12	2,1	1,14	4,7	0,37	2,1	0,29	0,86	0,11	0,88	0,08	0,35	10,2	0,03
EL03	5	0,8	0,26	1,9	0,16	0,8	0,12	0,40	0,04	0,36	0,04	0,20	3,8	0,09

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
EL04	10	0,7	13,84	1,4	0,17	1,4	0,24	0,28	0,19	0,23	0,04	0,07	14,8	0,33
EL05	1	0,1	0,26	0,1	0,01	0,05	0,02	0,02	0,02	0,02	0,003	0,08	8,3	0,51
EL06	5	0,8	0,63	0,9	0,14	0,8	0,15	0,42	0,05	0,41	0,06	0,02	3,5	0,04
EL07	7	1,3	0,47	13,6	0,20	1,0	0,17	0,46	0,08	0,66	0,13	0,11	1,0	0,09
EL08	11	1,8	0,36	1,7	0,21	1,1	0,18	0,51	0,08	0,40	0,07	0,04	2,9	0,03
FH02	8	1,0	0,33	1,8	0,16	0,9	0,16	0,46	0,06	0,34	0,05	0,04	1,7	0,02
FL02	7	1,4	0,36	1,5	0,18	1,0	0,18	0,49	0,08	0,50	0,08	0,03	2,5	0,06
FO01	6	2,3	0,14	0,8	0,09	0,5	0,10	0,29	0,03	0,23	0,03	0,01	3,5	0,04
FR01	5	0,7	0,19	0,8	0,10	0,6	0,10	0,31	0,04	0,30	0,04	0,02	7,0	0,03
FR02	16	2,9	0,64	2,5	0,29	1,5	0,24	0,65	2,51	0,59	0,39	0,05	1,0	0,10
FR03	10	1,4	0,30	1,5	0,16	0,8	0,14	0,37	0,07	0,37	0,05	0,17	4,3	0,03
FR04	7	0,9	0,23	1,0	0,10	0,6	0,10	0,28	0,04	0,25	0,03	0,01	1,4	0,03
FR05	4	0,6	0,46	0,6	0,07	0,4	0,06	0,16	0,02	0,16	0,02	0,02	3,5	0,11
FR06	2	0,5	0,11	0,4	0,05	0,3	0,05	0,14	0,02	0,19	0,01	0,001	2,0	0,03
FR07	2	0,4	0,12	0,5	0,05	0,3	0,04	0,12	0,02	0,10	0,01	0,005	0,1	2,70
FR08	1	0,2	0,05	0,2	0,02	0,1	0,02	0,06	0,01	0,05	0,01	0,01	1,6	0,22
FR09	2	0,2	0,10	0,4	0,05	0,1	0,01	0,06	0,01	1,13	0,01	0,01	2,9	0,29
FR10	8	0,4	0,16	0,7	0,07	0,3	0,06	0,15	0,02	0,13	0,02	0,01	52,8	0,05
FR11	6	1,1	0,23	1,1	0,14	0,7	0,11	0,35	0,04	0,27	0,03	0,01	0,3	0,01
FR12	11	1,8	0,41	2,0	0,24	1,3	0,22	0,61	0,08	0,45	0,06	0,04	0,4	0,03
FR13	9	1,6	0,38	1,8	0,23	1,2	0,22	0,59	0,07	0,52	0,07	0,02	1,2	0,03
FR14	5	0,5	0,11	0,5	0,06	0,3	0,05	0,15	0,02	0,14	0,02	0,02	1,9	0,03
FR15	5	0,5	0,40	1,3	0,08	0,4	0,08	0,21	0,03	0,34	0,03	0,03	2,7	0,30
FR17	5	0,7	0,27	0,8	0,10	0,5	0,09	0,27	0,03	0,24	0,03	0,02	1,1	0,05
GE01	1	0,2	0,05	0,3	0,03	0,2	0,04	0,09	0,01	0,06	0,01	0,05	0,3	0,03
GG01	16	3,0	0,73	3,7	0,49	2,8	0,54	1,55	0,18	1,14	0,14	0,03	3,0	0,01
GG02	2	0,5	0,12	0,5	0,05	0,4	0,06	0,18	0,03	0,12	0,02	0,00	9,2	0,06
GG03	10	2,3	0,68	2,7	0,38	2,0	0,36	0,96	0,12	0,73	0,10	0,14	10,9	0,03
GG04	4	0,6	0,20	0,7	0,09	0,5	0,10	0,25	0,03	0,24	0,03	0,03	10,7	0,04
GG05	3	0,6	0,23	0,6	0,07	0,4	0,07	0,19	0,03	0,16	0,02	0,16	0,2	0,02
GG06	3	0,4	0,22	0,8	0,09	0,4	0,07	0,17	0,03	0,16	0,02	0,06	32,7	0,03
GG08	5	1,1	0,23	1,2	0,14	0,6	0,12	0,32	0,04	0,28	0,03	0,04	1,5	0,05
GG10	7	1,2	0,29	1,2	0,14	0,7	0,13	0,38	0,05	0,31	0,04	0,19	2,1	0,01

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
GG11	14	2,3	0,20	2,1	0,23	1,2	0,18	0,47	0,06	0,34	0,05	0,02	2,6	0,06
GR01	7	0,6	0,24	0,9	0,08	0,4	0,09	0,24	0,03	0,21	0,03	0,08	0,05	0,13
GR02	3	0,3	0,10	0,4	0,04	0,2	0,04	0,11	0,02	0,10	0,01	0,17	0,04	0,03
GR03	3	0,4	0,13	0,5	0,06	0,3	0,04	0,15	0,02	0,16	0,02	0,07	0,1	0,04
GR04	4	0,4	0,15	0,6	0,06	0,4	0,06	0,17	0,02	0,17	0,03	0,05	0,04	0,04
GR05	8	0,5	0,19	0,7	0,06	0,4	0,05	0,16	0,02	0,14	0,01	0,04	0,8	0,004
GR06	2	0,4	0,08	0,2	0,03	0,1	0,02	0,05	0,01	0,02	0,01	0,01	0,2	0,06
GR07	3	0,6	0,13	0,6	0,07	0,4	0,07	0,21	0,03	0,19	0,03	0,03	0,2	0,05
GR08	1	0,1	0,04	0,2	0,02	0,1	0,02	0,06	0,01	0,02	0,01	0,01	0,4	0,02
GR09	1	0,1	0,05	0,2	0,02	0,1	0,02	0,06	0,01	0,03	0,01	0,02	0,4	0,02
GV01	3	0,5	0,12	1,5	0,07	0,5	0,05	0,21	0,01	0,22	0,03	0,01	0,4	0,06
GV02	5	1,1	0,21	0,7	0,10	0,4	0,10	0,26	0,03	0,24	0,03	0,03	0,5	0,03
GV03	11	1,8	0,38	1,7	0,19	1,0	0,19	0,50	0,09	0,50	0,08	0,02	0,2	0,02
GV04	3	0,6	0,22	0,7	0,10	0,5	0,10	0,26	0,04	0,28	0,05	0,05	0,4	0,03
GV05	2	0,2	0,18	0,3	0,03	0,2	0,02	0,11	0,01	0,07	0,01	0,03	0,2	0,04
GV06	15	2,7	0,79	2,5	0,27	1,6	0,26	0,67	0,12	0,61	0,10	0,07	5,3	0,02
GV07	19	3,3	0,76	3,0	0,34	1,8	0,28	0,74	0,09	0,58	0,10	0,07	37,3	0,02
GV08	10	1,7	0,39	1,8	0,19	1,2	0,22	0,57	0,08	0,46	0,07	0,15	0,1	0,07
GV09	3	0,6	0,14	0,6	0,08	0,5	0,09	0,25	0,03	0,23	0,03	0,09	0,4	0,04
GV10	2	0,3	0,08	0,3	0,03	0,2	0,03	0,10	0,01	0,07	0,01	0,04	99,0	0,04
GV11	5	0,9	0,19	0,8	0,09	0,5	0,10	0,30	0,03	0,27	0,03	0,04	12,9	0,02
GV12	3	0,4	0,19	0,4	0,06	0,3	0,05	0,14	0,02	0,14	0,02	0,01	14,0	0,03
GV13	16	2,7	0,66	3,2	0,33	2,0	0,30	0,86	0,14	0,67	0,11	0,15	0,8	0,08
GV14	3	0,6	0,19	0,9	0,09	0,6	0,09	0,24	0,04	0,23	0,03	0,13	0,5	0,01
HA01	9	1,5	0,41	1,6	0,21	1,1	0,21	0,57	0,10	0,48	0,08	0,23	7,1	0,08
HA02	3	0,7	0,15	0,6	0,09	0,5	0,09	0,26	0,04	0,18	0,03	0,08	1,2	0,03
HL01	6	1,1	0,21	1,0	0,13	0,7	0,13	0,35	0,05	0,28	0,04	0,07	14,2	0,09
HZ01	5	0,9	0,25	1,0	0,11	0,7	0,10	0,28	0,05	0,30	0,04	0,03	2,2	0,02
KH01	4	0,3	0,32	1,7	0,08	0,4	0,04	0,18	0,02	0,14	0,01	0,01	2,1	0,09
KH03	2	0,3	0,46	0,4	0,05	0,3	0,05	0,13	0,02	0,12	0,02	0,07	0,9	0,07
KH04	11	1,5	0,32	1,6	0,18	0,9	0,14	0,36	0,05	0,28	0,05	0,03	2,6	0,02
KH05	11	1,7	0,80	1,7	0,19	1,1	0,16	0,45	0,07	0,36	0,06	0,02	0,8	0,03
KH06	2	0,2	0,31	8,7	0,02	0,1	0,02	0,08	0,01	0,13	0,01	0,003	0,6	0,02

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
KH07	2	0,2	0,59	0,6	0,02	0,1	0,02	0,05	0,01	0,08	0,01	0,01	4,3	0,31
KH09	6	1,1	0,27	1,4	0,17	0,9	0,15	0,42	0,07	0,36	0,06	0,01	3,5	0,22
KH10	6	0,9	0,25	1,1	0,13	0,7	0,11	0,33	0,05	0,29	0,05	0,05	1,0	0,04
KH11	5	1,0	0,38	1,0	0,14	0,7	0,13	0,33	0,06	0,36	0,06	0,09	0,5	0,02
KH12	17	2,1	0,41	2,8	0,25	1,4	0,20	0,60	0,10	0,51	0,09	0,03	0,8	0,31
KH13	6	1,3	0,28	1,3	0,16	0,8	0,17	0,51	0,05	0,37	0,05	0,06	0,5	0,06
KH14	3	0,8	0,39	1,0	0,11	0,6	0,10	0,33	0,03	0,29	0,03	0,06	0,5	0,09
KL01	4	0,8	0,16	1,3	0,10	0,5	0,06	0,21	0,02	0,19	0,02	0,04	0,6	0,05
KL02	3	0,5	0,19	1,1	0,09	0,5	0,07	0,24	0,02	0,24	0,02	0,18	0,6	0,04
KL03	2	0,4	0,16	0,9	0,07	0,4	0,05	0,18	0,02	0,13	0,02	0,01	0,2	0,02
KL04	3	0,5	0,22	1,2	0,08	0,4	0,06	0,19	0,03	0,16	0,02	0,10	0,5	0,05
KL05	6	1,0	0,37	2,2	0,17	1,0	0,12	0,41	0,04	0,35	0,05	0,29	0,7	0,05
KL10	9	1,7	0,41	1,8	0,24	1,3	0,21	0,60	0,10	0,49	0,08	0,12	0,7	0,03
KL11	6	1,1	0,29	1,3	0,17	0,9	0,16	0,42	0,08	0,35	0,07	0,04	0,7	0,05
KL12	7	1,3	0,35	1,4	0,18	0,9	0,16	0,50	0,07	0,41	0,07	0,11	0,8	0,03
KL13	2	0,3	0,08	0,4	0,05	0,2	0,04	0,11	0,01	0,08	0,01	0,003	0,3	0,06
KL14	2	0,3	0,07	0,4	0,04	0,3	0,04	0,10	0,02	0,11	0,02	0,01	0,7	0,04
KL15	30	5,9	0,93	6,6	0,84	4,7	0,80	2,32	0,32	2,08	0,27	0,27	4,6	0,10
KL15a	1	0,3	0,14	0,3	0,04	0,2	0,03	0,10	0,01	0,08	0,01	0,10	18,0	0,08
KL16	2	0,5	0,13	0,6	0,08	0,4	0,07	0,16	0,02	0,15	0,02	0,03	0,7	0,01
KL16	2	0,4	0,13	0,6	0,06	0,4	0,07	0,20	0,02	0,15	0,01	0,07	0,6	0,06
KL17	2	0,4	0,15	0,6	0,06	0,3	0,06	0,15	0,02	0,15	0,02	0,01	0,5	0,03
KO01	3	0,6	0,15	0,6	0,07	0,4	0,07	0,18	0,02	0,14	0,02	0,01	6,7	0,02
KO02	17	3,2	0,78	3,9	0,46	2,4	0,42	1,29	0,19	0,96	0,17	0,16	1,0	0,05
KR01	9	1,6	0,44	2,2	0,25	1,2	0,21	0,62	0,07	0,69	0,07	0,20	5,1	0,08
KR02	44	1,9	0,45	2,8	0,33	1,9	0,22	0,79	0,10	0,59	0,08	0,23	12,3	0,21
KS01	14	2,6	1,36	2,4	0,29	1,6	0,24	0,60	0,09	0,53	0,08	0,31	7,0	0,03
KT01	3	0,5	0,09	0,5	0,06	0,3	0,06	0,17	0,02	0,14	0,02	0,01	0,1	0,02
KU01	7	1,3	0,39	1,4	0,17	1,0	0,16	0,45	0,06	0,38	0,05	0,33	6,0	0,05
KV01	14	2,4	1,03	4,3	0,38	2,0	0,28	0,84	0,10	0,75	0,08	0,08	1,3	0,10
KV02	11	1,6	0,62	4,5	0,29	1,6	0,23	0,73	0,08	0,56	0,06	0,02	3,6	0,41
KV03	3	0,5	0,81	1,2	0,09	0,5	0,06	0,23	0,03	0,20	0,03	0,06	1,2	0,03
KV04	7	1,2	0,43	1,6	0,16	1,0	0,21	0,57	0,07	0,50	0,06	0,16	1,2	0,08

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
KW01	24	4,3	0,99	4,3	0,57	2,9	0,49	1,42	0,17	1,03	0,14	0,27	0,9	0,05
KW02	19	3,4	0,79	3,3	0,44	2,3	0,37	1,01	0,14	0,85	0,11	0,53	0,4	0,01
KW03	10	1,7	0,32	1,5	0,17	0,9	0,14	0,39	0,05	0,29	0,04	0,68	1,6	0,03
KW04	5	0,8	0,22	0,8	0,10	0,6	0,09	0,23	0,03	0,21	0,03	0,30	2,0	0,01
KW05	20	3,8	0,57	3,5	0,46	2,5	0,44	1,09	0,13	0,81	0,11	0,27	1,4	0,01
KW06	18	3,0	0,72	3,1	0,43	2,3	0,37	1,04	0,15	0,90	0,11	0,07	0,2	0,01
KW07	14	2,7	0,56	2,4	0,31	1,7	0,28	0,76	0,10	0,62	0,09	0,25	0,8	0,07
KW08	18	3,1	0,73	3,3	0,40	2,2	0,38	1,08	0,13	0,82	0,11	0,99	0,1	0,01
KW09	7	1,2	0,36	1,2	0,16	0,9	0,16	0,45	0,07	0,38	0,05	0,19	2,6	0,06
KW10	7	1,3	0,41	1,5	0,20	1,1	0,21	0,57	0,09	0,56	0,09	0,35	3,7	0,03
KW11	6	1,4	0,28	1,4	0,20	0,9	0,23	0,68	0,10	0,61	0,09	0,13	0,3	0,01
KW12	13	2,5	0,82	2,3	0,37	2,3	0,43	1,26	0,19	1,39	0,20	0,43	7,1	0,17
KW14	6	1,3	0,37	1,2	0,16	0,9	0,15	0,43	0,06	0,42	0,05	0,30	1,0	0,02
KW15	2	0,5	0,15	0,6	0,08	0,4	0,08	0,24	0,03	0,19	0,02	0,20	1,2	0,02
KW17	6	1,4	0,37	1,3	0,20	1,1	0,21	0,52	0,10	0,50	0,07	1,56	0,1	0,04
KW18	4	0,9	0,36	0,9	0,13	0,6	0,12	0,35	0,05	0,35	0,05	0,58	0,6	0,01
KW20	6	1,4	0,35	1,2	0,17	1,1	0,21	0,62	0,08	0,57	0,09	1,66	0,1	0,01
KW21	3	0,8	0,30	0,8	0,12	0,7	0,13	0,37	0,05	0,33	0,06	0,40	1,9	0,01
KW22	3	0,7	0,23	0,9	0,11	0,6	0,13	0,40	0,06	0,40	0,06	0,65	1,6	0,00
KW23	2	0,4	0,13	0,4	0,06	0,3	0,05	0,12	0,02	0,15	0,02	0,29	1,2	0,03
KW24	4	1,1	0,35	1,0	0,15	0,8	0,15	0,41	0,05	0,32	0,05	0,12	0,0	0,09
KW25	4	1,1	0,29	1,1	0,17	0,7	0,13	0,35	0,05	0,36	0,04	0,90	0,1	0,02
KW26	5	0,9	0,15	0,8	0,10	0,7	0,11	0,29	0,04	0,24	0,04	0,38	9,2	0,04
KW27	13	2,7	0,61	3,2	0,38	2,3	0,39	1,13	0,20	0,95	0,17	0,38	2,5	0,11
LA01	5	0,7	0,22	0,7	0,09	0,4	0,08	0,23	0,03	0,18	0,02	0,03	24,3	0,03
LA02	4	0,9	0,26	1,1	0,13	0,6	0,10	0,29	0,03	0,22	0,02	0,02	16,1	0,03
LM01	1	0,2	0,05	0,2	0,02	0,1	0,02	0,06	0,01	0,05	0,01	0,02	0,7	0,03
LP01	13	2,2	0,42	2,1	0,26	1,3	0,21	0,58	0,09	0,48	0,08	0,04	3,7	0,04
ME01	1	0,2	0,12	0,5	0,03	0,1	0,02	0,10	0,01	0,07	0,01	0,01	2,6	0,06
ME02	13	1,9	0,42	4,7	0,32	1,7	0,20	0,67	0,07	0,55	0,07	0,01	1,2	0,03
ME03	15	2,6	0,77	5,1	0,40	2,4	0,33	1,00	0,11	0,94	0,11	0,17	2,2	0,04
ME04	6	1,1	0,22	1,1	0,12	0,6	0,13	0,35	0,06	0,30	0,05	0,03	17,6	0,02
ME05	7	1,2	0,31	1,3	0,17	1,0	0,16	0,45	0,08	0,42	0,07	0,44	1,7	0,001

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
ME06	9	1,7	0,38	1,5	0,19	1,0	0,16	0,48	0,07	0,40	0,07	0,43	2,6	0,01
ME07	6	1,0	0,32	1,0	0,13	0,8	0,14	0,40	0,07	0,39	0,05	0,50	4,1	0,06
ME08	1	0,1	0,04	0,1	0,02	0,1	0,02	0,04	0,01	0,04	0,01	0,02	1,3	0,02
ME09	8	1,5	0,53	1,7	0,21	1,0	0,17	0,47	0,06	0,37	0,05	0,19	9,1	0,10
ME10	5	1,0	0,28	1,9	0,77	0,7	0,11	0,31	0,05	0,31	0,04	0,19	5,2	0,07
ME11	6	1,2	0,30	1,1	0,16	0,9	0,15	0,42	0,05	0,39	0,05	0,07	4,5	0,02
ME12	11	1,7	0,36	2,0	0,25	1,1	0,23	0,60	0,05	0,51	0,07	0,02	7,8	0,18
ME13	8	1,2	0,31	1,3	0,16	0,9	0,18	0,46	0,06	0,42	0,05	0,07	1,8	0,02
ME14	6	1,1	0,13	1,0	0,12	0,7	0,12	0,33	0,04	0,26	0,03	0,06	12,5	0,04
ME15	5	0,8	0,19	0,9	0,12	0,6	0,09	0,25	0,03	0,20	0,03	0,05	16,7	0,04
ME17	2	0,4	0,10	0,4	0,06	0,3	0,06	0,14	0,02	0,11	0,01	0,03	0,6	0,03
ME19	5	0,9	0,21	0,9	0,12	0,7	0,12	0,33	0,06	0,29	0,05	0,23	1,5	0,07
ME20	7	1,4	0,55	1,8	0,21	1,0	0,17	0,57	0,09	0,47	0,08	0,11	0,5	0,005
ME21	2	0,4	0,23	0,6	0,06	0,3	0,08	0,24	0,04	0,28	0,05	0,40	0,7	0,004
ME22	1	0,2	0,17	0,2	0,03	0,2	0,03	0,08	0,01	0,06	0,01	0,04	8,9	0,13
ME23	4	0,7	0,16	0,7	0,09	0,5	0,08	0,25	0,04	0,22	0,04	0,15	1,9	0,02
ME24	8	1,2	0,32	1,2	0,17	0,8	0,15	0,41	0,07	0,33	0,06	0,14	9,0	0,01
ME25	4	1,2	0,16	0,7	0,10	0,5	0,10	0,25	0,04	0,24	0,04	0,05	64,2	0,02
ME26	5	0,8	0,24	1,4	0,13	0,6	0,09	0,27	0,04	0,29	0,03	0,03	32,0	0,02
ME28	9	1,1	0,33	1,8	0,16	0,8	0,15	0,53	0,06	0,45	0,05	0,02	3,8	0,13
ME29	3	0,5	0,14	0,7	0,08	0,4	0,06	0,23	0,03	0,16	0,01	0,02	0,9	0,07
ME30	10	2,0	0,45	2,3	0,26	1,5	0,23	0,70	0,12	0,58	0,10	0,37	0,9	0,01
ME31	1	0,3	0,30	0,3	0,03	0,2	0,04	0,10	0,01	0,08	0,01	0,11	1,3	0,06
ME32	6	1,4	0,53	1,4	0,18	0,7	0,14	0,40	0,05	0,30	0,05	0,28	1,8	0,04
ME33	12	2,1	0,50	2,4	0,29	1,5	0,27	0,67	0,11	0,71	0,10	0,07	2,2	0,04
ME34	7	1,2	0,54	1,7	0,21	0,9	0,16	0,46	0,06	0,40	0,06	0,03	3,7	0,05
ME35	17	3,3	0,59	3,7	0,48	2,7	0,41	1,35	0,19	1,21	0,19	0,25	0,6	0,03
ME36	8	1,6	0,40	1,8	0,22	1,2	0,20	0,56	0,09	0,60	0,08	0,22	1,0	0,03
ME37	8	1,4	0,24	1,4	0,18	1,1	0,19	0,55	0,09	0,56	0,07	0,14	6,9	0,13
ME38	3	0,4	0,10	0,5	0,05	0,3	0,05	0,13	0,02	0,11	0,02	0,02	0,9	0,02
MI03	5	0,8	0,28	0,9	0,12	0,6	0,11	0,31	0,04	0,32	0,04	0,07	0,5	0,03
MI04	5	0,9	0,25	1,0	0,12	0,7	0,13	0,37	0,06	0,41	0,06	0,02	0,8	0,01
MI05	9	1,7	0,49	1,9	0,22	1,3	0,22	0,62	0,09	0,51	0,08	0,03	0,4	0,13

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
MI06	4	0,7	0,20	0,7	0,09	0,4	0,09	0,25	0,03	0,23	0,03	0,08	0,01	0,03
MI07	5	0,8	0,23	0,8	0,09	0,5	0,10	0,27	0,04	0,23	0,03	0,01	19,9	0,03
MI08	10	1,8	0,37	1,7	0,20	1,0	0,17	0,44	0,08	0,38	0,06	0,16	0,5	0,02
MI09	12	2,2	0,51	2,1	0,25	1,4	0,24	0,64	0,09	0,56	0,09	0,07	0,5	0,03
MI10	11	1,9	0,40	1,9	0,22	1,1	0,19	0,51	0,08	0,45	0,08	0,02	0,7	0,02
MI100	3	0,7	0,17	0,9	0,10	0,6	0,11	0,29	0,05	0,26	0,04	0,01	0,3	0,01
MI101	6	1,2	0,33	1,2	0,18	0,8	0,17	0,51	0,07	0,42	0,05	0,01	0,8	0,02
MI102	31	2,1	0,39	4,0	0,18	0,9	0,07	0,32	0,03	0,18	0,02	0,01	0,9	0,02
MI103	2	0,2	0,07	0,4	0,04	0,2	0,04	0,09	0,01	0,11	0,01	0,06	0,2	0,02
MI104	9	1,5	0,42	1,8	0,20	1,1	0,19	0,55	0,08	0,60	0,07	0,02	0,9	0,01
MI105	20	4,2	0,99	4,5	0,53	3,3	0,60	1,61	0,23	1,59	0,20	0,79	0,8	0,001
MI106	2	0,4	0,11	0,5	0,06	0,3	0,06	0,14	0,02	0,14	0,02	0,15	0,4	0,004
MI107	0,4	0,03	0,02	0,1	0,01	0,04	0,005	0,04	0,004	0,02	0,003	0,06	0,03	0,12
MI108	9	1,5	0,69	1,9	0,21	1,1	0,18	0,51	0,07	0,51	0,07	0,26	4,4	0,23
MI13	3	0,4	0,11	0,5	0,07	0,4	0,06	0,17	0,02	0,15	0,02	0,003	0,9	0,005
MI14	11	1,8	0,45	2,0	0,27	1,6	0,29	0,75	0,10	0,63	0,09	0,02	0,6	0,07
MI15	4	0,8	0,18	0,9	0,10	0,6	0,11	0,30	0,04	0,27	0,03	0,11	0,7	0,01
MI16	6	0,8	0,24	0,9	0,11	0,5	0,09	0,26	0,04	0,22	0,03	0,03	1,0	0,08
MI17	2	0,3	0,09	0,4	0,04	0,2	0,05	0,12	0,02	0,11	0,02	0,01	0,3	0,04
MI18	11	1,7	0,33	1,8	0,21	1,1	0,18	0,49	0,06	0,40	0,06	0,02	0,8	0,04
MI19	3	0,6	0,12	0,6	0,07	0,4	0,07	0,18	0,03	0,14	0,02	0,04	1,3	0,01
MI20	3	0,6	0,13	0,6	0,08	0,4	0,07	0,21	0,02	0,19	0,02	0,05	2,2	0,03
MI21	4	0,8	0,14	0,8	0,10	0,5	0,09	0,25	0,04	0,21	0,03	0,003	0,2	0,02
MI24	2	0,4	0,08	0,4	0,05	0,2	0,05	0,11	0,02	0,13	0,01	0,02	0,2	0,03
MI25	1	0,2	0,06	0,2	0,01	0,1	0,02	0,07	0,01	0,06	0,003	0,002	0,4	0,01
MI26	6	0,9	0,20	1,0	0,11	0,6	0,10	0,30	0,04	0,25	0,03	0,01	0,5	0,02
MI27	8	1,2	0,26	1,2	0,15	0,9	0,14	0,36	0,05	0,34	0,04	0,02	0,6	0,02
MI29	0,5	0,05	0,02	0,1	0,01	0,1	0,01	0,02	0,002	0,01	0,002	0,05	0,1	0,01
MI30	4	0,5	0,11	0,6	0,07	0,4	0,06	0,17	0,02	0,14	0,01	0,02	0,2	0,01
MI31	5	0,9	0,22	1,0	0,13	0,7	0,11	0,31	0,04	0,26	0,03	0,03	1,6	0,02
MI32	6	1,0	0,20	1,0	0,12	0,6	0,11	0,32	0,04	0,29	0,04	0,02	1,3	0,01
MI34	13	2,2	0,50	2,3	0,31	1,7	0,30	0,88	0,12	0,71	0,10	0,06	3,3	0,03
MI35	11	1,9	0,41	2,0	0,23	1,3	0,21	0,61	0,07	0,51	0,07	0,04	1,2	0,02

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
MI36	5	0,8	0,18	0,9	0,12	0,6	0,11	0,27	0,04	0,25	0,04	0,02	0,7	0,06
MI37	5	1,0	0,21	0,9	0,12	0,6	0,11	0,29	0,04	0,27	0,04	0,05	1,1	0,05
MI38	4	0,6	0,13	0,7	0,06	0,4	0,06	0,17	0,02	0,12	0,02	0,04	0,6	0,33
MI39	9	1,6	0,35	1,6	0,21	1,1	0,23	0,58	0,08	0,46	0,06	0,05	1,3	0,04
MI40	9	1,6	0,33	1,7	0,23	1,1	0,23	0,63	0,08	0,54	0,08	0,06	1,7	0,03
MI41	5	0,9	0,21	0,9	0,11	0,6	0,11	0,33	0,04	0,26	0,04	0,02	0,4	0,04
MI42	5	1,1	0,30	1,6	0,22	1,4	0,30	0,90	0,11	0,73	0,11	0,06	0,3	0,001
MI43	13	1,9	0,44	2,0	0,25	1,2	0,21	0,50	0,06	0,51	0,05	0,03	1,6	0,04
MI44	9	1,8	0,41	2,0	0,27	1,7	0,33	0,89	0,14	0,79	0,13	0,22	0,2	0,01
MI45	8	1,4	0,31	1,3	0,18	1,1	0,18	0,50	0,06	0,42	0,06	0,03	0,5	0,04
MI46	14	2,2	0,48	2,3	0,30	1,5	0,23	0,70	0,09	0,49	0,08	0,07	8,9	0,08
MI47	4	0,6	0,19	0,6	0,07	0,4	0,08	0,18	0,03	0,17	0,02	0,10	0,6	0,07
MI48	5	1,0	0,28	1,0	0,13	0,7	0,13	0,37	0,05	0,32	0,05	0,25	4,5	0,06
MI50	10	1,3	0,19	1,3	0,14	0,6	0,09	0,25	0,03	0,21	0,03	0,02	0,9	0,14
MI51	8	0,9	0,25	1,0	0,12	0,6	0,11	0,29	0,03	0,24	0,04	0,01	0,7	0,03
MI52	4	0,8	0,19	0,8	0,12	0,7	0,13	0,34	0,05	0,32	0,04	0,03	0,4	0,05
MI53	6	1,2	0,22	1,3	0,17	0,9	0,16	0,44	0,06	0,42	0,04	0,02	0,6	0,42
MI54	2	0,4	0,10	0,4	0,07	0,3	0,06	0,20	0,02	0,17	0,02	0,04	0,4	0,01
MI55	23	4,5	0,96	4,6	0,68	3,9	0,79	2,21	0,32	2,10	0,30	0,16	0,6	0,01
MI56	1	0,1	0,03	0,3	0,01	0,1	0,02	0,03	0,004	0,04	0,005	0,02	0,5	0,17
MI57	3	0,5	0,14	0,6	0,09	0,5	0,11	0,30	0,04	0,24	0,03	0,03	1,3	0,03
MI58	5	0,9	0,23	1,0	0,12	0,7	0,12	0,35	0,06	0,32	0,03	0,02	1,0	0,01
MI59	1	0,1	0,03	0,1	0,01	0,1	0,02	0,05	0,01	0,05	0,01	0,03	0,3	0,05
MI60	2	0,4	0,11	0,4	0,05	0,4	0,07	0,20	0,03	0,17	0,02	0,02	0,1	0,04
MI61	17	3,4	0,72	3,6	0,51	3,2	0,65	1,91	0,27	1,94	0,29	0,44	0,3	0,01
MI62	1	0,1	0,03	0,1	0,02	0,1	0,02	0,07	0,01	0,06	0,01	0,02	0,3	0,01
MI63	8	1,6	0,40	1,7	0,22	1,2	0,22	0,65	0,08	0,56	0,08	0,11	0,9	0,09
MI64	4	0,9	0,25	0,9	0,13	0,6	0,12	0,32	0,06	0,31	0,04	0,01	1,5	0,05
MI65	2	0,2	0,06	0,2	0,02	0,1	0,03	0,07	0,01	0,07	0,01	0,01	1,2	0,03
MI67	5	0,9	0,18	0,9	0,11	0,6	0,11	0,30	0,04	0,23	0,03	0,04	2,1	0,07
MI68	10	1,5	0,36	2,2	0,19	1,0	0,19	0,58	0,06	0,57	0,05	0,01	0,7	0,13
MI72	3	0,6	0,22	0,6	0,10	0,5	0,11	0,29	0,05	0,33	0,05	0,19	0,8	0,06
MI73	10	1,7	0,47	2,1	0,25	1,3	0,22	0,60	0,10	0,50	0,10	0,07	0,8	0,01

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
MI74	6	1,0	0,45	1,2	0,17	0,9	0,16	0,43	0,07	0,40	0,07	0,10	0,5	0,04
MI75	5	1,2	0,29	1,2	0,17	0,8	0,15	0,44	0,07	0,43	0,05	0,07	0,9	0,01
MI76	5	0,7	0,18	0,8	0,09	0,5	0,10	0,28	0,05	0,30	0,04	0,14	1,0	0,05
MI77	6	1,0	0,28	1,1	0,14	0,7	0,14	0,41	0,05	0,30	0,05	0,05	0,5	0,01
MI79	6	1,1	0,32	1,3	0,17	0,8	0,15	0,45	0,05	0,35	0,04	0,02	0,6	0,27
MI81	9	1,5	0,30	1,8	0,20	1,1	0,20	0,47	0,07	0,44	0,04	0,02	0,3	0,04
MI83	8	1,3	0,35	1,5	0,18	0,9	0,16	0,49	0,06	0,48	0,05	0,01	0,5	0,06
MI85	11	1,8	0,42	2,1	0,24	1,4	0,22	0,61	0,09	0,51	0,07	0,12	0,9	0,05
MI86	1	0,2	0,08	0,3	0,02	0,2	0,03	0,08	0,01	0,08	0,01	0,03	0,5	0,06
MI87	6	0,9	0,28	1,3	0,16	0,7	0,13	0,37	0,05	0,32	0,04	0,03	0,2	0,03
MI88	26	2,0	0,47	16,8	0,22	1,0	0,13	0,44	0,05	0,37	0,04	0,04	2,3	0,09
MI89	2	0,4	0,13	0,6	0,07	0,4	0,07	0,21	0,03	0,17	0,02	0,02	0,5	0,03
MI90	1	0,2	0,05	0,3	0,02	0,2	0,02	0,07	0,01	0,05	0,01	0,01	0,3	0,02
MI91	12	2,2	0,47	2,5	0,28	1,5	0,24	0,69	0,13	0,68	0,12	0,02	0,5	0,21
MI92	4	0,9	0,23	1,0	0,14	0,7	0,15	0,42	0,05	0,36	0,05	0,06	0,3	0,05
MI93	3	0,6	0,17	0,8	0,09	0,6	0,09	0,22	0,04	0,18	0,03	0,01	0,9	0,02
MI94	2	0,3	0,06	0,4	0,03	0,2	0,03	0,09	0,01	0,09	0,01	0,01	0,2	0,01
MI95	6	1,3	0,35	1,4	0,17	1,0	0,18	0,50	0,10	0,48	0,09	0,06	0,4	0,002
MI96	7	1,2	0,31	1,3	0,13	0,7	0,14	0,43	0,05	0,33	0,05	0,02	0,8	0,002
MI97	6	0,8	0,24	1,2	0,11	0,7	0,11	0,31	0,04	0,35	0,04	0,03	1,5	0,01
MI98	3	0,6	0,20	0,9	0,10	0,5	0,12	0,28	0,05	0,27	0,04	0,01	0,6	0,01
MI99	3	0,5	0,18	0,7	0,07	0,4	0,06	0,18	0,03	0,17	0,02	0,02	0,4	0,08
NA01	0	0,1	0,02	0,1	0,01	0,1	0,02	0,05	0,004	0,05	0,01	0,02	2,7	0,01
NA02	5	0,6	0,18	0,8	0,10	0,5	0,10	0,26	0,04	0,21	0,04	0,02	0,7	0,08
NA03	2	0,5	0,18	0,5	0,07	0,3	0,07	0,20	0,03	0,17	0,02	0,02	1,8	0,04
NA04	2	0,4	0,16	0,4	0,07	0,3	0,07	0,19	0,03	0,17	0,03	0,04	1,0	0,03
NA05	2	0,4	0,13	0,5	0,06	0,3	0,07	0,18	0,02	0,14	0,02	0,03	1,3	0,02
NA06	80	18,2	4,37	18,6	2,24	12,3	1,88	5,29	0,69	4,72	0,61	0,13	12,8	0,02
NA08	6	1,2	0,38	1,6	0,19	1,1	0,20	0,58	0,09	0,54	0,09	0,09	0,7	0,06
PA01	5	0,9	0,32	1,0	0,13	0,7	0,14	0,41	0,05	0,35	0,06	0,37	9,8	0,05
PA03	2	0,5	0,12	0,7	0,10	0,6	0,10	0,30	0,04	0,27	0,04	0,35	0,2	0,02
PH01	15	2,8	0,64	2,7	0,35	1,8	0,30	0,84	0,11	0,67	0,11	0,09	0,4	0,05
PH03	6	0,8	0,25	1,4	0,11	0,5	0,18	0,31	0,04	0,27	0,04	0,04	0,3	0,06

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
PH06	5	1,0	0,24	481,6	0,17	0,7	1,03	0,39	0,04	6,34	0,09	0,08	1,3	0,00
PW04	0,2	0,1	0,01	0,1	0,004	0,03	0,01	0,01	0,001	0,005	0,01	0,01	0,1	0,07
PW05	10	1,4	0,30	1,8	0,17	1,0	0,17	0,45	0,05	0,41	0,05	0,03	0,5	0,05
PW06	6	1,1	0,24	1,1	0,13	0,6	0,11	0,32	0,04	0,29	0,03	0,002	0,3	0,01
PW07	4	0,7	0,26	2,1	0,11	0,7	0,11	0,28	0,03	0,29	0,03	0,33	0,7	0,08
PW08	9	1,7	0,43	2,6	0,21	1,2	0,20	0,56	0,09	0,61	0,08	0,27	0,8	0,03
PW09	0,4	0,05	0,01	0,1	0,01	0,03	0,01	0,02	0,002	0,02	0,004	0,02	0,2	0,01
PW10	7	1,3	0,34	1,7	0,17	1,0	0,16	0,47	0,08	0,46	0,07	0,06	0,7	0,03
PW11	1	0,1	0,02	0,2	0,01	0,1	0,01	0,04	0,001	0,03	0,002	0,004	0,01	0,01
PW12	1	0,1	0,06	0,4	0,03	0,2	0,02	0,09	0,01	0,06	0,01	0,07	0,4	0,02
PW18	1	0,2	0,04	0,2	0,02	0,1	0,02	0,07	0,01	0,04	0,01	0,01	1,2	0,02
PW19	1	0,1	0,02	0,1	0,01	0,1	0,01	0,04	0,005	0,03	0,003	0,02	0,1	0,01
PW20	11	2,1	0,45	1,9	0,26	1,3	0,24	0,69	0,09	0,55	0,08	0,07	3,8	0,04
RE01	22	4,0	0,75	3,7	0,48	2,4	0,42	1,20	0,16	0,91	0,14	0,28	1,1	0,03
RE02	18	3,3	0,64	3,1	0,39	2,1	0,35	0,98	0,13	0,80	0,12	0,20	1,1	0,06
RF01	4	0,7	0,15	0,7	0,10	0,5	0,10	0,25	0,03	0,23	0,03	0,04	0,1	0,01
SR01	5	1,0	0,22	0,9	0,13	0,7	0,12	0,32	0,04	0,26	0,04	0,04	0,1	0,02
SW01	3	0,4	0,30	0,5	0,06	0,3	0,06	0,17	0,02	0,15	0,02	0,13	0,8	0,09
SW03	1	0,1	0,06	0,2	0,02	0,1	0,02	0,04	0,004	0,03	0,004	0,02	0,3	0,04
SW08	18	1,8	0,36	3,0	0,20	1,0	0,13	0,46	0,06	0,41	0,05	0,02	1,2	0,04
TA01	17	3,1	0,75	3,3	0,38	2,1	0,38	1,11	0,13	0,83	0,10	0,64	0,2	0,01
TR01	16	2,6	0,57	6,2	0,42	2,2	0,25	0,84	0,10	0,71	0,10	0,20	6,5	0,29
TX01	7	1,2	0,27	2,8	0,20	1,1	0,15	0,45	0,05	0,39	0,05	0,02	0,7	0,02
TX02	5	0,8	0,22	1,8	0,14	0,8	0,11	0,35	0,04	0,31	0,04	0,004	0,2	0,01
TX05	7	1,1	0,34	1,2	0,16	0,9	0,15	0,40	0,07	0,35	0,06	0,03	2,3	0,04
TX06	1	0,2	0,05	0,2	0,02	0,1	0,03	0,08	0,01	0,06	0,01	0,03	0,1	0,03
VB01	8	0,9	0,31	2,7	0,17	1,0	0,12	0,44	0,04	0,30	0,05	0,01	1,0	0,04
VB02	13	2,3	0,39	4,7	0,33	2,0	0,22	0,73	0,07	0,75	0,09	0,01	0,4	0,01
VB03	6	1,1	0,29	2,2	0,17	0,9	0,13	0,42	0,04	0,34	0,05	0,11	1,2	0,01
VB04	19	1,9	1,85	5,8	1,20	1,2	0,20	0,55	0,08	0,45	0,08	0,14	4,7	0,03
VB05	1	0,2	0,06	0,2	0,03	0,1	0,02	0,06	0,01	0,05	0,01	0,05	12,7	0,003
VB06	3	0,8	0,19	0,9	0,11	0,6	0,10	0,28	0,04	0,22	0,04	0,08	2,0	0,08
VB07	11	2,2	0,47	2,5	0,29	1,5	0,24	0,61	0,11	0,55	0,10	0,08	2,7	0,03

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
VB08	4	1,1	0,44	1,3	0,14	0,7	0,17	0,45	0,06	0,40	0,05	0,31	26,7	0,01
WÄ01	11	0,9	0,23	1,1	0,12	0,6	0,09	0,31	0,04	0,23	0,03	0,02	4,6	0,47
WÄ02	16	0,5	0,22	1,2	0,09	0,5	0,06	0,24	0,04	0,19	0,03	0,33	116,3	1,27
WÄ03	1	0,1	0,04	0,2	0,02	0,1	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,11	4,2	0,06
WÄ04	17	0,8	0,22	1,4	0,12	0,6	0,08	0,28	0,04	0,22	0,04	0,06	28,7	0,03
WÄ05	18	0,3	0,14	1,3	0,09	0,5	0,05	0,18	0,02	0,19	0,03	0,41	235,1	0,78
WÄ07	3	0,6	0,07	0,7	0,08	0,5	0,10	0,31	0,04	0,32	0,04	0,08	1,0	0,07
WÄ08	26	0,5	0,34	3,0	0,17	0,8	0,08	0,37	0,03	0,24	0,03	0,48	268,9	0,97
WÄ11	7	1,3	0,33	1,2	0,15	0,9	0,15	0,42	0,07	0,41	0,06	0,01	2,4	0,05
WB01	9	1,6	0,38	3,5	0,27	1,5	0,24	0,74	0,08	0,62	0,08	0,01	0,4	0,03
WB02	4	0,7	0,20	1,6	0,11	0,6	0,07	0,22	0,02	0,22	0,02	0,02	0,3	0,03
WB03	8	1,2	0,22	2,7	0,19	1,1	0,12	0,32	0,04	0,34	0,05	0,01	0,4	0,01
WB04	14	2,1	0,44	4,8	0,31	1,9	0,20	0,74	0,08	0,57	0,08	0,01	0,9	0,07
WB05	5	0,4	0,20	1,6	0,10	0,4	0,05	0,18	0,01	0,15	0,03	0,01	0,7	0,02
WB06	4	0,5	0,16	0,6	0,08	0,4	0,08	0,21	0,03	0,19	0,03	0,04	1,7	0,01
WB07	4	0,6	0,16	0,6	0,09	0,4	0,06	0,23	0,03	0,22	0,03	0,01	0,8	0,05
WB08	11	1,6	0,29	1,6	0,19	0,9	0,15	0,42	0,05	0,36	0,05	0,01	0,5	0,01
WB09	11	1,7	0,27	1,7	0,20	1,0	0,16	0,43	0,06	0,34	0,04	0,01	0,6	0,07
WB10	5	0,9	0,16	0,9	0,12	0,6	0,09	0,26	0,03	0,22	0,03	0,005	1,7	0,01
WB11	3	0,5	0,17	0,5	0,07	0,4	0,06	0,16	0,02	0,15	0,02	0,02	0,3	0,04
WB12	1	0,2	0,14	0,2	0,02	0,2	0,02	0,07	0,02	0,07	0,01	0,01	1,3	0,03
WB13	3	0,5	0,18	0,5	0,07	0,3	0,07	0,20	0,03	0,17	0,03	0,01	0,3	0,09
WB14	5	0,5	0,17	0,6	0,07	0,4	0,08	0,24	0,03	0,21	0,03	0,03	1,7	0,04
WB15	7	1,0	0,29	1,5	0,17	0,8	0,14	0,38	0,05	0,30	0,03	0,02	0,6	0,13
WB16	6	1,0	0,23	1,1	0,15	0,7	0,10	0,30	0,04	0,23	0,03	0,01	2,9	0,05
WB17	32	6,6	1,04	7,5	0,93	5,2	0,91	2,61	0,37	2,41	0,29	0,22	5,0	0,10
WB18	27	5,4	1,26	5,9	0,80	4,7	0,89	2,30	0,33	2,08	0,26	0,25	0,7	0,03
WB19	2	0,4	0,16	0,5	0,05	0,3	0,06	0,15	0,03	0,14	0,02	0,12	1,6	0,01
WB20	13	1,3	0,31	2,1	0,19	0,9	0,13	0,41	0,03	0,34	0,05	0,02	0,9	0,07
WB22	11	1,3	0,39	1,9	0,18	1,1	0,20	0,46	0,08	0,58	0,07	0,07	0,8	0,05
WB24	1	0,1	0,05	0,2	0,01	0,1	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,01	1,6	0,02
WK01	2	0,5	0,14	0,6	0,08	0,4	0,08	0,23	0,03	0,20	0,02	0,06	0,8	0,05
WR01	2	0,6	0,14	0,6	0,07	0,5	0,08	0,20	0,03	0,22	0,03	0,12	5,9	0,03

mg/kg TM														
Probe	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Hf	W	Pt
X01	10	2,0	1,12	3,5	0,35	2,0	0,29	0,84	0,12	0,77	0,10	0,02	1,1	0,04
X02	19	4,0	0,94	4,6	0,64	3,4	0,57	1,53	0,21	1,40	0,18	0,11	6,7	0,08
X03	8	1,2	0,38	1,4	0,17	0,8	0,19	0,52	0,06	0,38	0,05	0,02	1,0	0,46
X05	7	1,2	0,30	1,5	0,20	0,9	0,17	0,52	0,05	0,40	0,05	0,05	5,3	0,02
X06	11	1,9	0,42	2,3	0,23	1,4	0,22	0,61	0,07	0,51	0,07	0,02	8,1	0,03
X08	20	3,3	0,58	3,8	0,40	2,1	0,29	0,82	0,12	0,65	0,10	0,03	5,7	0,02
X12	4	0,8	1,15	1,2	0,08	0,5	0,07	0,21	0,04	0,15	0,03	0,11	0,7	0,05
X14	15	2,5	0,45	2,7	0,25	1,4	0,23	0,59	0,09	0,48	0,09	0,04	22,0	0,03

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
AB01	0,02	0,6	0,15	256	1,5	1,1
AB02	0,7	0,8	0,08	63	1,5	0,3
AB03	0,1	0,2	0,09	82	1,8	0,6
AB04	0,1	2,1	0,07	22	0,5	0,3
AU01	0,1	0,4	0,21	93	1,7	0,4
AU02	0,4	0,5	0,41	89	0,9	0,5
BA01	0,3	0,9	0,08	41	1,2	0,5
BR01	0,7	7,8	0,09	15	3,2	1,3
BR02	0,02	0,1	0,02	10	0,7	0,3
BT01	0,2	1,5	0,27	4632	1,5	0,6
BW01	0,3	1,7	0,12	56	3,0	0,8
CH01	1,1	4,6	0,19	32	2,8	1,2
CH03	0,7	3,5	0,16	65	0,7	0,8
CH04	0,01	0,1	0,13	45	2,1	1,1
DA01	1,1	1,5	0,36	1238	37,7	1,5
DL01	1,9	15,6	0,08	106	1,2	1,0
DP01	0,03	0,7	0,02	6	1,0	2,4
DP02	1,5	0,7	0,12	28	2,4	0,8
DP03	0,01	0,1	0,05	7	1,0	0,7
DP04	0,1	0,3	0,05	22	0,7	0,4
DP05	0,3	0,8	0,18	44	1,9	0,6
DP06	0,2	3,0	0,07	202	2,6	0,9
DR01	0,3	4,7	0,43	73	3,1	0,5
DR02	0,3	0,6	0,13	70	5,1	0,7
DR03	0,3	1,4	0,43	121	2,0	0,6
DR04	0,4	0,8	0,12	16	0,5	0,3
DR05	0,3	0,9	0,52	40	0,02	0,1
DR06	0,1	0,2	0,10	101	2,1	0,7
DR07	0,3	0,3	0,05	26	1,9	1,7
DR08	0,1	1,5	0,17	103	2,3	1,2
EL01	0,4	3,0	0,06	246	495,3	0,3
EL02	0,02	18,4	0,48	511	6,2	1,2
EL03	1,5	3,8	0,09	82	3,7	1,0

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
EL04	0,6	13,5	2,39	425	96,4	0,5
EL05	0,2	0,4	0,04	41	1,0	0,2
EL06	1,1	2,2	0,10	163	6,9	0,4
EL07	0,4	0,6	0,23	89	7,5	1,5
EL08	0,6	0,8	0,21	141	2,0	0,7
FH02	0,4	5,6	0,23	142	1,4	2,4
FL02	0,9	0,3	0,10	88	0,8	1,0
FO01	1,3	0,5	0,06	43	1,2	0,3
FR01	0,2	3,5	0,20	24	0,5	0,4
FR02	0,5	49,1	3,28	467	4,8	1,1
FR03	0,1	3,7	0,14	248	2,0	0,8
FR04	0,6	10,3	0,07	33	1,3	0,4
FR05	3,1	57,1	0,40	352	0,8	0,6
FR06	1,0	2,8	1,45	80	0,9	0,3
FR07	1,0	2,8	2,37	123	0,2	0,4
FR08	0,3	20,0	1,23	46	1,2	1,3
FR09	2,1	465,5	1,25	304	0,03	2,0
FR10	0,2	69,6	0,17	568	1,1	0,5
FR11	0,1	0,3	0,12	66	0,8	0,5
FR12	0,3	5,7	0,13	247	2,1	1,6
FR13	0,3	2,1	0,20	131	1,9	1,0
FR14	0,6	1,7	1,11	38	0,6	0,4
FR15	3,8	20,6	0,14	128	0,6	0,8
FR17	1,1	4,9	0,11	27	1,6	0,6
GE01	0,05	0,1	0,02	4	0,4	0,1
GG01	0,3	3,0	0,49	66	2,0	0,7
GG02	0,4	0,6	0,47	43	0,4	0,5
GG03	0,4	4,1	0,09	189	1,4	2,3
GG04	0,2	12,7	0,10	220	1,2	1,5
GG05	0,1	1,3	0,07	43	1,0	0,4
GG06	0,5	2,7	0,11	424	0,6	0,4
GG08	0,7	1,0	0,19	47	3,0	0,3
GG10	0,3	0,6	0,17	181	5,2	1,9

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
GG11	1,0	2,8	0,35	67	6,4	1,6
GR01	3,1	1,1	0,04	65	2,1	0,3
GR02	1,5	1,3	0,02	34	0,7	0,1
GR03	2,2	0,8	0,03	82	0,8	0,8
GR04	3,1	0,6	0,03	96	0,5	0,9
GR05	0,5	2,2	0,12	72	0,5	0,7
GR06	0,2	1,3	0,16	10	0,6	0,7
GR07	1,3	0,1	0,07	32	0,8	0,7
GR08	1,4	0,3	0,02	30	0,7	0,6
GR09	1,1	0,3	0,03	38	0,7	0,8
GV01	0,7	2,1	0,07	227	0,6	0,4
GV02	0,4	2,2	0,04	376	1,1	0,5
GV03	0,1	1,7	0,17	550	2,8	1,1
GV04	0,3	3,1	0,17	265	1,2	0,4
GV05	8,5	1,4	0,46	516	4,0	0,9
GV06	2,1	17,7	0,29	128	4,2	0,9
GV07	0,9	3,0	0,42	138	5,7	0,8
GV08	0,7	11,4	0,18	319	3,3	2,2
GV09	28,4	1,6	0,38	220	0,9	1,0
GV10	0,3	4,0	0,03	128	0,9	1,0
GV11	0,2	0,9	0,83	90	1,5	0,3
GV12	0,8	1,4	0,05	69	0,6	0,4
GV13	2,9	3,6	0,17	385	10,7	2,1
GV14	16,3	0,5	0,26	2161	2,3	1,2
HA01	0,1	1,5	0,21	273	4,1	1,3
HA02	0,03	0,2	0,17	71	0,7	0,7
HL01	3,2	1,2	0,90	43	4,3	1,1
HZ01	0,4	0,4	0,81	69	1,6	1,0
KH01	0,9	54,6	0,12	166	3,7	0,6
KH03	0,2	12,4	0,20	61	0,3	0,4
KH04	0,3	5,4	0,10	101	2,2	0,7
KH05	0,3	25,0	0,32	119	1,5	0,7
KH06	0,3	9,3	0,02	10	0,1	0,3

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
KH07	2,7	12,4	0,05	47	0,4	0,5
KH09	0,2	2,3	0,13	21	1,3	0,5
KH10	0,5	14,3	0,14	202	2,2	0,6
KH11	0,02	4,2	0,10	112	2,5	0,7
KH12	4,1	2,3	0,09	87	2,5	1,3
KH13	0,2	5,8	0,10	66	1,4	0,9
KH14	0,2	34,1	0,11	89	0,9	0,6
KL01	0,5	0,7	0,09	35	28,5	1,5
KL02	0,5	1,5	0,09	44	2,3	1,4
KL03	0,4	1,4	0,05	28	0,1	0,6
KL04	0,4	0,6	0,06	33	0,5	2,0
KL05	0,6	2,3	0,16	77	2,6	2,2
KL10	0,4	0,8	0,26	53	1,9	1,2
KL11	0,5	0,7	0,17	63	0,8	1,2
KL12	1,0	0,9	0,19	71	1,5	1,9
KL13	0,8	1,3	0,09	30	0,1	0,4
KL14	0,6	1,8	0,08	32	0,2	1,2
KL15	1,4	1,0	0,24	51	9,0	2,8
KL15a	0,5	2,0	0,39	29	6,2	0,5
KL16	0,4	0,7	0,05	56	0,6	0,3
KL16	0,6	1,2	0,05	68	8,5	0,3
KL17	0,7	0,7	0,07	29	0,9	0,7
KO01	0,3	0,9	0,22	252	0,8	0,2
KO02	0,1	0,4	0,01	0,5	4,6	0,2
KR01	0,2	12,8	0,15	758	3,5	3,8
KR02	10,9	8,1	0,13	302	2,7	1,4
KS01	0,2	0,6	0,14	49	4,9	0,6
KT01	0,2	0,1	0,12	13	0,7	0,4
KU01	0,4	4,5	0,31	237	1,6	1,3
KV01	0,4	7,0	0,14	521	5,8	1,6
KV02	3,2	4,5	0,23	765	5,7	3,1
KV03	0,4	4,2	0,11	421	1,7	0,9
KV04	0,01	0,3	0,16	118	1,0	0,7

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
KW01	0,2	0,8	0,35	197	6,6	1,9
KW02	0,1	0,4	0,30	308	5,7	1,4
KW03	0,3	1,0	0,27	272	3,6	1,1
KW04	0,1	0,4	0,15	182	2,1	0,7
KW05	0,1	0,8	0,28	758	6,9	1,8
KW06	0,2	0,7	0,46	784	6,2	8,9
KW07	0,2	0,4	0,24	139	4,3	2,0
KW08	0,03	6,0	0,33	673	5,6	1,2
KW09	0,2	2,5	0,20	283	2,4	1,2
KW10	0,3	18,3	0,13	81	1,3	0,6
KW11	0,1	0,2	0,09	487	1,0	1,1
KW12	0,01	0,3	0,09	91	4,2	3,5
KW14	0,1	0,5	0,18	223	2,4	2,9
KW15	0,1	0,5	0,14	260	1,2	2,4
KW17	0,02	0,8	0,33	548	2,5	4,7
KW18	0,2	0,6	0,62	385	1,3	4,2
KW20	0,2	0,9	0,19	644	2,3	5,9
KW21	0,1	0,2	0,13	247	0,9	5,2
KW22	0,2	1,1	0,17	413	1,4	7,5
KW23	0,02	0,1	0,07	216	0,5	1,9
KW24	0,2	0,6	0,21	542	1,6	2,8
KW25	0,2	1,4	0,21	411	1,8	2,4
KW26	0,1	1,3	0,40	904	2,9	0,7
KW27	0,02	0,2	0,33	137	4,2	4,2
LA01	0,5	3,0	0,19	449	2,7	0,4
LA02	0,3	2,0	0,21	562	0,5	0,3
LM01	0,1	0,8	0,01	10	3,0	0,2
LP01	0,8	0,7	0,15	154	2,6	1,0
ME01	1,9	2,1	0,09	83	3,4	0,5
ME02	0,1	4,4	0,14	186	5,3	2,6
ME03	0,6	37,5	0,22	138	8,6	1,9
ME04	0,2	2,4	0,05	43	1,2	1,0
ME05	0,2	0,3	0,08	208	2,4	0,9

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
ME06	0,4	0,3	0,11	256	3,5	0,8
ME07	0,7	0,6	0,08	309	3,4	0,7
ME08	0,03	0,7	0,02	30	0,4	0,6
ME09	0,3	12,5	0,22	931	2,7	2,3
ME10	2,9	7,8	0,09	332	2,2	1,3
ME11	0,3	2,2	0,36	233	2,9	1,1
ME12	0,7	1,6	0,23	799	1,2	1,2
ME13	0,6	2,4	0,10	125	2,1	1,3
ME14	0,4	0,6	1,04	72	3,6	0,9
ME15	0,2	1,3	0,09	60	2,3	0,4
ME17	0,5	0,4	0,12	21	0,5	0,6
ME19	0,2	0,6	0,12	82	2,9	0,8
ME20	0,05	0,3	0,05	488	0,7	0,5
ME21	0,04	0,1	0,14	16	0,1	0,1
ME22	0,3	0,6	0,04	141	1,9	0,1
ME23	0,1	0,4	0,13	33	3,0	1,5
ME24	0,1	0,5	0,17	288	9,5	0,7
ME25	1,1	5,0	0,13	70	2,5	0,5
ME26	0,2	1,8	0,14	374	0,5	0,3
ME28	2,5	3,2	0,08	74	0,6	1,1
ME29	0,8	0,1	0,04	33	0,4	0,6
ME30	0,05	0,4	0,11	238	4,4	1,4
ME31	0,3	0,4	0,02	77	1,3	0,4
ME32	0,2	0,6	0,11	1039	2,4	0,9
ME33	0,2	1,4	0,09	131	3,4	1,4
ME34	0,5	1,2	0,17	115	1,5	1,3
ME35	0,3	0,2	0,24	54	5,1	1,4
ME36	0,01	1,4	0,09	124	2,8	1,1
ME37	0,4	0,9	0,55	216	5,2	1,8
ME38	0,7	2,4	0,10	31	0,6	0,7
MI03	0,9	9,8	0,45	86	2,8	0,4
MI04	0,5	3,2	0,41	72	0,8	0,4
MI05	2,4	1,9	0,36	129	0,9	0,8

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
MI06	0,04	0,3	0,09	264	1,0	0,3
MI07	0,5	2,6	0,26	354	3,1	0,4
MI08	0,1	0,04	0,18	38	2,9	0,8
MI09	1,7	3,1	0,23	154	2,4	0,7
MI10	0,6	6,7	0,45	98	7,2	0,7
MI100	0,3	0,3	0,04	10	0,2	0,5
MI101	0,4	2,6	0,07	26	0,9	1,4
MI102	0,9	2,0	0,09	23	0,8	0,7
MI103	1,1	0,4	0,03	14	0,3	0,7
MI104	0,5	2,7	0,09	105	1,2	1,3
MI105	0,03	0,4	0,14	24	7,8	4,9
MI106	0,3	0,7	0,06	15	0,7	0,3
MI107	0,2	0,03	0,005	5	0,1	0,1
MI108	0,3	3,1	0,16	432	2,1	1,2
MI13	0,4	0,7	0,11	47	0,1	0,8
MI14	0,4	0,7	0,22	57	0,7	1,3
MI15	0,03	1,3	0,07	16	0,7	0,3
MI16	1,8	2,6	2,34	166	1,7	8,9
MI17	1,0	0,9	0,07	25	0,5	0,5
MI18	0,8	7,8	0,19	92	2,3	0,7
MI19	0,6	0,4	0,09	56	1,1	0,7
MI20	0,8	0,6	0,09	63	1,2	0,8
MI21	0,2	0,8	0,13	49	0,8	1,8
MI24	0,5	2,7	0,06	42	0,4	0,5
MI25	0,4	3,3	0,08	69	1,0	0,5
MI26	0,8	3,4	0,09	101	0,5	0,7
MI27	0,8	3,5	0,13	162	1,8	0,9
MI29	0,05	0,3	0,02	10	0,7	0,2
MI30	0,2	0,7	0,06	47	0,8	0,3
MI31	0,2	0,8	0,11	86	1,9	0,9
MI32	0,2	1,2	0,12	66	1,2	2,1
MI34	0,6	3,5	0,28	131	4,3	2,5
MI35	0,4	7,5	0,29	208	3,2	1,9

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
MI36	0,3	8,3	0,07	122	1,3	1,1
MI37	0,2	0,9	0,08	182	1,5	1,4
MI38	0,9	2,0	0,08	30	1,0	1,1
MI39	0,2	2,4	0,20	190	3,2	2,0
MI40	0,3	1,6	0,18	371	2,8	1,4
MI41	0,6	1,5	0,14	97	1,2	1,4
MI42	0,002	0,1	0,05	29	0,5	2,4
MI43	1,0	15,8	0,18	677	3,7	2,5
MI44	0,02	0,3	0,06	48	2,5	2,0
MI45	0,8	2,1	0,20	119	1,7	1,8
MI46	0,9	31,2	0,68	348	4,6	1,1
MI47	0,3	1,0	0,08	81	2,0	0,3
MI48	0,5	2,0	0,16	157	1,5	0,9
MI50	3,0	41,1	0,09	50	1,6	0,6
MI51	0,9	0,8	0,16	108	1,1	0,6
MI52	0,9	1,3	0,08	20	0,9	0,7
MI53	0,4	0,9	0,07	38	0,4	1,1
MI54	0,6	0,5	0,05	39	0,6	1,1
MI55	0,2	3,4	0,18	303	6,5	3,7
MI56	0,6	0,7	0,03	9	0,2	0,3
MI57	0,4	5,1	0,11	75	1,0	0,6
MI58	0,7	16,0	0,17	88	1,2	0,9
MI59	0,5	0,8	0,02	14	0,2	0,3
MI60	0,2	0,6	1,25	190	0,5	1,1
MI61	0,04	0,2	0,07	40	3,8	2,1
MI62	0,2	0,6	0,02	12	1,1	0,2
MI63	0,7	7,5	0,11	156	1,7	1,3
MI64	0,4	1,8	0,11	25	2,2	1,8
MI65	0,5	0,9	0,02	12	0,5	0,4
MI67	1,3	2,5	0,22	36	1,4	1,0
MI68	1,7	4,8	0,09	43	1,2	0,8
MI72	0,1	0,4	0,06	53	1,1	0,4
MI73	0,1	7,9	0,10	305	1,0	0,8

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
MI74	0,2	1,1	0,08	63	1,5	1,8
MI75	0,02	0,6	0,10	202	1,5	0,7
MI76	0,1	1,5	0,06	94	2,6	0,4
MI77	0,3	4,2	0,11	64	0,1	0,4
MI79	4,4	11,1	0,47	72	3,3	0,5
MI81	0,3	0,6	0,13	75	3,2	0,4
MI83	1,5	3,0	0,31	101	2,6	0,6
MI85	0,6	1,0	0,16	216	3,3	1,6
MI86	1,4	0,5	0,01	10	0,6	0,2
MI87	0,7	0,2	0,05	15	1,0	0,5
MI88	1,5	7,0	0,14	61	2,1	0,9
MI89	0,6	0,2	0,04	13	0,4	0,5
MI90	0,5	0,005	0,05	7	0,2	0,3
MI91	2,0	0,7	0,10	84	3,6	1,5
MI92	0,3	0,9	0,08	38	4,4	0,5
MI93	0,4	0,6	0,07	16	1,6	0,8
MI94	0,4	0,1	0,02	12	0,6	0,4
MI95	0,8	0,5	0,02	29	1,3	1,0
MI96	0,8	2,1	0,07	47	0,6	0,7
MI97	0,9	28,9	0,10	45	0,6	0,9
MI98	1,0	1,4	0,05	16	0,2	0,5
MI99	0,9	1,9	0,07	31	1,3	1,2
NA01	0,1	0,2	0,19	31	0,3	1,6
NA02	0,6	0,8	0,19	109	1,7	0,5
NA03	0,2	0,6	0,74	54	1,1	0,7
NA04	0,1	0,4	0,10	61	1,9	0,4
NA05	0,1	0,7	0,07	39	0,7	0,3
NA06	0,2	0,5	0,05	18	0,5	0,3
NA08	0,3	0,7	0,11	73	2,5	0,8
PA01	0,6	3,2	0,10	283	1,0	1,6
PA03	0,01	0,01	0,04	3	0,9	0,6
PH01	0,5	0,3	0,15	88	2,0	0,7
PH03	0,4	2,4	0,05	74	1,2	0,7

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
PH06	0,6	3,6	0,09	157	1,2	1,0
PW04	0,6	0,1	0,001	2	0,1	0,1
PW05	0,4	5,4	0,06	15	6,1	1,2
PW06	0,5	0,7	0,05	33	1,8	0,6
PW07	0,4	0,5	0,06	31	1,3	3,2
PW08	0,4	1,7	0,12	63	2,3	1,9
PW09	0,1	0,1	0,01	2	0,5	0,1
PW10	0,5	0,9	0,09	42	1,7	1,1
PW11	0,1	0,7	0,01	11	0,6	0,2
PW12	0,3	1,1	0,03	24	1,6	0,6
PW18	0,6	0,6	0,07	66	0,8	1,1
PW19	0,1	0,9	0,02	13	0,1	0,2
PW20	0,7	7,2	0,22	127	4,2	2,3
RE01	0,03	0,6	0,50	1147	7,3	2,6
RE02	0,1	0,7	0,48	2497	6,4	2,1
RF01	0,03	0,2	0,05	101	7,1	2,5
SR01	0,1	0,7	0,08	44	1,7	0,5
SW01	1,7	0,6	0,14	59	1,3	0,8
SW03	0,7	0,5	0,03	38	1,1	0,6
SW08	0,7	2,9	0,12	74	1,3	1,2
TA01	0,1	0,3	0,44	459	5,0	1,4
TR01	1,3	8,2	0,20	277	17,7	1,8
TX01	0,3	9,7	0,11	67	2,6	0,9
TX02	0,05	2,9	0,05	36	1,5	0,5
TX05	1,0	6,4	0,51	75	0,9	0,7
TX06	0,4	0,4	0,05	24	0,5	0,3
VB01	0,6	2,1	0,08	43	2,5	0,7
VB02	0,2	0,7	0,14	30	5,9	1,2
VB03	0,003	0,4	0,08	136	4,4	1,0
VB04	0,9	1,0	0,10	7991	3,1	0,7
VB05	0,1	2,2	0,19	30	1,1	0,2
VB06	0,03	0,01	0,10	68	1,1	1,0
VB07	0,05	0,2	0,10	220	2,6	1,8

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
VB08	0,1	1,7	0,08	358	1,2	2,9
WÄ01	14,8	1,3	0,11	65	1,0	0,5
WÄ02	13,3	4,0	0,07	140	1,6	1,5
WÄ03	0,4	0,2	0,01	29	0,1	1,2
WÄ04	0,8	5,3	0,11	311	2,5	0,6
WÄ05	13,4	18,8	0,03	441	2,6	7,0
WÄ07	0,1	1,5	0,02	10	1,5	0,5
WÄ08	16,3	20,0	0,04	463	6,3	303,0
WÄ11	0,5	0,2	0,05	46	1,2	0,7
WB01	0,4	3,9	0,10	34	0,2	1,0
WB02	0,5	0,5	0,06	42	10,2	0,9
WB03	0,3	1,8	0,07	15	2,6	1,0
WB04	2,7	5,0	0,08	197	6,8	1,2
WB05	2,0	3,3	0,08	61	1,4	0,8
WB06	0,5	1,0	0,32	22	0,3	0,3
WB07	1,1	0,6	0,14	87	0,7	0,3
WB08	0,6	8,4	0,17	73	2,1	1,3
WB09	1,0	1,0	0,12	53	1,7	0,8
WB10	0,4	1,4	0,13	44	0,6	0,7
WB11	1,0	0,6	0,09	68	0,5	0,3
WB12	0,8	0,4	0,05	39	0,1	0,5
WB13	0,6	4,0	0,06	109	13,1	0,5
WB14	0,7	12,1	0,06	67	0,3	0,6
WB15	0,6	1,2	0,13	35	4,6	0,6
WB16	0,6	0,5	0,09	35	0,3	0,5
WB17	1,3	1,0	0,25	53	7,6	2,8
WB18	0,4	4,5	0,13	42	2,4	2,7
WB19	0,2	3,5	0,04	71	1,0	0,2
WB20	1,8	3,9	0,08	55	0,003	0,5
WB22	0,6	3,3	0,13	97	0,4	1,1
WB24	0,4	0,5	0,48	15	1,6	0,2
WK01	0,4	0,6	0,12	19	2,1	1,1
WR01	0,1	0,2	0,04	16	1,2	0,5

mg/kg TM						
Probe	Au	Hg	Tl	Pb	Th	U
X01	0,2	2,8	0,13	260	2,3	1,1
X02	1,6	1,8	0,13	114	5,8	3,7
X03	4,6	7,7	0,09	45	1,0	1,3
X05	0,2	0,5	0,23	89	1,3	0,5
X06	0,1	0,6	0,22	91	1,5	0,6
X08	0,3	0,8	0,13	38	4,1	0,7
X12	0,1	0,4	0,11	61	2,2	0,5
X14	0,9	1,6	2,06	62	6,2	0,6

11.2 BLEIISOTOPENANTEILE UND -VERHÄLTNISSE IN SIELHÄUTEN

Es werden die prozentualen Anteile der Bleiisotopen vom Gesamtbleigehalt (vgl. Abschnitt 11.1 ab S. 336) und die dimensionslosen Bleiisotopenverhältnisse zueinander angegeben.

a, b, c, d, e: Einzelmessungen

M: Mittelwert über alle Einzelmessungen einer Probe

Probe	Verdünnungs-faktor	Anteil Pb204 (%)	Anteil Pb206 (%)	Anteil Pb207 (%)	Anteil Pb208 (%)	Pb204 / Pb206	Pb207 / Pb206	Pb208 / Pb206
VB04a	10000	1,3628	24,662	21,529	52,453	0,05526	0,8730	2,1269
VB04b	10000	1,3772	24,685	21,545	52,399	0,05579	0,8728	2,1227
VB04c	10000	1,3709	24,712	21,483	52,441	0,05547	0,8693	2,1221
VB04d	10000	1,3645	24,635	21,517	52,490	0,05539	0,8734	2,1307
VB04e	10000	1,3728	24,644	21,498	52,493	0,05571	0,8723	2,1301
VB04m	10000	1,3696	24,668	21,514	52,455	0,05552	0,8722	2,1265
GV03a	1000	1,3702	24,429	21,755	52,453	0,05609	0,8906	2,1472
GV03b	1000	1,3791	24,449	21,835	52,344	0,05641	0,8931	2,1409
GV03c	1000	1,3940	24,471	21,765	52,377	0,05697	0,8895	2,1404
GV03d	1000	1,3710	24,490	21,750	52,395	0,05598	0,8881	2,1394
GV03e	1000	1,3755	24,460	21,812	52,359	0,05623	0,8917	2,1406
GV03m	1000	1,3780	24,460	21,784	52,385	0,05634	0,8906	2,1417
GV05a	1000	1,3837	24,725	21,779	52,120	0,05596	0,8809	2,1080
GV05b	1000	1,3830	24,738	21,767	52,118	0,05591	0,8799	2,1068
GV05c	1000	1,3766	24,626	21,809	52,194	0,05590	0,8856	2,1194
GV05d	1000	1,3937	24,724	21,786	52,103	0,05637	0,8812	2,1073
GV05e	1000	1,3720	24,694	21,762	52,179	0,05556	0,8813	2,1130
GV05m	1000	1,3818	24,702	21,781	52,143	0,05594	0,8818	2,1109
EL04a	1000	1,3775	24,651	21,604	52,375	0,05588	0,8764	2,1247
EL04b	1000	1,3705	24,767	21,670	52,200	0,05533	0,8749	2,1076
EL04c	1000	1,3731	24,671	21,639	52,323	0,05565	0,8771	2,1208
EL04d	1000	1,3616	24,783	21,610	52,252	0,05494	0,8720	2,1083
EL04e	1000	1,3648	24,759	21,620	52,263	0,05512	0,8732	2,1109
EL04m	1000	1,3695	24,726	21,628	52,283	0,05539	0,8747	2,1145
WÄ04a	1000	1,3643	24,689	21,649	52,304	0,05526	0,8769	2,1185
WÄ04b	1000	1,3768	24,687	21,668	52,275	0,05577	0,8777	2,1175
WÄ04c	1000	1,3765	24,618	21,663	52,350	0,05592	0,8800	2,1265
WÄ04d	1000	1,3730	24,676	21,617	52,341	0,05564	0,8761	2,1211
WÄ04e	1000	1,3779	24,657	21,623	52,349	0,05588	0,8769	2,1231
WÄ04m	1000	1,3737	24,665	21,644	52,324	0,05569	0,8775	2,1213
RE01a	1000	1,3654	24,850	21,583	52,208	0,05495	0,8686	2,1010
RE01b	1000	1,3682	24,757	21,540	52,342	0,05527	0,8700	2,1143
RE01c	1000	1,3636	24,789	21,593	52,261	0,05501	0,8711	2,1082
RE01d	1000	1,3705	24,833	21,503	52,300	0,05519	0,8659	2,1061
RE01e	1000	1,3691	24,807	21,596	52,234	0,05519	0,8705	2,1056
RE01m	1000	1,3674	24,807	21,563	52,269	0,05512	0,8692	2,1070
RE02a	1000	1,3719	24,373	21,599	52,663	0,05629	0,8862	2,1607
RE02b	1000	1,3695	24,377	21,550	52,710	0,05618	0,8840	2,1623
RE02c	1000	1,3757	24,359	21,581	52,691	0,05648	0,8859	2,1631
RE02d	1000	1,3703	24,345	21,562	52,729	0,05629	0,8857	2,1659
RE02e	1000	1,3761	24,376	21,609	52,646	0,05645	0,8865	2,1597
RE02m	1000	1,3727	24,366	21,580	52,688	0,05634	0,8857	2,1623
ME09a	1000	1,3755	24,636	21,661	52,334	0,05583	0,8793	2,1243
ME09b	1000	1,3772	24,658	21,697	52,275	0,05585	0,8799	2,1201
ME09c	1000	1,3828	24,697	21,687	52,240	0,05599	0,8781	2,1152

Probe	Verdün-nungs-faktor	Anteil Pb204 (%)	Anteil Pb206 (%)	Anteil Pb207 (%)	Anteil Pb208 (%)	Pb204 / Pb206	Pb207 / Pb206	Pb208 / Pb206
ME09d	1000	1,3786	24,683	21,719	52,227	0,05585	0,8799	2,1159
ME09e	1000	1,3701	24,656	21,662	52,319	0,05557	0,8785	2,1219
ME09m	1000	1,3768	24,666	21,685	52,279	0,05582	0,8791	2,1195
WÄ05a	1000	1,3327	24,718	21,567	52,390	0,05392	0,8725	2,1195
WÄ05b	1000	1,3332	24,635	21,597	52,442	0,05412	0,8767	2,1288
WÄ05c	1000	1,3505	24,601	21,730	52,325	0,05490	0,8833	2,1269
WÄ05d	1000	1,3319	24,633	21,608	52,434	0,05407	0,8772	2,1286
WÄ05e	1000	1,3226	24,700	21,681	52,303	0,05355	0,8778	2,1175
WÄ05m	1000	1,3342	24,657	21,636	52,379	0,05411	0,8775	2,1243
MI43a	1000	1,3801	24,700	21,648	52,278	0,05587	0,8764	2,1165
MI43b	1000	1,3719	24,718	21,630	52,287	0,05550	0,8751	2,1154
MI43c	1000	1,3760	24,735	21,624	52,272	0,05563	0,8742	2,1133
MI43d	1000	1,3675	24,734	21,628	52,277	0,05529	0,8744	2,1136
MI43e	1000	1,3866	24,728	21,578	52,314	0,05608	0,8726	2,1156
MI43m	1000	1,3764	24,723	21,622	52,286	0,05568	0,8746	2,1149
ME12a	1000	1,3519	24,779	21,707	52,169	0,05456	0,8760	2,1054
ME12b	1000	1,4032	24,637	21,579	52,388	0,05695	0,8759	2,1264
ME12c	1000	1,4095	24,663	21,643	52,291	0,05715	0,8776	2,1202
ME12d	1000	1,3799	24,598	21,699	52,331	0,05610	0,8822	2,1275
ME12e	1000	1,3763	24,603	21,768	52,260	0,05594	0,8848	2,1242
ME12m	1000	1,3841	24,656	21,679	52,288	0,05614	0,8793	2,1207
TA01a	1000	1,3707	24,881	21,487	52,269	0,05509	0,8636	2,1008
TA01b	1000	1,3517	24,821	21,425	52,409	0,05446	0,8632	2,1114
TA01c	1000	1,3633	24,870	21,425	52,349	0,05481	0,8615	2,1049
TA01d	1000	1,3679	24,855	21,374	52,411	0,05504	0,8599	2,1087
TA01e	1000	1,3711	24,921	21,466	52,249	0,05502	0,8614	2,0966
TA01m	1000	1,3649	24,870	21,435	52,337	0,05488	0,8619	2,1045
KW05a	1000	1,3846	24,659	21,691	52,272	0,05615	0,8796	2,1198
KW05b	1000	1,3840	24,665	21,665	52,293	0,05611	0,8784	2,1202
KW05c	1000	1,3799	24,631	21,607	52,389	0,05602	0,8772	2,1269
KW05d	1000	1,3775	24,684	21,628	52,316	0,05580	0,8762	2,1194
KW05e	1000	1,3725	24,684	21,634	52,316	0,05560	0,8764	2,1194
KW05m	1000	1,3797	24,665	21,645	52,317	0,05594	0,8776	2,1211
KW06a	1000	1,3562	24,799	21,421	52,432	0,05469	0,8638	2,1143
KW06b	1000	1,3684	24,886	21,432	52,320	0,05499	0,8612	2,1024
KW06c	1000	1,3708	24,934	21,430	52,272	0,05498	0,8595	2,0965
KW06d	1000	1,3629	24,946	21,454	52,243	0,05464	0,8600	2,0942
KW06e	1000	1,3832	24,855	21,462	52,307	0,05565	0,8635	2,1045
KW06m	1000	1,3683	24,884	21,440	52,315	0,05499	0,8616	2,1024
FR10a	1000	1,3140	25,740	21,104	51,849	0,05105	0,8199	2,0144
FR10b	1000	1,3087	25,759	21,080	51,859	0,05081	0,8184	2,0132
FR10c	1000	1,3265	25,739	21,091	51,850	0,05154	0,8194	2,0144
FR10d	1000	1,3161	25,742	21,187	51,762	0,05113	0,8230	2,0108
FR10e	1000	1,3183	25,741	21,124	51,824	0,05122	0,8206	2,0133
FR10m	1000	1,3167	25,744	21,117	51,829	0,05115	0,8203	2,0132
KW08a	1000	1,3687	24,852	21,398	52,388	0,05508	0,8610	2,1080
KW08b	1000	1,3625	24,857	21,475	52,312	0,05481	0,8639	2,1045
KW08c	1000	1,3469	24,886	21,377	52,396	0,05412	0,8590	2,1054
KW08d	1000	1,3551	24,892	21,382	52,378	0,05444	0,8590	2,1042
KW08e	1000	1,3578	24,883	21,434	52,332	0,05457	0,8614	2,1031
KW08m	1000	1,3582	24,874	21,413	52,361	0,05460	0,8609	2,1051

Probe	Verdünnungs-faktor	Anteil Pb204 (%)	Anteil Pb206 (%)	Anteil Pb207 (%)	Anteil Pb208 (%)	Pb204 / Pb206	Pb207 / Pb206	Pb208 / Pb206
BT01a	1000	1,3530	25,108	21,553	51,992	0,05389	0,8584	2,0707
BT01b	1000	1,3542	25,134	21,594	51,924	0,05388	0,8592	2,0659
BT01c	1000	1,3512	25,143	21,608	51,904	0,05374	0,8594	2,0644
BT01d	1000	1,3514	25,074	21,611	51,970	0,05389	0,8619	2,0727
BT01e	1000	1,3563	25,106	21,550	51,995	0,05402	0,8584	2,0711
BT01m	1000	1,3532	25,113	21,583	51,957	0,05389	0,8594	2,0689
EL02a	1000	1,3474	24,714	21,671	52,275	0,05452	0,8769	2,1152
EL02b	1000	1,3735	24,672	21,614	52,347	0,05567	0,8760	2,1217
EL02c	1000	1,4010	24,749	21,535	52,322	0,05661	0,8701	2,1141
EL02d	1000	1,3837	24,794	21,509	52,320	0,05581	0,8675	2,1101
EL02e	1000	1,3735	24,695	21,520	52,417	0,05562	0,8714	2,1226
EL02m	1000	1,3758	24,725	21,570	52,336	0,05564	0,8724	2,1167
KV01a	1000	1,3722	24,838	21,704	52,093	0,05525	0,8738	2,0973
KV01b	1000	1,3558	24,793	21,583	52,275	0,05468	0,8705	2,1084
KV01c	1000	1,3633	24,879	21,621	52,144	0,05480	0,8690	2,0959
KV01d	1000	1,3713	24,834	21,567	52,234	0,05522	0,8684	2,1033
KV01e	1000	1,3569	24,906	21,465	52,280	0,05448	0,8618	2,0991
KV01m	1000	1,3639	24,850	21,588	52,205	0,05489	0,8687	2,1008
KV02a	1000	1,3770	24,767	21,552	52,311	0,05560	0,8702	2,1121
KV02b	1000	1,3730	24,840	21,574	52,220	0,05528	0,8685	2,1023
KV02c	1000	1,3726	24,800	21,575	52,260	0,05535	0,8699	2,1073
KV02d	1000	1,3841	24,757	21,615	52,251	0,05591	0,8731	2,1105
KV02e	1000	1,3810	24,849	21,572	52,204	0,05558	0,8681	2,1008
KV02m	1000	1,3776	24,803	21,578	52,249	0,05554	0,8700	2,1066
EL02a	100	1,3693	24,644	21,328	52,658	0,05556	0,8655	2,1368
EL02b	100	1,3692	24,668	21,330	52,633	0,05551	0,8647	2,1337
EL02c	100	1,3667	24,696	21,305	52,632	0,05534	0,8627	2,1312
EL02d	100	1,3710	24,673	21,330	52,626	0,05557	0,8645	2,1330
EL02e	100	1,3767	24,699	21,328	52,596	0,05574	0,8635	2,1295
EL02m	100	1,3706	24,676	21,324	52,629	0,05554	0,8642	2,1328
KV01a	100	1,3674	24,759	21,286	52,588	0,05523	0,8597	2,1240
KV01b	100	1,3675	24,786	21,316	52,530	0,05517	0,8600	2,1193
KV01c	100	1,3627	24,766	21,335	52,536	0,05502	0,8614	2,1212
KV01d	100	1,3648	24,782	21,286	52,566	0,05507	0,8589	2,1211
KV01e	100	1,3591	24,827	21,270	52,543	0,05474	0,8567	2,1163
KV01m	100	1,3643	24,784	21,298	52,553	0,05505	0,8594	2,1204
KV03a	100	1,3743	24,932	21,456	52,237	0,05512	0,8606	2,0952
KV03b	100	1,3720	24,984	21,414	52,229	0,05492	0,8571	2,0905
KV03c	100	1,3824	24,959	21,476	52,182	0,05539	0,8605	2,0907
KV03d	100	1,3813	24,890	21,485	52,243	0,05550	0,8632	2,0990
KV03e	100	1,3780	24,947	21,399	52,276	0,05524	0,8578	2,0955
KV03m	100	1,3776	24,942	21,446	52,233	0,05523	0,8598	2,0942
VB01a	100	1,3632	24,934	21,388	52,314	0,05467	0,8578	2,0981
VB01b	100	1,3600	24,883	21,396	52,361	0,05466	0,8599	2,1043
VB01c	100	1,3764	24,941	21,304	52,379	0,05519	0,8542	2,1001
VB01d	100	1,3656	25,014	21,289	52,330	0,05459	0,8511	2,0920
VB01e	100	1,3425	24,855	21,349	52,454	0,05401	0,8589	2,1104
VB01m	100	1,3615	24,925	21,345	52,368	0,05463	0,8564	2,1010
WB01a	100	1,3462	25,164	21,367	52,122	0,05350	0,8491	2,0713
WB01b	100	1,3507	25,241	21,281	52,127	0,05351	0,8431	2,0652
WB01c	100	1,3725	25,270	21,282	52,076	0,05431	0,8422	2,0608

Probe	Verdünnungs-faktor	Anteil Pb204 (%)	Anteil Pb206 (%)	Anteil Pb207 (%)	Anteil Pb208 (%)	Pb204 / Pb206	Pb207 / Pb206	Pb208 / Pb206
WB01d	100	1,3442	25,268	21,271	52,116	0,05320	0,8418	2,0625
WB01e	100	1,3660	25,252	21,409	51,972	0,05410	0,8478	2,0582
WB01m	100	1,3559	25,239	21,322	52,083	0,05372	0,8448	2,0636
GV01a	100	1,3787	24,966	21,346	52,309	0,05522	0,8550	2,0952
GV01b	100	1,3659	24,964	21,356	52,314	0,05472	0,8554	2,0955
GV01c	100	1,3714	24,959	21,335	52,333	0,05495	0,8548	2,0968
GV01d	100	1,3550	24,995	21,368	52,281	0,05421	0,8549	2,0916
GV01e	100	1,3454	24,940	21,342	52,371	0,05394	0,8557	2,0999
GV01m	100	1,3633	24,965	21,350	52,322	0,05461	0,8552	2,0958
VB03a	100	1,3448	25,147	21,314	52,194	0,05348	0,8476	2,0756
VB03b	100	1,3652	25,085	21,342	52,207	0,05442	0,8508	2,0812
VB03c	100	1,3569	25,099	21,271	52,273	0,05406	0,8475	2,0827
VB03d	100	1,3733	25,108	21,255	52,263	0,05469	0,8466	2,0815
VB03e	100	1,3536	25,203	21,245	52,199	0,05371	0,8429	2,0711
VB03m	100	1,3588	25,128	21,285	52,227	0,05407	0,8471	2,0784
WB04a	100	1,3875	24,787	21,603	52,222	0,05598	0,8715	2,1069
WB04b	100	1,3848	24,677	21,594	52,343	0,05611	0,8751	2,1211
WB04c	100	1,3828	24,773	21,521	52,323	0,05582	0,8687	2,1121
WB04d	100	1,3831	24,873	21,507	52,237	0,05560	0,8647	2,1001
WB04e	100	1,3916	24,605	21,604	52,398	0,05656	0,8780	2,1296
WB04m	100	1,3859	24,743	21,566	52,305	0,05601	0,8716	2,1139
GR05a	100	1,3721	24,711	21,526	52,390	0,05553	0,8711	2,1201
GR05b	100	1,3824	24,740	21,533	52,344	0,05588	0,8703	2,1157
GR05c	100	1,3802	24,715	21,592	52,312	0,05584	0,8737	2,1166
GR05d	100	1,3684	24,724	21,566	52,341	0,05535	0,8723	2,1170
GR05e	100	1,3522	24,701	21,655	52,291	0,05474	0,8767	2,1170
GR05m	100	1,3711	24,718	21,575	52,336	0,05547	0,8728	2,1173
TX05a	100	1,3545	24,747	21,626	52,272	0,05474	0,8739	2,1122
TX05b	100	1,3785	24,849	21,533	52,239	0,05548	0,8666	2,1023
TX05c	100	1,3744	24,787	21,573	52,266	0,05545	0,8703	2,1086
TX05d	100	1,3822	24,770	21,540	52,308	0,05580	0,8696	2,1117
TX05e	100	1,3580	24,862	21,530	52,250	0,05462	0,8660	2,1016
TX05m	100	1,3695	24,803	21,560	52,267	0,05522	0,8693	2,1073
DR02a	100	1,3659	24,784	21,464	52,386	0,05511	0,8660	2,1137
DR02b	100	1,3637	24,846	21,521	52,269	0,05489	0,8662	2,1037
DR02c	100	1,3565	24,918	21,406	52,320	0,05444	0,8591	2,0997
DR02d	100	1,3667	24,830	21,390	52,414	0,05504	0,8615	2,1109
DR02e	100	1,3781	24,759	21,477	52,385	0,05566	0,8674	2,1157
DR02m	100	1,3662	24,827	21,452	52,355	0,05503	0,8640	2,1087
WÄ01a	100	1,3707	24,776	21,582	52,271	0,05532	0,8711	2,1097
WÄ01b	100	1,3691	24,842	21,579	52,209	0,05512	0,8687	2,1017
WÄ01c	100	1,3773	24,769	21,553	52,301	0,05560	0,8701	2,1115
WÄ01d	100	1,3889	24,814	21,547	52,250	0,05597	0,8683	2,1056
WÄ01e	100	1,3836	24,797	21,492	52,327	0,05580	0,8667	2,1102
WÄ01m	100	1,3779	24,800	21,550	52,271	0,05556	0,8690	2,1077
WB07a	100	1,3704	24,981	21,342	52,307	0,05486	0,8543	2,0939
WB07b	100	1,3664	25,080	21,358	52,195	0,05448	0,8516	2,0811
WB07c	100	1,3640	25,017	21,309	52,309	0,05452	0,8518	2,0909
WB07d	100	1,3706	25,035	21,365	52,229	0,05475	0,8534	2,0863
WB07e	100	1,3656	25,046	21,314	52,274	0,05452	0,8510	2,0871
WB07m	100	1,3674	25,032	21,337	52,263	0,05463	0,8524	2,0878

Probe	Verdünnungs-faktor	Anteil Pb204 (%)	Anteil Pb206 (%)	Anteil Pb207 (%)	Anteil Pb208 (%)	Pb204 / Pb206	Pb207 / Pb206	Pb208 / Pb206
WÄ02a	100	1,3080	24,891	21,551	52,250	0,05255	0,8658	2,0992
WÄ02b	100	1,3225	24,908	21,558	52,211	0,05309	0,8655	2,0961
WÄ02c	100	1,3273	24,873	21,543	52,256	0,05336	0,8661	2,1009
WÄ02d	100	1,3188	24,940	21,556	52,185	0,05288	0,8643	2,0924
WÄ02e	100	1,3135	24,864	21,527	52,295	0,05283	0,8658	2,1032
WÄ02m	100	1,3180	24,895	21,547	52,239	0,05294	0,8655	2,0984
LP01a	100	1,3780	24,849	21,476	52,296	0,05545	0,8643	2,1046
LP01b	100	1,3725	24,956	21,433	52,238	0,05499	0,8588	2,0932
LP01c	100	1,3753	24,942	21,429	52,253	0,05514	0,8591	2,0950
LP01d	100	1,3725	24,974	21,476	52,177	0,05496	0,8599	2,0892
LP01e	100	1,3601	24,943	21,480	52,217	0,05453	0,8612	2,0935
LP01m	100	1,3717	24,933	21,459	52,236	0,05502	0,8607	2,0951
WÄ05a	100	1,3351	24,638	21,421	52,605	0,05419	0,8694	2,1351
WÄ05b	100	1,3372	24,710	21,439	52,513	0,05412	0,8677	2,1252
WÄ05c	100	1,3337	24,630	21,415	52,621	0,05415	0,8695	2,1365
WÄ05d	100	1,3376	24,713	21,409	52,539	0,05412	0,8663	2,1259
WÄ05e	100	1,3314	24,680	21,463	52,525	0,05395	0,8696	2,1282
WÄ05m	100	1,3350	24,674	21,430	52,561	0,05410	0,8685	2,1302
ME12a	100	1,3730	24,756	21,612	52,258	0,05546	0,8730	2,1110
ME12b	100	1,3708	24,731	21,602	52,295	0,05543	0,8735	2,1146
ME12c	100	1,3711	24,714	21,633	52,282	0,05548	0,8753	2,1155
ME12d	100	1,3806	24,717	21,623	52,279	0,05586	0,8748	2,1151
ME12e	100	1,3767	24,852	21,522	52,249	0,05540	0,8660	2,1024
ME12m	100	1,3745	24,754	21,598	52,273	0,05552	0,8725	2,1117
TA01a	100	1,3598	24,768	21,216	52,656	0,05490	0,8566	2,1260
TA01b	100	1,3560	24,820	21,211	52,612	0,05463	0,8546	2,1197
TA01c	100	1,3524	24,777	21,206	52,664	0,05458	0,8559	2,1255
TA01d	100	1,3576	24,805	21,227	52,610	0,05473	0,8557	2,1209
TA01e	100	1,3563	24,811	21,212	52,620	0,05467	0,8550	2,1209
TA01m	100	1,3564	24,796	21,214	52,632	0,05470	0,8556	2,1226
RF01a	100	1,3773	24,974	21,434	52,215	0,05515	0,8583	2,0908
RF01b	100	1,3696	24,980	21,461	52,189	0,05483	0,8591	2,0892
RF01c	100	1,3750	24,958	21,500	52,166	0,05509	0,8615	2,0902
RF01d	100	1,3856	24,997	21,418	52,199	0,05543	0,8568	2,0883
RF01e	100	1,3574	25,032	21,409	52,201	0,05423	0,8553	2,0854
RF01m	100	1,3730	24,988	21,445	52,194	0,05494	0,8582	2,0888
GG10a	100	1,3713	24,979	21,453	52,196	0,05490	0,8588	2,0895
GG10b	100	1,3741	25,002	21,402	52,221	0,05496	0,8560	2,0887
GG10c	100	1,3712	24,952	21,492	52,184	0,05495	0,8613	2,0914
GG10d	100	1,3715	24,974	21,384	52,270	0,05492	0,8563	2,0930
GG10e	100	1,3745	24,997	21,466	52,162	0,05498	0,8587	2,0867
GG10m	100	1,3725	24,981	21,440	52,207	0,05494	0,8582	2,0899
WB11a	100	1,3837	24,868	21,539	52,209	0,05564	0,8661	2,0995
WB11b	100	1,3654	24,825	21,447	52,362	0,05500	0,8639	2,1092
WB11c	100	1,3768	24,833	21,467	52,323	0,05544	0,8644	2,1070
WB11d	100	1,3870	24,803	21,526	52,284	0,05592	0,8679	2,1079
WB11e	100	1,3629	24,795	21,547	52,295	0,05497	0,8690	2,1091
WB11m	100	1,3752	24,825	21,505	52,295	0,05539	0,8663	2,1066
EL06a	100	1,4015	24,309	21,949	52,340	0,05765	0,9029	2,1531
EL06b	100	1,4145	24,284	22,006	52,295	0,05825	0,9062	2,1535
EL06c	100	1,3987	24,249	22,045	52,307	0,05768	0,9091	2,1571

Probe	Verdün-nungs-faktor	Anteil Pb204 (%)	Anteil Pb206 (%)	Anteil Pb207 (%)	Anteil Pb208 (%)	Pb204 / Pb206	Pb207 / Pb206	Pb208 / Pb206
EL06d	100	1,4115	24,311	22,006	52,270	0,05806	0,9052	2,1500
EL06e	100	1,4111	24,317	22,018	52,254	0,05803	0,9055	2,1489
EL06m	100	1,4074	24,294	22,005	52,293	0,05793	0,9058	2,1525
SR01a	100	1,3745	24,869	21,438	52,318	0,05527	0,8620	2,1037
SR01b	100	1,3828	24,918	21,351	52,347	0,05549	0,8569	2,1008
SR01c	100	1,3718	24,898	21,459	52,271	0,05510	0,8619	2,0995
SR01d	100	1,3785	24,922	21,433	52,266	0,05531	0,8600	2,0971
SR01e	100	1,3630	24,952	21,490	52,194	0,05462	0,8613	2,0918
SR01m	100	1,3741	24,912	21,434	52,279	0,05516	0,8604	2,0986
VB01a	10	1,3561	24,843	21,237	52,569	0,05459	0,8549	2,1161
VB01b	10	1,3596	24,794	21,232	52,619	0,05484	0,8563	2,1222
VB01c	10	1,3610	24,819	21,268	52,557	0,05484	0,8569	2,1176
VB01d	10	1,3475	24,823	21,231	52,603	0,05429	0,8553	2,1191
VB01e	10	1,3603	24,787	21,230	52,627	0,05488	0,8565	2,1232
VB01m	10	1,3569	24,813	21,240	52,595	0,05469	0,8560	2,1197
WB01a	10	1,3542	24,962	21,253	52,436	0,05425	0,8514	2,1007
WB01b	10	1,3502	25,012	21,220	52,423	0,05398	0,8484	2,0959
WB01c	10	1,3499	24,979	21,191	52,485	0,05404	0,8483	2,1012
WB01d	10	1,3457	25,049	21,173	52,437	0,05372	0,8453	2,0934
WB01e	10	1,3563	25,025	21,233	52,390	0,05420	0,8485	2,0935
WB01m	10	1,3513	25,005	21,214	52,435	0,05404	0,8484	2,0969
WB03a	10	1,3569	25,088	21,229	52,330	0,05409	0,8462	2,0858
WB03b	10	1,3524	25,078	21,226	52,348	0,05393	0,8464	2,0874
WB03c	10	1,3528	25,115	21,240	52,297	0,05387	0,8457	2,0823
WB03d	10	1,3428	25,049	21,206	52,407	0,05361	0,8466	2,0922
WB03e	10	1,3455	25,139	21,258	52,262	0,05352	0,8456	2,0789
WB03m	10	1,3501	25,094	21,232	52,329	0,05380	0,8461	2,0853
WB06a	10	1,3637	24,621	21,488	52,533	0,05539	0,8728	2,1337
WB06b	10	1,3678	24,666	21,468	52,503	0,05545	0,8704	2,1286
WB06c	10	1,3728	24,769	21,465	52,398	0,05542	0,8666	2,1155
WB06d	10	1,3673	24,746	21,426	52,466	0,05525	0,8658	2,1201
WB06e	10	1,3771	24,684	21,497	52,447	0,05579	0,8709	2,1247
WB06m	10	1,3697	24,697	21,469	52,469	0,05546	0,8693	2,1245
GE01a	10	1,3434	24,922	21,554	52,186	0,05391	0,8649	2,0940
GE01b	10	1,3530	24,898	21,522	52,231	0,05434	0,8644	2,0978
GE01c	10	1,3544	24,857	21,477	52,316	0,05449	0,8640	2,1047
GE01d	10	1,3315	24,889	21,431	52,354	0,05350	0,8610	2,1035
GE01e	10	1,3587	24,928	21,484	52,234	0,05450	0,8619	2,0954
GE01m	10	1,3482	24,899	21,494	52,264	0,05415	0,8632	2,0991
WÄ01a	10	1,3615	24,613	21,376	52,654	0,05532	0,8685	2,1393
WÄ01b	10	1,3557	24,468	21,415	52,766	0,05540	0,8752	2,1565
WÄ01c	10	1,3661	24,509	21,262	52,868	0,05574	0,8675	2,1570
WÄ01d	10	1,3472	24,568	21,318	52,771	0,05484	0,8677	2,1479
WÄ01e	10	1,3519	24,560	21,396	52,697	0,05504	0,8712	2,1456
WÄ01m	10	1,3565	24,544	21,353	52,751	0,05527	0,8700	2,1492
LM01a	10	1,3539	24,740	21,536	52,376	0,05473	0,8705	2,1171
LM01b	10	1,3575	24,811	21,483	52,354	0,05471	0,8658	2,1101
LM01c	10	1,3583	24,784	21,498	52,364	0,05481	0,8674	2,1128
LM01d	10	1,3633	24,839	21,477	52,325	0,05488	0,8647	2,1065
LM01e	10	1,3662	24,828	21,497	52,314	0,05503	0,8658	2,1071
LM01m	10	1,3598	24,800	21,498	52,347	0,05483	0,8669	2,1107

Probe	Verdünnungs-faktor	Anteil Pb204 (%)	Anteil Pb206 (%)	Anteil Pb207 (%)	Anteil Pb208 (%)	Pb204 / Pb206	Pb207 / Pb206	Pb208 / Pb206
DP03a	10	1,3287	25,062	21,387	52,227	0,05302	0,8534	2,0839
DP03b	10	1,3332	25,118	21,360	52,194	0,05308	0,8504	2,0779
DP03c	10	1,3630	25,040	21,348	52,254	0,05443	0,8525	2,0868
DP03d	10	1,3615	25,020	21,265	52,358	0,05441	0,8499	2,0926
DP03e	10	1,3820	24,999	21,351	52,273	0,05528	0,8540	2,0910
DP03m	10	1,3537	25,048	21,342	52,261	0,05404	0,8520	2,0864
WB12a	10	1,3368	24,969	21,328	52,372	0,05354	0,8542	2,0975
WB12b	10	1,3384	24,828	21,254	52,585	0,05391	0,8561	2,1180
WB12c	10	1,3472	24,895	21,259	52,504	0,05411	0,8539	2,1090
WB12d	10	1,3509	24,982	21,177	52,496	0,05407	0,8477	2,1014
WB12e	10	1,3482	24,978	21,231	52,448	0,05397	0,8500	2,0998
WB12m	10	1,3443	24,930	21,250	52,481	0,05392	0,8524	2,1051
DP04a	10	1,3854	24,626	21,706	52,288	0,05626	0,8814	2,1233
DP04b	10	1,3816	24,651	21,631	52,340	0,05604	0,8775	2,1232
DP04c	10	1,3746	24,579	21,627	52,425	0,05593	0,8799	2,1329
DP04d	10	1,3753	24,668	21,530	52,432	0,05575	0,8728	2,1255
DP04e	10	1,3718	24,548	21,604	52,482	0,05588	0,8801	2,1379
DP04m	10	1,3777	24,614	21,619	52,393	0,05597	0,8783	2,1286
SR01a	10	1,3593	24,668	21,366	52,612	0,05510	0,8661	2,1328
SR01b	10	1,3540	24,650	21,321	52,680	0,05493	0,8649	2,1371
SR01c	10	1,3584	24,737	21,309	52,600	0,05491	0,8614	2,1263
SR01d	10	1,3639	24,696	21,324	52,621	0,05523	0,8634	2,1307
SR01e	10	1,3555	24,658	21,304	52,687	0,05497	0,8640	2,1367
SR01m	10	1,3582	24,682	21,325	52,640	0,05503	0,8640	2,1327
WB09a	100	1,3397	24,745	21,439	52,481	0,05414	0,8664	2,1208
WB09b	100	1,3628	24,738	21,512	52,393	0,05509	0,8696	2,1179
WB09c	100	1,3570	24,788	21,433	52,427	0,05474	0,8646	2,1150
WB09d	100	1,3311	24,746	21,433	52,494	0,05379	0,8661	2,1213
WB09e	100	1,3464	24,785	21,514	52,360	0,05432	0,8680	2,1126
WB09m	100	1,3474	24,761	21,466	52,431	0,05442	0,8669	2,1175

11.3 DIOXIN- UND FURANGEHALTE IN SIELHÄUTEN

Die bestimmten Werte werden in **pg/g T**rocken**m**asse (entspricht ng/kg) angegeben.

Werte unterhalb der Nachweisgrenze werden mit **n.n.** (nicht nachweisbar) angegeben.

Die homologenspezifischen Nachweisgrenzen sind in Abschnitt 7.3.2 angegeben.

pg/g TM		PW02	KL08	KL09	KH15	PH02	WB25	MI01	X04	TX08	MI02	FR16	GE02	WÄ09	PW17	WÄ10
TeCDD	1368	n.n.	n.n.	6,9	3,2	4,0	2,9	2,2	6,0	3,8	8,5	4,3	0,8	12,5	0,8	1,8
	1379	n.n.	n.n.	3,0	1,9	2,4	1,7	1,4	3,6	2,3	5,2	2,6	0,5	7,6	0,4	1,0
	1378	n.n.	n.n.	1,5	1,8	2,1	3,4	1,7	6,8	2,7	5,5	3,2	1,4	6,0	n.n.	0,6
	1369/1247/1248	n.n.	n.n.	2,0	n.n.	1,1	n.n.	1,0	2,8	2,4	n.n.	n.n.	n.n.	48,8	n.n.	0,6
	1268	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6,0	n.n.	n.n.
	1478	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3
	2378	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4
	1237	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7,3	n.n.	n.n.
	1234/1246/1249/1238	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,8	1,5	2,0	3,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	61,7	n.n.	0,5
	1236/1279	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5
	1278/1469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1239	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	44,0	n.n.	n.n.
	1269	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6
	1267	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	14,8	n.n.	n.n.
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PeCDD	12479/12468	n.n.	3,7	20,5	21,1	3,8	3,9	28,5	44,0	33,0	40,1	3,3	1,3	1901,7	1,5	2,4
	12368	n.n.	2,6	9,9	8,9	3,1	4,3	8,3	15,2	9,9	11,9	2,0	0,7	439,1	0,8	1,7
	12478	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	1,0	1,0	0,6	1,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12379	n.n.	1,1	4,3	4,0	1,9	1,6	6,4	7,3	4,8	5,3	n.n.	n.n.	208,2	0,4	0,9
	12469/12347	n.n.	n.n.	2,9	n.n.	1,2	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	0,7
	12378	n.n.	2,4	3,2	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12369	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12467	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1	n.n.	1,1	n.n.	1,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,2
	12489	n.n.	n.n.	5,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12346	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12367	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,0	n.n.	n.n.
	12389	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
HxCDD	124679/124689/123468	11,1	12,7	22,0	15,2	15,4	6,2	1,6	78,9	8,5	7,7	0,1	6,1	11,1	12,7	22,0
	123679/123689	12,1	17,2	24,2	18,3	18,7	5,8	1,2	156,9	7,3	7,0	0,1	n.n.	12,1	17,2	24,2
	123478	1,1	0,9	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1	0,9	n.n.
	123678	4,9	6,1	6,8	5,3	6,4	n.n.	0,7	79,2	2,2	1,9	n.n.	n.n.	4,9	6,1	6,8
	123469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	123789	2,3	4,9	3,2	3,7	3,6	n.n.	n.n.	32,1	1,4	1,1	n.n.	n.n.	2,3	4,9	3,2
	123467	n.n.	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	n.n.

pg/g TM		PW02	KL08	KL09	KH15	PH02	WB25	MI01	X04	TX08	MI02	FR16	GE02	WÄ09	PW17	WÄ10
HpCDD	1234679	16,1	472,3	2917,4	32,2	74,6	82,8	77,8	131,1	101,5	101,5	32,1	5,7	358,7	83,1	29,5
	1234678	18,6	783,6	3741,4	43,4	92,6	91,7	100,8	132,8	110,0	116,3	39,9	8,3	294,5	78,4	37,3
OCDD	12346789	249,6	6018,6	49078,7	306,8	884,5	1010,2	843,6	1178,6	969,6	1001,6	394,8	79,7	1401,9	786,9	317,0
TeCDF	1368	n.n.	n.n.	1,2	0,5	0,7	0,7	0,8	1,2	0,7	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5
	1378/1379	n.n.	7,9	n.n.	0,8	1,1	1,0	1,5	2,2	1,6	1,0	0,5	0,2	0,8	n.n.	n.n.
	1347	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	1,0	0,8	0,8	n.n.	0,1	0,6	n.n.	0,5
	1468	n.n.	n.n.	2,7	1,3	0,5	1,8	1,4	3,4	3,3	3,7	1,5	0,2	2,3	0,6	1,5
	1247	n.n.	1,3	n.n.	n.n.	1,5	1,5	n.n.	2,5	n.n.	n.n.	1,9	0,2	n.n.	n.n.	1,1
	1367	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	1,4	n.n.	n.n.	n.n.	1,9	2,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1348	n.n.	10,5	2,4	n.n.	0,6	0,9	0,6	1,5	1,0	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0
	1346/1248	n.n.	n.n.	n.n.	1,6	2,0	n.n.	n.n.	2,3	1,6	2,0	2,1	0,4	2,1	n.n.	n.n.
	1246/1268	n.n.	n.n.	3,1	n.n.	1,5	3,9	1,1	3,0	1,4	1,7	1,0	n.n.	2,2	n.n.	1,4
	1478/1369/1237	n.n.	n.n.	3,1	1,5	2,4	n.n.	1,7	4,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,4
	1678/1234	n.n.	n.n.	1,5	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5
	2468/1238/1467/1236	n.n.	2,7	7,6	1,4	2,7	2,3	1,7	4,4	3,7	3,4	1,5	0,3	2,0	n.n.	2,9
	1349	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1278	n.n.	n.n.	2,9	0,8	1,6	1,7	3,3	2,5	2,2	2,5	n.n.	0,2	n.n.	n.n.	1,8
	1267/1279	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	1,4	0,9	1,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1
	1469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	2368/1249	n.n.	n.n.	4,2	1,4	2,6	1,7	2,1	3,4	3,2	2,6	1,3	n.n.	6,2	n.n.	1,4
	2467	n.n.	n.n.	3,8	0,8	2,8	1,8	3,5	3,5	2,5	2,8	1,2	n.n.	3,1	n.n.	1,3
	1239/2347	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	0,7	0,7	n.n.	1,5	1,3	1,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1
	1269	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	2378	n.n.	n.n.	3,2	1,4	2,4	2,0	2,8	3,3	2,7	3,3	1,2	0,3	n.n.	n.n.	2,4
	2348	n.n.	n.n.	1,5	0,6	0,9	0,7	0,5	1,6	1,2	1,2	0,6	0,1	2,0	n.n.	0,9
	2346	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6
	2367	n.n.	n.n.	2,4	0,9	2,1	1,7	1,7	3,2	2,5	2,3	1,3	0,3	n.n.	n.n.	2,1
	3467	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PeCDF	13468	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	0,7	1,1	1,0	1,6	1,3	1,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4
	12468	n.n.	n.n.	18,4	1,4	2,1	1,9	1,4	3,4	2,7	3,0	1,0	0,2	3,5	n.n.	2,2
	13678	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	0,6	1,0	1,4	1,1	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5
	13479	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	1,1	0,8	n.n.	n.n.	2,5	n.n.	n.n.	2,5	n.n.	n.n.
	12368/13478	n.n.	n.n.	4,6	1,8	6,0	3,7	5,5	7,4	5,9	7,2	4,6	0,4	7,7	0,6	1,8

pg/g TM		PW02	KL08	KL09	KH15	PH02	WB25	MI01	X04	TX08	MI02	FR16	GE02	WÄ09	PW17	WÄ10
PeCDF	12478	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	n.n.
	12479/13467	n.n.	n.n.	1,6	0,7	1,3	1,3	1,1	2,9	2,3	2,6	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	0,8
	12467	n.n.	n.n.	1,3	0,7	1,2	1,2	0,8	2,6	1,9	2,2	0,8	0,2	n.n.	n.n.	1,0
	14678/12347	n.n.	n.n.	1,3	1,0	1,6	1,4	2,0	3,2	2,7	2,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,2
	13469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12348/12378	n.n.	n.n.	2,4	1,2	1,9	1,9	2,6	4,6	3,0	3,7	1,3	0,2	1,4	n.n.	1,6
	12346	n.n.	n.n.	2,4	n.n.	1,2	n.n.	1,1	1,8	2,3	2,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,7
	12379	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,2	n.n.	n.n.
	12367	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	0,6	0,8	1,0	2,0	1,6	1,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6
	12469/12678	n.n.	n.n.	1,6	1,0	1,4	n.n.	n.n.	3,4	2,8	2,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0
	12679	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12369	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	23468	n.n.	n.n.	3,8	1,0	1,5	1,5	1,5	3,1	2,2	2,4	0,8	n.n.	6,2	n.n.	1,0
	12349	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12489	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	23478	n.n.	n.n.	3,3	0,9	2,1	1,7	1,8	3,9	3,2	3,3	1,7	0,5	1,5	n.n.	1,5
	12389	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	23467	n.n.	n.n.	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	2,4	3,4	2,0	1,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,9
HxCDF	123468	n.n.	3,3	30,4	2,0	3,6	3,9	8,1	7,0	5,1	7,2	1,9	0,3	4,4	1,1	2,6
	134678/134679	n.n.	n.n.	3,5	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	11,2	8,0	10,9	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	1,2
	124678	n.n.	8,4	78,4	3,3	6,1	6,9	7,4	13,1	9,9	12,6	2,1	0,6	6,2	2,4	3,0
	124679	n.n.	n.n.	1,9	0,3	0,6	0,7	1,1	1,7	1,2	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3
	123478/123479	n.n.	2,3	7,6	2,1	2,8	3,3	6,0	8,4	6,7	8,5	1,3	0,5	2,7	1,0	2,1
	123678	n.n.	1,6	6,0	1,9	2,3	2,8	6,1	7,1	5,6	7,5	0,9	0,3	2,6	0,9	1,2
	124689	n.n.	16,9	100,5	1,4	3,9	2,9	3,4	4,8	3,9	5,3	1,8	0,4	3,8	n.n.	2,0
	123467	n.n.	n.n.	5,2	2,1	2,5	3,3	4,7	8,9	6,8	9,7	0,9	0,2	1,9	0,9	1,5
	123679	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	0,6	1,1	0,8	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	123469/123689	n.n.	n.n.	4,7	0,8	0,8	0,8	1,6	2,2	1,7	2,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5
	123789	n.n.	1,2	6,2	n.n.	0,6	1,0	1,1	1,6	1,2	1,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3
	123489	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	0,8	n.n.	0,9	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3
	234678	n.n.	1,4	5,8	1,9	2,4	3,1	4,6	6,9	5,4	7,2	n.n.	0,4	2,4	0,9	1,2
HpCDF	1234678	4,0	43,6	283,4	18,2	30,1	44,2	61,3	79,7	61,0	88,1	10,1	1,9	32,6	12,7	9,6
	1234679	n.n.	n.n.	3,1	1,9	1,7	3,2	5,6	6,5	5,6	7,5	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	0,5
	1234689	2,8	98,1	498,1	4,0	16,5	19,0	23,1	19,6	18,2	22,7	5,7	1,2	11,7	6,4	7,4
	1234789	n.n.	3,0	15,5	1,0	1,3	1,8	4,0	3,1	3,3	4,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8
OCDF	12346789	6,5	223,6	1255,5	36,8	93,4	126,4	160,6	176,5	155,9	225,0	44,3	3,4	71,8	26,6	21,4

pg/g TM		KL24	PW16	PW13	PW14	PW15	KL23	GR10	GR11	KL18	KL19	SR01	DP04	MI48	BT01	AB03
TeCDD	1368	n.n.	5,7	0,7	4,0	1,7	22,9	2,4	1,9	0,1	0,1	1,5	5,2	6,6	0,8	1,2
	1379	n.n.	3,5	0,5	n.n.	0,7	13,3	n.n.	1,3	n.n.	0,1	1,1	2,7	3,6	0,6	0,7
	1378	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	3,8	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	0,5	1,7	2,1	n.n.	n.n.
	1369/1247/1248	n.n.	n.n.	0,5	3,9	n.n.	10,9	n.n.	0,7	n.n.	0,1	0,8	2,1	2,1	n.n.	n.n.
	1268	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	n.n.
	1478	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.
	2378	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	1,3	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1	n.n.	0,9
	1237	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	n.n.	5,5	n.n.	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	n.n.
	1234/1246/1249/1238	n.n.	n.n.	n.n.	2,0	n.n.	19,5	n.n.	n.n.	n.n.	0,1	n.n.	n.n.	1,6	n.n.	n.n.
	1236/1279	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	n.n.	1,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	n.n.
	1278/1469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	n.n.
	1239	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1269	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1267	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PeCDD	12479/12468	n.n.	4,4	n.n.	16,4	1,4	151,2	6,4	4,0	0,3	1,2	2,4	13,1	13,9	n.n.	1,9
	12368	n.n.	2,4	n.n.	4,6	0,9	60,7	3,8	2,4	0,1	0,3	1,3	4,0	7,7	n.n.	1,3
	12478	n.n.	n.n.	n.n.	2,0	n.n.	8,9	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	0,9	1,3	1,5	n.n.	0,4
	12379	n.n.	2,1	n.n.	2,7	0,4	26,2	n.n.	1,3	0,1	0,2	0,9	2,1	5,0	n.n.	0,8
	12469/12347	n.n.	n.n.	1,6	16,4	0,5	43,3	n.n.	1,3	0,1	0,1	1,0	4,5	3,3	n.n.	n.n.
	12378	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	0,7	3,9	n.n.	n.n.	n.n.	0,1	1,1	1,6	2,0	n.n.	n.n.
	12369	n.n.	n.n.	n.n.	2,0	n.n.	2,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	0,9	n.n.	n.n.
	12467	n.n.	n.n.	n.n.	1,6	n.n.	2,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12489	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	3,0	n.n.	n.n.	n.n.	0,1	1,1	1,5	0,9	n.n.	n.n.
	12346	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	10,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12367	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	n.n.
	12389	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	n.n.	1,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
HxCDD	124679/124689/123468	0,1	6,1	6,5	113,3	4,3	490,3	20,8	16,5	0,5	0,7	7,0	61,0	31,6	3,0	n.n.
	123679/123689	0,1	n.n.	5,1	51,7	6,1	580,7	37,3	24,7	0,6	0,9	8,2	68,9	24,6	2,3	n.n.
	123478	n.n.	n.n.	1,3	5,1	n.n.	9,9	n.n.	0,9	n.n.	0,1	1,3	n.n.	1,7	n.n.	n.n.
	123678	n.n.	n.n.	1,2	10,6	2,2	122,2	10,7	8,3	0,2	0,3	3,0	10,9	6,5	n.n.	3,1
	123469	n.n.	n.n.	1,9	16,9	n.n.	11,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	n.n.
	123789	n.n.	n.n.	n.n.	3,9	1,4	49,4	n.n.	3,6	0,1	0,2	2,8	5,7	7,0	n.n.	n.n.
	123467	n.n.	n.n.	1,2	7,1	n.n.	9,2	n.n.	n.n.	n.n.	0,1	n.n.	n.n.	2,8	n.n.	n.n.

pg/g TM		KL24	PW16	PW13	PW14	PW15	KL23	GR10	GR11	KL18	KL19	SR01	DP04	MI48	BT01	AB03
HpCDD	1234679	0,5	23,2	51,9	632,9	41,8	2126,6	345,4	300,0	2,7	4,6	49,6	328,6	153,1	12,2	69,0
	1234678	0,5	28,0	45,4	654,5	55,0	2841,9	566,8	415,7	3,3	5,6	75,2	437,1	159,0	17,1	89,6
OCDD	12346789	4,7	320,6	398,6	6913,4	605,1	16187,0	5307,5	4864,9	30,3	53,2	627,3	2854,0	2202,0	158,1	1042,0
TeCDF	1368	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	1,0	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	0,5	9,8	1,6	0,4	0,4
	1378/1379	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	0,7	0,7	2,2	0,4	n.n.
	1347	n.n.	n.n.	0,8	0,8	n.n.	0,9	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	0,4	4,8	1,6	0,5	0,4
	1468	n.n.	n.n.	n.n.	2,2	0,7	3,8	2,0	2,0	0,1	0,1	1,2	n.n.	4,1	0,4	1,2
	1247	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	2,1	0,1	0,1	0,9	1,5	1,9	n.n.	0,5
	1367	n.n.	n.n.	n.n.	2,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,6	0,4	n.n.
	1348	n.n.	n.n.	1,9	1,8	0,4	1,4	n.n.	1,2	n.n.	0,1	0,5	1,1	2,6	n.n.	0,4
	1346/1248	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7,0	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	1,2	n.n.
	1246/1268	n.n.	n.n.	n.n.	2,5	0,8	2,3	2,9	2,1	0,1	0,1	0,8	2,4	4,7	1,1	0,6
	1478/1369/1237	n.n.	n.n.	n.n.	5,9	0,9	3,4	3,7	2,8	0,1	0,2	1,1	3,0	8,0	n.n.	0,9
	1678/1234	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	0,5	1,5	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	0,3	1,1	2,0	n.n.	n.n.
	2468/1238/1467/1236	n.n.	n.n.	0,6	6,5	1,9	6,2	n.n.	3,6	0,2	0,2	1,6	5,2	9,4	0,7	1,5
	1349	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	n.n.	n.n.
	1278	n.n.	n.n.	0,6	2,7	0,8	2,4	3,9	1,9	0,1	0,1	1,0	1,9	5,5	0,4	4,3
	1267/1279	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	1,3	n.n.	0,8	n.n.	0,1	0,6	n.n.	3,7	0,4	0,4
	1469	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	0,3	n.n.	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	1,1	1,2	n.n.	n.n.
	2368/1249	n.n.	n.n.	0,7	2,6	0,8	3,0	4,0	3,0	0,1	0,2	0,8	4,0	4,1	0,6	1,8
	2467	n.n.	n.n.	n.n.	1,9	0,8	2,2	5,3	3,7	0,1	0,2	0,6	2,4	4,9	0,4	0,6
	1239/2347	n.n.	n.n.	n.n.	1,4	0,6	1,3	3,8	1,4	n.n.	0,1	0,7	2,8	4,0	n.n.	0,6
	1269	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	n.n.
	2378	n.n.	n.n.	1,7	5,9	0,7	2,8	2,2	2,1	0,1	0,1	1,0	3,0	8,4	0,9	5,4
	2348	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	0,3	1,1	1,8	1,0	0,1	0,1	0,5	1,3	4,3	0,2	0,7
	2346	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	n.n.	0,8	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	n.n.
	2367	n.n.	n.n.	n.n.	5,0	0,7	3,1	2,5	2,3	0,1	0,1	1,0	2,9	8,4	0,7	1,4
	3467	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PeCDF	13468	1,1	n.n.	1,0	n.n.	0,7	n.n.	0,1	0,8	3,1	3,0	0,4	0,5	1,1	n.n.	1,0
	12468	n.n.	1,9	4,6	3,1	2,6	0,1	0,2	3,6	4,4	6,1	0,8	1,3	n.n.	1,9	4,6
	13678	n.n.	n.n.	2,1	n.n.	n.n.	0,1	0,1	1,2	0,9	2,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,1
	13479	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12368/13478	4,7	1,7	4,3	5,3	5,8	0,3	0,4	1,8	9,5	8,9	1,0	0,9	4,7	1,7	4,3

pg/g TM		KL24	PW16	PW13	PW14	PW15	KL23	GR10	GR11	KL18	KL19	SR01	DP04	MI48	BT01	AB03
PeCDF	12478	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12479/13467	2,0	n.n.	1,6	n.n.	1,2	0,1	0,1	1,0	2,3	5,0	0,8	0,5	2,0	n.n.	1,6
	12467	3,0	n.n.	1,8	1,8	1,2	0,1	0,1	1,0	2,1	5,5	0,6	0,6	3,0	n.n.	1,8
	14678/12347	2,8	n.n.	2,0	n.n.	1,1	0,1	0,1	1,2	2,1	6,6	0,7	1,0	2,8	n.n.	2,0
	13469	0,7	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	0,6
	12348/12378	3,4	n.n.	2,7	n.n.	1,4	0,1	0,2	1,4	3,3	8,4	0,6	1,1	3,4	n.n.	2,7
	12346	1,2	0,6	1,3	n.n.	1,3	0,1	0,1	0,6	1,1	2,8	n.n.	0,6	1,2	0,6	1,3
	12379	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12367	1,1	0,5	1,3	n.n.	0,6	n.n.	0,1	0,6	1,2	3,3	0,5	0,4	1,1	0,5	1,3
	12469/12678	2,1	n.n.	1,5	n.n.	0,9	0,1	0,1	1,0	1,9	5,5	n.n.	0,8	2,1	n.n.	1,5
	12679	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12369	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	23468	2,4	0,7	2,8	2,6	1,5	0,1	0,1	1,1	2,1	5,5	n.n.	0,9	2,4	0,7	2,8
	12349	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12489	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	23478	4,8	0,8	2,7	3,8	2,4	0,1	0,2	1,1	2,7	7,9	0,7	0,9	4,8	0,8	2,7
	12389	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	23467	2,3	0,6	1,6	2,4	1,2	0,1	0,2	1,5	2,6	7,5	n.n.	0,7	2,3	0,6	1,6
HxCDF	123468	8,3	2,1	5,0	5,7	3,8	0,2	0,3	5,3	5,0	10,0	0,6	1,1	8,3	2,1	5,0
	134678/134679	2,9	0,7	2,9	1,7	1,2	0,2	0,4	3,3	4,5	13,6	0,5	2,1	2,9	0,7	2,9
	124678	14,4	4,4	16,6	12,8	8,7	0,4	0,6	9,9	10,7	20,6	0,8	2,6	14,4	4,4	16,6
	124679	0,7	0,4	0,6	n.n.	0,5	n.n.	0,1	0,6	0,9	2,4	n.n.	0,2	0,7	0,4	0,6
	123478/123479	4,3	1,0	3,5	1,9	1,8	0,2	0,4	2,6	5,2	14,1	0,8	2,2	4,3	1,0	3,5
	123678	2,4	1,0	3,2	2,3	1,6	0,2	0,3	2,4	3,7	10,5	0,7	1,2	2,4	1,0	3,2
	124689	16,5	1,6	16,7	9,7	7,4	0,2	0,3	3,4	10,0	8,2	0,8	3,0	16,5	1,6	16,7
	123467	2,9	0,5	1,8	2,2	1,1	0,2	0,3	3,0	4,0	13,3	0,6	0,8	2,9	0,5	1,8
	123679	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,2	0,5	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	123469/123689	1,2	0,5	0,8	n.n.	0,5	0,1	0,1	0,9	1,6	3,5	n.n.	0,5	1,2	0,5	0,8
	123789	1,0	n.n.	0,7	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	0,7
	123489	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	0,6	2,0	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.
	234678	2,8	0,9	6,4	4,0	1,7	0,1	0,3	2,2	3,2	9,7	0,6	0,7	2,8	0,9	6,4
HpCDF	1234678	48,2	13,1	51,4	70,4	45,4	2,1	4,0	33,6	50,2	103,6	3,8	13,8	48,2	13,1	51,4
	1234679	1,3	0,6	0,5	n.n.	0,6	0,2	0,3	2,5	3,2	9,7	n.n.	1,4	1,3	0,6	0,5
	1234689	72,5	6,8	38,3	49,4	36,7	1,1	1,6	23,6	47,8	41,2	3,2	15,7	72,5	6,8	38,3
	1234789	2,5	0,6	0,9	n.n.	1,2	0,1	0,2	1,9	4,3	7,2	n.n.	2,4	2,5	0,6	0,9
OCDF	12346789	172,0	19,4	39,4	196,7	128,1	6,4	12,0	65,0	134,2	232,4	9,8	57,5	172,0	19,4	39,4

pg/g TM		FH01	PH05	FL01	DR07	ME23	ME21	DP06	PH03	SW01	ME19	AB04	ME22	HA01	SW02	HA02
TeCDD	1368	2,6	5,0	2,7	0,9	0,9	1,5	4,0	1,3	13,0	1,9	n.n.	13,4	12,7	2,8	4,9
	1379	1,7	3,2	1,1	0,7	1,6	1,0	2,3	0,7	5,1	1,4	n.n.	6,2	7,6	n.n.	4,1
	1378	n.n.	1,5	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	3,7	3,8	n.n.	n.n.
	1369/1247/1248	n.n.	3,9	1,7	0,6	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,3	5,5	n.n.	n.n.
	1268	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,6	n.n.	4,1
	1478	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	n.n.	n.n.
	2378	n.n.	1,1	n.n.	0,7	1,1	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	4,0	n.n.	n.n.
	1237	n.n.	1,9	1,9	0,6	0,6	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,6	2,1	n.n.	3,6
	1234/1246/1249/1238	n.n.	2,1	31,1	0,9	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,0	5,6	n.n.	3,8
	1236/1279	n.n.	1,5	0,9	0,6	n.n.	1,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,6	2,4	n.n.	4,0
	1278/1469	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,6	2,3	n.n.	5,0
	1239	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1269	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1267	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,8	n.n.	n.n.
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,2	n.n.	n.n.
PeCDD	12479/12468	6,2	7,7	69,2	2,3	2,6	1,8	5,4	4,0	8,3	4,2	1,1	25,3	45,2	2,7	8,4
	12368	4,2	5,3	38,7	1,4	2,2	1,4	2,5	2,2	4,0	2,7	1,2	19,3	29,3	2,3	5,3
	12478	0,8	1,6	0,9	0,6	1,1	n.n.	1,5	0,9	n.n.	1,1	n.n.	4,4	15,9	n.n.	2,8
	12379	2,1	3,0	19,9	0,9	1,0	n.n.	1,6	0,8	1,2	1,7	n.n.	7,7	15,0	n.n.	2,4
	12469/12347	0,9	3,5	2,7	1,2	1,3	n.n.	1,1	0,5	1,4	1,2	n.n.	3,9	8,7	n.n.	2,2
	12378	0,7	1,4	3,1	0,8	1,2	n.n.	1,2	1,0	1,4	n.n.	n.n.	3,7	15,2	n.n.	3,0
	12369	n.n.	2,0	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,4	3,6	n.n.	n.n.
	12467	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,2	3,7	n.n.	n.n.
	12489	2,8	n.n.	1,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,9	n.n.	3,1	9,2	n.n.	2,8
	12346	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,6	4,2	n.n.	n.n.
	12367	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,5	3,6	n.n.	n.n.
	12389	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,4	4,0	n.n.	n.n.
HxCDD	124679/124689/123468	21,5	21,2	29,9	4,5	9,7	1,7	13,9	6,7	26,0	12,7	5,2	1110,7	252,3	6,2	20,7
	123679/123689	21,2	16,7	25,6	5,1	12,9	n.n.	12,2	9,0	16,3	11,1	7,9	4770,2	631,3	7,2	26,7
	123478	1,1	2,1	3,2	n.n.	2,4	n.n.	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6,8	15,1	n.n.	4,1
	123678	4,6	5,2	9,2	2,6	4,4	n.n.	3,0	2,9	4,7	4,5	2,5	2732,7	149,2	1,8	8,4
	123469	4,3	n.n.	7,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5,7	4,1	n.n.	n.n.
	123789	5,1	4,2	5,7	2,4	2,9	n.n.	2,1	n.n.	3,6	6,0	n.n.	321,5	110,2	1,5	7,8
	123467	2,0	1,7	6,2	n.n.	n.n.	n.n.	1,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6,0	8,3	n.n.	n.n.

pg/g TM		FH01	PH05	FL01	DR07	ME23	ME21	DP06	PH03	SW01	ME19	AB04	ME22	HA01	SW02	HA02
HpCDD	1234679	269,5	93,8	284,7	14,8	85,1	3,7	57,0	54,4	118,3	71,1	69,6	31000,3	647,8	41,8	138,9
	1234678	290,7	121,3	271,9	18,5	91,8	5,1	76,4	70,2	170,1	97,8	91,9	57324,6	820,0	49,2	172,2
OCDD	12346789	2332,4	1029,9	2366,0	155,0	914,1	39,9	545,5	650,6	1242,1	821,6	857,3	125634,6	3920,4	516,6	979,3
TeCDF	1368	1,2	1,3	0,6	0,5	0,7	n.n.	0,9	n.n.	6,5	1,4	n.n.	3,5	7,3	0,5	1,9
	1378/1379	11,1	3,3	1,2	1,0	1,4	n.n.	1,2	0,3	0,7	2,2	n.n.	6,4	12,3	0,5	1,3
	1347	3,4	1,8	0,9	0,4	1,0	n.n.	0,5	0,4	0,5	1,1	n.n.	2,4	5,0	n.n.	1,7
	1468	17,4	5,0	1,0	0,7	1,0	n.n.	1,6	0,4	1,7	2,8	n.n.	9,9	13,7	1,3	2,4
	1247	4,3	4,6	1,4	0,9	0,8	n.n.	0,6	n.n.	1,4	1,5	n.n.	n.n.	7,0	n.n.	2,7
	1367	4,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	n.n.	1,5	1,2	n.n.	n.n.	6,9	0,5	n.n.
	1348	16,9	3,7	n.n.	0,4	1,8	n.n.	0,5	0,3	1,4	1,1	n.n.	n.n.	3,7	n.n.	2,7
	1346/1248	62,2	16,8	n.n.	1,2	2,9	n.n.	n.n.	n.n.	4,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	n.n.
	1246/1268	10,3	6,0	1,4	1,1	1,2	n.n.	1,2	0,5	2,1	2,5	0,5	6,0	17,0	0,4	2,5
	1478/1369/1237	101,4	18,2	2,6	1,1	1,9	n.n.	1,6	0,8	2,7	2,7	0,7	n.n.	19,8	0,5	3,3
	1678/1234	0,8	1,6	0,8	0,8	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	2,0	n.n.	1,7	9,0	n.n.	1,0
	2468/1238/1467/1236	39,0	13,7	3,4	2,4	3,8	0,9	1,9	1,2	3,3	5,0	0,6	13,2	31,9	0,4	4,3
	1349	n.n.	0,4	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	n.n.
	1278	12,3	38,3	1,8	n.n.	1,9	0,6	1,3	0,6	1,5	2,8	n.n.	8,2	15,8	0,4	3,3
	1267/1279	4,9	3,2	1,2	0,5	n.n.	n.n.	0,6	0,5	1,1	1,0	n.n.	4,5	6,9	n.n.	n.n.
	1469	2,3	1,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,5	1,1	n.n.	1,5
	2368/1249	12,9	5,0	1,5	1,1	1,9	n.n.	1,4	0,7	3,1	2,5	0,7	6,0	16,4	n.n.	2,8
	2467	5,5	2,8	1,3	0,6	n.n.	n.n.	0,8	0,5	1,7	2,5	n.n.	4,7	13,5	n.n.	2,7
	1239/2347	4,6	3,7	0,9	1,0	1,4	n.n.	1,0	n.n.	4,3	2,0	n.n.	6,1	11,8	1,6	1,9
	1269	0,7	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,2	1,5	n.n.	n.n.
	2378	71,1	115,6	3,0	1,5	2,2	n.n.	1,8	0,9	2,8	3,5	0,4	20,5	16,5	1,4	3,2
	2348	16,9	8,7	1,1	0,7	1,4	n.n.	0,3	0,2	0,7	1,5	n.n.	11,3	8,7	n.n.	1,7
	2346	1,2	0,7	0,6	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,2	n.n.	n.n.	10,1	n.n.	n.n.
	2367	51,4	13,7	2,5	1,2	1,9	n.n.	1,1	0,5	1,8	3,0	n.n.	15,5	21,1	0,5	3,5
	3467	2,3	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,6	n.n.	n.n.	13,0	n.n.	n.n.
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PeCDF	13468	8,6	2,5	1,0	0,5	0,9	0,3	1,1	0,5	0,9	2,1	0,4	4,7	9,8	0,4	1,5
	12468	25,9	5,3	3,4	1,1	1,3	1,0	2,1	1,6	2,2	3,8	0,6	106,3	84,2	0,9	7,8
	13678	3,9	1,5	1,1	0,4	n.n.	n.n.	1,0	0,5	n.n.	2,0	n.n.	3,4	8,5	n.n.	n.n.
	13479	1,1	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	1,1	1,7	1,7	2,0	2,0	n.n.	n.n.
	12368/13478	97,6	14,7	4,6	1,9	1,4	n.n.	3,1	1,9	7,3	5,4	0,7	19,4	31,5	1,9	3,2

	pg/g TM	FH01	PH05	FL01	DR07	ME23	ME21	DP06	PH03	SW01	ME19	AB04	ME22	HA01	SW02	HA02
PeCDF	12478	121,4	29,2	n.n.	n.n.	2,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12479/13467	51,5	7,6	1,8	0,8	0,8	n.n.	1,9	0,5	1,3	2,4	n.n.	8,2	15,9	0,6	1,8
	12467	67,4	9,6	2,1	0,8	0,9	n.n.	1,8	0,6	1,6	2,8	1,1	11,4	15,8	0,6	2,0
	14678/12347	49,2	9,6	1,8	0,8	0,8	n.n.	1,9	0,7	0,7	3,6	0,5	13,3	19,7	0,5	2,0
	13469	2,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,2	n.n.	n.n.
	12348/12378	39,4	49,2	1,9	1,0	1,0	n.n.	2,4	n.n.	1,6	4,4	0,6	44,2	23,3	0,7	3,0
	12346	6,3	2,4	0,6	0,5	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	1,8	n.n.	n.n.	11,6	0,4	1,5
	12379	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	16,4	n.n.	n.n.	n.n.
	12367	8,8	3,1	0,9	0,4	n.n.	n.n.	1,1	n.n.	0,9	2,1	n.n.	4,0	10,1	n.n.	1,9
	12469/12678	10,1	12,9	1,4	0,7	1,0	n.n.	2,0	0,7	1,0	3,2	n.n.	7,9	17,6	0,4	3,3
	12679	0,7	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,6	3,3	n.n.	n.n.
	12369	0,8	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	1,2	n.n.	n.n.
	23468	8,9	3,7	5,4	0,8	1,2	n.n.	1,5	0,8	1,7	2,7	n.n.	22,1	21,8	0,6	2,0
	12349	n.n.	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	2,0	n.n.	n.n.
	12489	1,2	4,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	4,7	n.n.	n.n.
	23478	86,1	32,8	2,3	1,3	1,7	n.n.	2,2	0,9	2,0	3,7	n.n.	51,1	20,7	0,8	2,4
	12389	n.n.	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,1	n.n.	n.n.
	23467	32,1	8,1	1,7	0,9	1,2	n.n.	2,0	n.n.	1,2	n.n.	n.n.	7,9	23,1	0,5	3,3
HxCDF	123468	10,6	5,1	3,3	1,3	1,5	n.n.	3,7	2,3	3,6	5,5	0,5	156,0	90,4	1,3	3,5
	134678/134679	28,2	7,1	1,8	1,3	1,0	n.n.	5,8	1,0	1,5	7,9	1,0	56,9	43,0	0,9	3,0
	124678	39,0	12,0	7,5	2,2	3,0	n.n.	7,3	5,7	5,6	10,6	1,3	2468,5	221,5	2,5	9,4
	124679	2,4	1,6	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	1,1	n.n.	n.n.	1,6	n.n.	6,6	8,5	n.n.	n.n.
	123478/123479	67,5	46,8	2,8	1,5	1,6	n.n.	4,6	1,2	2,0	7,4	0,7	169,3	43,6	1,1	3,2
	123678	7,7	10,9	2,1	1,3	1,1	n.n.	4,1	0,9	1,4	5,8	0,6	64,3	38,9	0,8	2,1
	124689	9,9	6,3	5,5	n.n.	1,7	n.n.	2,8	3,2	2,3	3,0	1,8	20341,3	189,1	1,7	6,0
	123467	53,3	8,8	1,7	0,9	1,0	n.n.	5,4	1,0	1,5	8,2	0,5	n.n.	44,3	0,9	2,5
	123679	1,0	0,7	n.n.	1,1	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	1,1	n.n.	n.n.	4,1	n.n.	n.n.
	123469/123689	3,3	3,2	0,7	0,4	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	n.n.	1,9	n.n.	88,1	16,0	n.n.	n.n.
	123789	0,3	1,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	n.n.
	123489	1,2	3,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	2,0	n.n.	8,2	6,6	n.n.	n.n.
	234678	15,4	6,0	2,0	1,2	1,5	n.n.	4,3	n.n.	1,7	5,8	0,7	53,5	34,7	1,0	2,8
HpCDF	1234678	31,4	30,9	21,4	7,3	10,0	0,9	40,4	17,3	18,4	54,4	6,5	28512,7	774,5	9,9	30,4
	1234679	1,9	2,4	0,9	0,6	n.n.	n.n.	4,7	n.n.	1,0	7,3	n.n.	17,5	33,7	n.n.	1,4
	1234689	21,7	21,0	30,1	3,2	7,4	0,9	12,8	15,0	9,9	16,2	8,6	111778,9	483,5	8,0	21,4
	1234789	5,2	5,8	1,9	0,7	0,9	n.n.	2,9	0,7	1,4	4,0	0,6	1446,6	29,9	0,7	2,2
OCDF	12346789	38,5	96,5	69,0	12,6	18,1	3,2	71,6	51,2	42,4	102,7	20,1	163067,7	1313,7	35,9	49,7

pg/g TM		WÄ07	AU02	ME17	KH07	WÄ06	GG11	CH01	KW26	MI67	ME14	HL01	KW13	KW16	TX07	PA02
TeCDD	1368	n.n.	2,9	2,1	n.n.	8,3	1,7	1,1	10,9	2,9	8,5	1,9	1,7	1,7	18,1	2,3
	1379	n.n.	1,8	1,5	n.n.	5,0	1,1	0,8	6,4	1,9	5,7	1,4	1,1	0,9	9,1	2,1
	1378	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	14,3	0,6	n.n.	6,6	1,2	4,1	0,5	n.n.	n.n.	7,4	n.n.
	1369/1247/1248	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	17,0	1,1	n.n.	9,9	n.n.	3,3	1,1	n.n.	n.n.	3,9	n.n.
	1268	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	9,9	n.n.	n.n.	4,0	n.n.	1,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1478	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,1	n.n.	n.n.	2,2	n.n.	0,7	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	2378	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	82,9	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	1,4	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1237	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	10,5	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	2,0	0,6	n.n.	n.n.	2,5	n.n.
	1234/1246/1249/1238	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	51,2	1,1	n.n.	5,5	n.n.	2,8	1,3	n.n.	n.n.	2,6	n.n.
	1236/1279	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	6,2	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	2,7	0,7	n.n.	n.n.	2,2	n.n.
	1278/1469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,4	1,1	n.n.	4,0	n.n.	2,5	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1239	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	55,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1269	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1267	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	20,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PeCDD	12479/12468	4,6	n.n.	2,8	n.n.	2800,9	4,6	1,3	23,2	3,9	21,2	5,2	5,0	4,7	23,0	n.n.
	12368	1,9	3,6	1,7	n.n.	691,7	2,3	0,7	13,7	2,2	11,7	2,9	3,0	2,7	9,1	n.n.
	12478	0,9	0,6	1,1	n.n.	2,6	1,1	n.n.	7,5	n.n.	4,5	1,2	n.n.	0,8	3,4	n.n.
	12379	0,7	1,8	1,2	n.n.	322,7	1,5	n.n.	9,5	1,1	8,3	1,7	1,6	1,6	5,7	n.n.
	12469/12347	0,6	1,3	n.n.	n.n.	2,8	1,7	n.n.	8,4	1,5	3,7	1,9	1,4	1,0	3,6	n.n.
	12378	1,0	1,6	n.n.	n.n.	17,7	1,3	1,2	7,7	1,8	5,3	1,6	2,1	n.n.	2,0	n.n.
	12369	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,9	n.n.	n.n.	3,3	n.n.	1,8	0,4	n.n.	n.n.	0,9	n.n.
	12467	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,9	n.n.	1,1	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12489	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,4	1,7	n.n.	6,2	1,9	3,2	4,4	1,8	n.n.	n.n.	n.n.
	12346	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	1,1	n.n.
	12367	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,7	n.n.	n.n.	4,5	n.n.	1,6	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	n.n.
	12389	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	n.n.	4,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
HxCDD	124679/124689/123468	75,1	10,7	9,9	n.n.	244,0	18,3	3,7	34,1	13,5	59,9	16,9	9,5	6,8	69,0	1,1
	123679/123689	203,4	8,8	11,1	n.n.	194,5	20,2	4,1	29,2	14,1	92,1	14,7	9,9	9,0	65,1	1,7
	123478	3,2	n.n.	n.n.	n.n.	2,7	1,7	n.n.	5,0	1,1	5,6	1,3	n.n.	1,7	2,2	n.n.
	123678	45,4	n.n.	4,1	n.n.	94,3	5,8	1,7	8,3	4,2	20,0	4,2	4,0	2,7	11,8	n.n.
	123469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,9	n.n.	1,9	0,7	n.n.	n.n.	2,0	n.n.
	123789	15,1	3,0	2,2	n.n.	38,3	3,8	n.n.	8,6	3,4	16,1	2,8	n.n.	2,1	78,5	n.n.
	123467	n.n.	3,4	n.n.	n.n.	n.n.	3,1	n.n.	6,8	3,2	10,8	12,0	n.n.	n.n.	82,6	n.n.

pg/g TM		WÄ07	AU02	ME17	KH07	WÄ06	GG11	CH01	KW26	MI67	ME14	HL01	KW13	KW16	TX07	PA02
HpCDD	1234679	889,4	32,8	93,3	19,0	655,0	138,4	22,2	54,6	126,1	477,8	90,3	34,1	34,0	437,8	4,9
	1234678	1487,6	39,4	108,5	38,5	453,1	154,7	26,7	68,9	136,7	947,3	105,9	57,1	57,3	450,8	7,5
OCDD	12346789	9698,9	328,6	1100,4	191,0	3732,9	1331,9	226,8	323,2	1384,5	5825,0	1074,7	497,9	369,4	4601,7	64,9
TeCDF	1368	0,3	0,6	0,4	n.n.	1,1	0,8	0,3	3,5	0,4	3,9	0,8	0,8	0,4	9,5	n.n.
	1378/1379	0,5	0,9	0,5	n.n.	n.n.	1,2	0,3	5,7	0,7	5,9	1,3	0,7	0,4	8,1	n.n.
	1347	0,4	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	1,6	0,6	5,3	1,3	0,7	1,0	1,1	0,5	14,6	n.n.
	1468	1,0	0,6	1,3	n.n.	3,8	1,9	n.n.	n.n.	n.n.	3,9	4,1	1,2	0,6	26,2	n.n.
	1247	n.n.	0,7	1,0	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	7,8	0,8	3,1	0,8	1,3	0,4	51,1	n.n.
	1367	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	n.n.	7,7	n.n.	2,9	1,0	0,7	0,4	n.n.	n.n.
	1348	n.n.	0,9	0,7	n.n.	3,9	1,8	0,4	5,0	0,6	1,4	1,8	0,8	0,4	13,9	n.n.
	1346/1248	0,8	2,1	2,3	n.n.	n.n.	6,3	1,0	8,8	n.n.	3,9	1,3	n.n.	0,4	n.n.	n.n.
	1246/1268	0,6	1,6	1,3	n.n.	5,1	2,4	0,5	16,0	1,3	7,4	2,4	2,0	1,1	8,0	n.n.
	1478/1369/1237	0,5	2,1	1,3	n.n.	1,1	7,0	0,8	28,3	1,0	5,9	3,5	2,3	1,1	18,9	n.n.
	1678/1234	n.n.	0,9	n.n.	n.n.	0,5	1,0	n.n.	8,7	n.n.	3,0	0,7	2,3	1,0	2,5	n.n.
	2468/1238/1467/1236	0,5	2,8	1,9	n.n.	11,2	5,4	0,9	25,7	1,5	12,1	4,8	2,6	1,7	29,3	0,2
	1349	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.
	1278	0,5	1,8	0,8	n.n.	1,4	2,5	0,5	21,4	1,3	8,4	2,5	2,2	1,1	17,3	0,2
	1267/1279	n.n.	1,4	n.n.	n.n.	1,0	1,5	n.n.	11,0	n.n.	2,1	1,4	1,3	0,6	3,9	n.n.
	1469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	0,3	n.n.	1,2	n.n.	n.n.	0,5	n.n.	n.n.	4,8	n.n.
	2368/1249	0,6	1,6	1,6	n.n.	14,6	2,4	n.n.	13,4	1,8	8,6	2,8	1,6	0,9	14,1	n.n.
	2467	n.n.	1,6	1,4	n.n.	0,6	1,8	n.n.	13,2	0,8	8,5	2,0	1,5	0,9	4,3	n.n.
	1239/2347	0,7	1,1	1,6	n.n.	18,7	2,6	n.n.	12,1	0,5	4,9	1,4	1,4	0,9	7,4	n.n.
	1269	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	0,3	0,2	n.n.	n.n.	1,0	n.n.
	2378	0,7	2,0	1,3	n.n.	2,1	5,8	0,8	25,1	1,9	8,1	3,5	2,0	1,1	25,0	0,2
	2348	0,2	1,0	n.n.	n.n.	0,9	2,1	0,2	12,6	n.n.	1,4	1,6	1,4	0,7	7,4	n.n.
	2346	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	3,2	0,6	4,1	0,7	1,3	0,7	n.n.	n.n.
	2367	n.n.	2,1	0,9	n.n.	1,0	9,2	0,5	20,4	1,6	9,0	4,0	2,4	0,9	9,9	n.n.
	3467	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,4	n.n.	1,5	0,6	1,9	0,8	0,9	0,5	n.n.	n.n.
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PeCDF	13468	0,5	1,0	0,6	n.n.	2,1	0,9	0,4	8,2	0,6	4,2	1,3	1,4	0,8	5,6	n.n.
	12468	1,0	2,5	2,8	n.n.	10,6	2,3	1,0	12,7	2,3	7,7	3,3	2,0	1,5	21,1	n.n.
	13678	n.n.	1,3	1,6	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	6,9	1,0	3,8	2,0	n.n.	n.n.	6,3	n.n.
	13479	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	0,8	0,3	n.n.	n.n.	11,2	n.n.
	12368/13478	1,8	3,2	2,8	n.n.	85,4	4,3	1,8	28,6	7,2	9,8	6,0	3,0	1,7	18,3	n.n.

pg/g TM		WÄ07	AU02	ME17	KH07	WÄ06	GG11	CH01	KW26	MI67	ME14	HL01	KW13	KW16	TX07	PA02
PeCDF	12478	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	9,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12479/13467	0,8	1,8	n.n.	n.n.	1,5	1,9	0,5	17,7	0,6	4,0	2,3	1,9	1,2	8,8	n.n.
	12467	0,6	1,8	n.n.	n.n.	1,5	2,1	0,5	19,8	1,0	4,2	2,5	1,9	1,1	9,1	n.n.
	14678/12347	0,7	2,1	n.n.	n.n.	1,8	2,4	0,6	21,1	0,8	5,0	2,4	2,2	1,3	8,5	n.n.
	13469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12348/12378	0,9	2,4	n.n.	n.n.	2,6	2,6	0,9	26,0	1,8	7,7	3,3	3,4	1,1	11,0	n.n.
	12346	n.n.	1,1	n.n.	n.n.	4,1	1,2	n.n.	10,1	n.n.	2,2	1,1	1,9	0,6	1,6	n.n.
	12379	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	5,9	n.n.
	12367	0,4	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	n.n.	14,0	n.n.	4,2	1,2	1,7	0,8	2,9	n.n.
	12469/12678	0,5	1,9	n.n.	n.n.	1,3	1,6	n.n.	21,8	1,0	5,2	2,2	2,6	1,2	6,9	n.n.
	12679	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,2	n.n.	0,9	0,4	n.n.	n.n.	1,2	n.n.
	12369	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	1,8	n.n.	0,4	0,2	n.n.	n.n.	1,0	n.n.
	23468	0,4	2,0	1,1	n.n.	27,9	1,6	0,5	15,1	1,4	8,1	2,1	1,7	1,3	12,8	n.n.
	12349	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,4	n.n.	0,5	0,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12489	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,9	n.n.	0,9	0,3	n.n.	n.n.	2,1	n.n.
	23478	0,7	2,4	1,1	n.n.	1,3	3,4	0,8	28,2	1,4	7,0	3,1	2,6	1,4	12,4	n.n.
	12389	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,2	n.n.	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	n.n.
	23467	0,7	2,2	n.n.	n.n.	1,3	2,3	0,4	21,0	1,0	7,3	2,6	2,8	1,1	5,9	n.n.
HxCDF	123468	2,1	3,7	5,3	n.n.	18,8	3,6	1,4	16,6	5,0	12,6	4,9	4,7	2,1	30,0	n.n.
	134678/134679	3,4	3,2	1,1	n.n.	2,0	1,9	0,9	26,2	1,8	8,2	3,7	3,5	2,1	11,6	n.n.
	124678	6,3	4,9	13,3	n.n.	8,0	7,8	2,9	30,5	9,9	26,0	10,2	5,8	3,8	49,6	0,2
	124679	0,5	0,7	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	4,5	0,5	1,9	0,8	n.n.	0,5	3,1	n.n.
	123478/123479	2,3	2,6	1,4	n.n.	2,3	3,0	1,0	27,2	2,1	8,6	3,6	5,0	2,1	23,6	n.n.
	123678	2,0	2,2	1,6	n.n.	2,5	2,2	0,8	21,3	2,0	8,2	2,8	3,7	1,8	10,8	n.n.
	124689	24,7	1,6	6,7	n.n.	6,6	5,0	1,1	4,4	5,4	9,2	3,9	3,5	2,4	24,5	0,7
	123467	2,8	2,8	0,8	n.n.	1,1	2,0	0,5	31,2	1,4	7,0	3,0	4,7	2,3	7,9	n.n.
	123679	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,1	n.n.	1,1	0,4	n.n.	n.n.	1,3	n.n.
	123469/123689	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	3,6	1,4	n.n.	7,8	0,7	2,6	n.n.	1,3	0,7	4,1	n.n.
	123789	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,6	n.n.	0,3	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	n.n.
	123489	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	4,1	n.n.	1,0	0,6	1,4	n.n.	1,5	n.n.
	234678	1,9	2,4	2,5	n.n.	2,1	2,3	0,9	21,8	2,4	6,3	2,7	4,1	2,3	11,4	n.n.
HpCDF	1234678	61,1	11,1	118,7	5,6	46,5	34,1	11,2	63,6	53,5	64,8	31,1	20,1	12,7	133,2	1,5
	1234679	3,9	1,4	n.n.	n.n.	1,0	1,0	n.n.	9,5	0,8	2,5	1,6	2,4	1,3	4,3	n.n.
	1234689	163,3	5,7	48,8	12,8	37,1	25,1	6,1	17,1	30,3	62,0	23,2	16,4	15,1	83,9	4,9
	1234789	4,7	1,0	n.n.	n.n.	2,1	1,5	n.n.	6,8	1,0	3,4	1,6	2,1	1,4	5,1	n.n.
OCDF	12346789	451,0	15,2	173,7	34,9	154,3	115,5	21,2	41,6	182,4	204,2	112,1	49,0	45,3	222,8	12,9

pg/g TM		SW05	DP07	KM01	KÜ03	NA07	DP08	KM02	KT01	GR07	TX06	DP03
TeCDD	1368	2,9	3,7	5,6	10,5	0,8	n.n.	5,8	1,3	2,0	7,2	0,8
	1379	2,2	2,0	3,9	5,3	0,6	n.n.	4,3	0,7	1,0	3,7	0,5
	1378	2,0	1,8	n.n.	3,5	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.
	1369/1247/1248	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	n.n.	n.n.
	1268	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	n.n.
	1478	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,3	n.n.	n.n.
	2378	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.
	1237	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	n.n.
	1234/1246/1249/1238	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1236/1279	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	n.n.
	1278/1469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1239	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1269	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1267	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PeCDD	12479/12468	7,4	7,8	5,6	9,7	1,5	n.n.	5,2	1,3	5,4	17,0	1,1
	12368	3,7	3,8	3,3	4,6	0,8	n.n.	2,9	0,7	2,4	38,5	0,6
	12478	1,3	1,5	1,4	1,7	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,9	1,2	n.n.
	12379	2,4	2,6	2,3	3,0	n.n.	n.n.	2,1	0,7	1,3	17,5	0,4
	12469/12347	2,3	2,2	1,6	2,1	0,4	n.n.	n.n.	0,7	2,7	14,5	0,6
	12378	2,8	2,9	1,9	2,5	n.n.	n.n.	n.n.	1,1	1,6	8,6	n.n.
	12369	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12467	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	n.n.
	12489	2,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8	8,0	n.n.
	12346	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	11,5	n.n.
	12367	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12389	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
HxCDD	124679/124689/123468	19,9	23,5	15,6	15,2	1,9	10,9	10,1	3,6	27,3	2272,0	7,8
	123679/123689	26,3	24,8	34,7	21,8	2,0	n.n.	11,7	3,5	21,7	161,8	3,4
	123478	4,5	4,9	2,7	2,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	6,4	n.n.
	123678	8,2	7,9	10,4	5,8	n.n.	n.n.	3,5	1,3	5,8	78,6	0,9
	123469	n.n.	n.n.	2,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	9,6	n.n.
	123789	8,1	6,2	6,0	7,1	n.n.	n.n.	2,7	n.n.	3,5	37,4	n.n.
	123467	3,5	n.n.	2,0	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,9	16,8	n.n.

pg/g TM		SW05	DP07	KM01	KÜ03	NA07	DP08	KM02	KT01	GR07	TX06	DP03
HpCDD	1234679	101,6	89,8	109,6	140,7	11,2	28,2	75,4	10,0	205,7	434,4	16,4
	1234678	137,5	118,2	202,5	206,5	13,6	36,1	98,4	13,2	215,4	577,5	11,5
OCDD	12346789	1223,0	1322,1	864,4	1628,9	159,9	391,9	1107,7	98,9	2664,9	1105,7	102,8
TeCDF	1368	1,3	1,3	1,0	0,9	0,2	n.n.	0,3	0,7	0,7	7,7	0,4
	1378/1379	1,9	1,3	1,6	1,5	n.n.	n.n.	0,5	0,6	0,7	8,8	0,2
	1347	1,1	1,2	0,8	1,1	n.n.	n.n.	0,5	0,4	1,5	326,3	0,3
	1468	3,0	0,9	1,8	1,5	n.n.	n.n.	0,7	0,4	1,3	n.n.	0,4
	1247	1,6	1,2	1,0	0,9	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	5,1	0,5
	1367	1,3	1,0	0,9	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	1,0	1,4	n.n.	n.n.
	1348	1,3	1,0	1,3	1,2	n.n.	n.n.	1,0	0,7	2,2	319,0	0,3
	1346/1248	4,6	3,4	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	0,8	0,8	n.n.	n.n.	n.n.
	1246/1268	3,0	2,4	1,8	2,1	0,3	n.n.	0,9	0,7	2,0	3,0	0,3
	1478/1369/1237	4,9	3,4	3,0	3,0	0,4	n.n.	1,4	0,8	2,2	14,1	0,3
	1678/1234	2,4	3,5	0,6	1,0	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	0,6	n.n.	n.n.
	2468/1238/1467/1236	4,7	5,3	3,0	3,5	0,4	n.n.	1,6	3,0	3,7	23,5	0,5
	1349	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1278	3,5	2,3	2,1	2,2	n.n.	n.n.	1,1	0,8	1,4	30,2	0,4
	1267/1279	n.n.	1,6	1,4	1,5	n.n.	n.n.	0,6	n.n.	0,7	9,3	0,2
	1469	2,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,2	0,6	1,1	10,5	n.n.
	2368/1249	3,5	2,9	2,0	1,9	0,3	n.n.	n.n.	0,8	3,7	3,8	0,4
	2467	2,6	2,5	1,5	2,0	n.n.	n.n.	0,9	0,7	0,8	n.n.	0,3
	1239/2347	4,0	3,5	1,9	1,5	n.n.	n.n.	2,4	0,6	0,5	5,3	0,3
	1269	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,9	n.n.
	2378	3,5	3,5	2,8	2,8	0,8	n.n.	1,9	1,2	2,7	38,7	0,4
	2348	1,3	1,6	1,0	1,3	n.n.	n.n.	0,6	0,3	0,9	8,8	0,2
	2346	1,8	1,5	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	2,0	n.n.
	2367	3,4	3,0	2,2	3,1	0,5	n.n.	1,5	1,0	2,0	16,4	0,4
	3467	1,6	1,8	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	n.n.	n.n.
	1289	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
PeCDF	13468	2,3	2,4	4,0	2,6	0,5	2,3	1,4	0,3	0,7	3,7	0,3
	12468	4,3	3,7	3,0	2,5	0,4	n.n.	1,7	0,7	3,3	4,3	0,3
	13678	n.n.	n.n.	1,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	20,2	n.n.
	13479	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	26,6	n.n.
	12368/13478	11,5	6,8	5,5	4,0	n.n.	n.n.	3,9	1,1	7,1	12,3	0,4

pg/g TM		SW05	DP07	KM01	KÜ03	NA07	DP08	KM02	KT01	GR07	TX06	DP03
PeCDF	12478	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12479/13467	3,3	2,7	2,9	2,3	0,3	n.n.	1,2	0,6	0,8	5,1	0,3
	12467	3,1	2,6	2,4	2,3	0,2	n.n.	1,3	0,6	1,1	3,5	0,2
	14678/12347	4,0	2,8	3,1	2,4	0,2	n.n.	1,2	0,5	1,0	21,7	n.n.
	13469	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	12348/12378	4,6	3,3	4,2	3,3	0,4	n.n.	1,8	0,9	2,7	315,6	0,5
	12346	n.n.	1,6	1,0	1,1	n.n.	n.n.	0,4	n.n.	n.n.	10,7	n.n.
	12379	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	33,3	n.n.
	12367	n.n.	2,3	2,0	1,5	n.n.	n.n.	0,6	0,5	n.n.	3,0	n.n.
	12469/12678	3,1	2,7	2,8	2,3	0,3	n.n.	1,2	0,6	0,8	6,1	n.n.
	12679	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,6	n.n.
	12369	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,1	n.n.
	23468	3,2	2,6	2,4	1,9	n.n.	n.n.	1,0	0,5	1,7	10,3	n.n.
	12349	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,8	n.n.
	12489	n.n.	n.n.	1,1	1,1	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	n.n.	3,7	n.n.
	23478	4,9	4,2	3,7	2,9	0,5	n.n.	1,9	0,9	2,1	11,2	n.n.
	12389	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,9	n.n.
	23467	4,4	4,2	3,9	3,1	n.n.	n.n.	1,4	0,7	1,1	2,8	n.n.
HxCDF	123468	8,5	7,1	5,5	3,5	0,4	1,5	3,0	1,3	6,9	46,9	n.n.
	134678/134679	9,1	5,7	10,2	4,8	0,3	1,8	2,2	1,4	1,4	8,7	0,5
	124678	14,3	11,4	11,1	7,6	0,8	2,9	5,4	2,0	13,6	11,8	0,6
	124679	1,8	1,6	1,9	1,0	n.n.	n.n.	0,7	n.n.	0,3	1,3	n.n.
	123478/123479	7,8	6,5	8,1	4,9	0,5	n.n.	3,1	1,6	2,7	79,9	0,5
	123678	6,7	5,0	7,0	3,8	0,5	n.n.	1,9	1,1	1,7	12,7	0,3
	124689	6,2	7,2	4,7	4,7	0,5	n.n.	3,6	1,0	8,2	6,5	0,5
	123467	8,3	5,1	9,1	4,4	0,3	n.n.	2,2	1,0	1,1	13,5	0,3
	123679	0,8	n.n.	0,9	0,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	13,1	n.n.
	123469/123689	2,6	2,3	2,4	1,4	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	0,6	10,6	n.n.
	123789	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	21,9	n.n.
	123489	0,9	n.n.	1,0	0,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	17,9	n.n.
	234678	7,0	5,7	6,9	4,1	0,4	n.n.	2,2	1,1	2,1	39,1	0,7
HpCDF	1234678	74,0	80,9	76,7	33,8	2,5	30,0	28,5	9,7	66,7	85,3	2,3
	1234679	6,7	4,5	10,0	3,6	n.n.	n.n.	1,5	0,7	0,9	14,8	n.n.
	1234689	34,5	52,0	32,9	32,6	2,3	15,6	19,3	3,8	41,4	45,4	1,3
	1234789	5,2	3,9	6,2	3,2	n.n.	n.n.	1,9	0,6	1,5	93,0	n.n.
OCDF	12346789	194,5	280,5	176,4	105,7	6,8	185,5	89,2	23,0	204,7	271,6	5,4

11.4 PCDD/F-GEHALTE IN SEDIMENTEN

Alle Gehaltsangaben in pg/g TM

Die Kongenerenbezeichnungen wurden abgekürzt, z.B. D1369.1247.1248 entspricht 1369-/1247-/1248-TeCDD.

Für Kongenere unterhalb der Nachweisgrenze bzw. Kongenere, die aufgrund eines Störpeaks nicht quantifiziert werden konnten, wurde die Nachweisgrenze mit einem Kleinerzeichen (<) angegeben. Es ist allerdings nicht auszuschließen, dass die Gehalte dieser Kongenere oberhalb der Nachweisgrenze liegen, deren tatsächliche Gehalte aufgrund von Störungen nicht bestimmt werden konnte. Für die chemometrische Auswertung wurden diese „fehlenden Werte“ z.T. anhand von üblichen Verhältnissen im Vergleich zu benachbarten Kongeneren geschätzt.

in pg/g TM	AK0-5	AK5-10	AK10-15	AK15-20	AK20-25	AK25-30	AK30-40	AK40-52	BS0-3	BS6-9	BS9-12	BS12-18	BS18-26	BS26-32	BS32-40
D1368	6,2	3,8	7,2	4,0	0,7	0,7	0,7	1,7	13,0	5,2	3,1	3,6	0,7	0,5	< 0,2
D1379	6,7	2,9	4,1	1,5	0,7	0,7	0,7	1,7	8,9	3,5	2,0	1,6	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1378	< 0,02	1,6	1,2	0,7	0,5	0,5	0,3	2,8	1,9	1,6	0,9	0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1369.1247.1248	< 0,02	2,2	3,1	1,8	1,4	1,4	0,9	2,8	3,9	1,6	0,9	1,4	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1268	< 0,02	1,3	1,4	1,7	0,7	0,7	0,4	0,3	1,2	1,6	0,9	0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1478	< 0,02	0,3	0,5	1,7	0,2	0,2	0,1	0,3	0,4	0,4	0,3	< 0,3	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D2378	< 0,02	0,6	1,4	0,2	0,2	0,2	0,05	0,2	0,8	0,4	0,2	0,2	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1237	< 0,02	0,6	1,4	1,8	0,3	0,3	0,3	0,3	0,8	0,6	0,3	0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1234.1246.1249.1238	< 0,02	0,9	1,2	0,7	0,3	0,3	0,3	0,3	1,5	0,7	0,4	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1236.1279	< 0,02	1,2	1,2	0,9	0,8	0,9	0,7	0,6	1,2	0,6	0,4	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1278.1469	< 0,02	1,3	3,3	7,0	2,8	2,9	3,7	0,3	1,0	1,3	0,8	< 0,3	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1239	< 0,02	< 0,1	1,2	0,7	< 0,1	< 0,1	1,0	0,3	0,3	< 0,3	< 0,4	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1269	< 0,02	0,6	< 0,02	1,9	< 0,1	< 0,1	0,2	2,1	< 0,4	< 0,3	< 0,4	< 0,3	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1267	< 0,02	< 0,1	1,1	0,7	< 0,1	< 0,1	< 0,05	0,3	< 0,4	< 0,3	< 0,4	< 0,3	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D1289	< 0,02	< 0,1	1,0	0,9	< 0,1	< 0,1	0,3	0,05	< 0,4	2,8	1,6	< 0,3	< 0,5	< 0,5	< 0,2
D12479.12468	12,1	11,2	12,2	5,2	4,3	4,5	3,6	3,0	33,0	9,7	5,8	5,1	0,7	0,6	< 0,2
D12368	4,8	4,3	5,2	1,5	0,5	0,6	0,4	0,3	17,0	4,4	2,6	2,8	0,3	0,2	< 0,2
D12478	2,9	2,9	2,5	1,2	0,9	1,0	0,9	0,8	5,9	1,8	1,1	0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,2
D12379	3,8	3,3	3,0	1,1	0,5	0,6	0,7	0,7	11,3	3,4	2,0	2,6	< 0,1	0,2	< 0,2
D12469.12347	5,5	5,0	4,4	3,3	4,5	4,8	4,2	3,4	7,0	2,8	1,7	1,0	< 0,1	< 0,1	< 0,2
D12378	2,2	2,1	1,8	0,7	0,3	0,4	0,4	0,4	5,9	1,6	0,9	0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,2
D12369	0,7	1,0	1,8	0,3	0,2	0,2	0,3	0,4	2,0	1,2	0,7	0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,2
D12467	3,0	3,1	3,5	2,4	2,9	3,0	2,5	2,1	2,2	1,9	1,2	0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,2
D12489	3,0	3,1	3,5	2,4	2,9	3,0	2,5	2,2	2,5	1,0	0,6	0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,2
D12346	0,2	0,4	0,2	0,2	< 0,03	< 0,03	0,1	0,4	2,3	1,0	0,6	0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,2
D12367	1,1	1,2	1,1	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	< 0,1	1,0	0,6	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,2

in pg/g TM	AK0-5	AK5-10	AK10-15	AK15-20	AK20-25	AK25-30	AK30-40	AK40-52	BS0-3	BS6-9	BS9-12	BS12-18	BS18-26	BS26-32	BS32-40
D12389	1,2	1,3	0,8	0,6	0,4	0,4	0,5	0,4	1,4	0,7	0,4	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,2
D124679.124689.123468	49,2	36,0	42,6	26,8	25,9	27,3	18,9	49,7	61,1	16,5	14,5	8,7	2,3	1,2	2,1
D123679.123689	25,2	20,9	22,8	8,6	5,5	5,8	5,7	8,4	44,5	13,1	8,6	9,3	1,4	0,8	0,7
D123478	3,6	3,4	2,2	0,8	0,4	0,4	0,4	1,7	5,0	2,4	1,9	0,6	0,1	0,1	< 0,1
D123678	4,6	4,1	4,3	1,2	0,6	0,7	0,6	2,7	9,2	2,9	2,2	2,8	0,1	0,1	< 0,1
D123469	2,6	1,3	2,2	0,5	0,6	0,7	0,3	< 0,04	2,2	9,7	0,7	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
D123789	3,8	3,7	4,3	1,6	0,9	1,0	0,9	2,1	8,6	3,2	1,9	1,8	0,1	0,1	< 0,1
D123467	2,1	2,0	4,0	0,7	0,5	0,6	0,4	< 0,04	5,0	2,6	1,5	0,6	< 0,1	< 0,1	< 0,1
D1234679	97,3	108,5	120,1	57,6	46,8	49,5	4,6	41,6	104,4	60,8	25,8	14,6	5,6	2,4	1,6
D1234678	75,7	81,0	86,9	30,5	21,1	22,3	2,3	18,0	120,0	60,3	27,6	16,5	5,6	3,3	1,7
OCDD	3932,8	287,4	383,5	182,0	175,7	185,8	138,5	171,7	641,6	112,2	54,5	42,0	19,9	10,5	12,9
F1368	1,2	2,8	3,1	3,2	0,12	0,13	0,6	< 0,1	6,2	3,7	2,2	1,3	0,4	0,2	< 0,2
F1378.1379	1,7	4,5	4,9	4,1	0,10	0,11	0,6	2,1	12,4	8,8	5,2	5,8	0,4	0,3	< 0,2
F1347	1,6	2,3	1,5	1,1	0,04	0,04	0,1	0,3	5,7	5,9	3,5	0,7	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1468	1,3	1,7	1,9	1,1	0,04	0,04	0,1	0,3	3,8	5,7	3,3	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1247	0,8	2,9	2,3	1,1	0,04	0,04	0,1	0,1	5,3	5,9	3,5	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1367	0,8	1,6	2,0	1,1	0,04	0,04	0,1	0,1	5,8	5,9	3,5	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1348	1,0	2,1	2,4	1,1	0,04	0,04	0,1	0,1	8,3	5,7	3,3	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1346.1248	1,5	4,0	5,5	1,9	0,10	0,11	0,2	0,3	10,7	6,4	3,8	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1246.1268	1,2	3,7	5,5	1,9	0,10	0,11	0,3	0,3	9,9	5,9	3,5	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1478.1369.1237	2,8	5,6	6,9	1,9	0,10	0,11	0,3	0,3	23,2	9,1	5,3	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1678.1234	0,5	0,4	1,3	1,5	0,01	0,01	0,1	0,1	2,3	3,2	1,9	0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F2468.1238.1467.1236	3,5	9,4	11,3	6,4	1,2	1,2	1,5	2,5	26,5	16,0	9,4	4,1	1,7	1,4	< 0,2
F1349	0,5	0,4	0,4	0,2	< 0,03	< 0,03	0,01	0,1	0,6	3,2	1,9	0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1278	2,1	4,0	4,8	2,6	0,2	0,2	0,3	0,5	15,1	12,0	7,0	4,1	0,4	< 0,3	< 0,2
F1267.1279	1,3	3,3	1,0	2,6	0,2	0,2	0,1	0,2	6,6	3,6	2,1	0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2

in pg/g TM	AK0-5	AK5-10	AK10-15	AK15-20	AK20-25	AK25-30	AK30-40	AK40-52	BS0-3	BS6-9	BS9-12	BS12-18	BS18-26	BS26-32	BS32-40
F1469	0,4	0,4	0,3	0,2	< 0,03	< 0,03	< 0,1	< 0,1	0,9	3,2	1,9	0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F2368.1249	1,8	3,7	4,2	2,6	0,3	0,3	< 0,1	0,2	11,9	5,6	3,3	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F2467	1,8	4,5	5,0	2,0	0,3	0,3	0,3	0,2	10,4	7,2	4,2	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1239.2347	1,3	2,2	2,6	1,7	0,1	0,1	0,1	0,2	7,5	3,9	2,3	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F1269	0,1	0,3	0,3	0,2	< 0,03	< 0,03	< 0,1	< 0,1	0,3	3,2	1,9	0,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F2378	1,0	6,0	6,4	2,5	0,3	0,4	0,2	0,3	17,3	8,8	5,2	4,1	0,4	0,1	< 0,2
F2348	1,1	1,4	1,9	0,2	< 0,03	< 0,03	< 0,1	0,2	7,2	3,2	1,9	4,1	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F2346	< 0,01	< 0,1	0,6	1,9	< 0,03	< 0,03	0,1	0,1	8,6	3,2	1,9	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F2367	1,7	6,3	5,0	3,2	0,2	0,2	0,3	0,2	0,3	4,3	2,6	1,3	< 0,3	0,1	< 0,2
F3467	2,1	0,4	2,7	1,6	< 0,03	< 0,03	0,3	0,2	0,7	3,4	2,0	1,2	< 0,3	< 0,3	< 0,2
F13468	3,0	4,0	5,7	1,2	0,2	0,2	0,2	0,0	13,3	2,6	1,7	1,0	0,1	0,1	< 0,2
F12468	5,3	7,6	7,3	1,7	0,27	0,28	0,3	0,1	15,6	3,3	2,2	1,2	0,2	0,1	< 0,2
F13678	1,7	2,5	3,1	0,9	0,01	0,01	0,10	0,1	10,2	2,4	1,6	0,9	0,2	< 0,1	< 0,2
F13479	0,4	0,9	0,6	0,2	0,01	0,01	0,02	< 0,01	2,6	0,7	0,5	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,2
F12368.13478	6,2	10,9	11,8	2,7	0,3	0,3	0,3	0,1	35,4	7,5	4,9	2,9	0,4	0,2	< 0,2
F12478	5,3	8,3	8,1	2,1	0,2	0,2	0,3	0,1	24,5	6,8	4,5	1,9	0,2	0,1	< 0,2
F12479.13467	4,8	7,8	7,6	1,7	0,2	0,2	0,2	0,1	24,6	18,0	11,9	1,9	0,2	0,1	< 0,2
F12467	4,2	6,9	6,4	1,7	0,2	0,2	0,2	0,1	20,2	6,3	4,1	1,9	0,2	0,1	< 0,2
F14678.12347	3,6	6,1	5,4	2,5	0,2	0,2	0,1	0,1	21,9	6,3	4,1	1,9	0,2	0,1	< 0,2
F13469	1,0	1,1	0,8	0,2	0,1	0,1	0,04	< 0,01	3,5	0,7	0,5	0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,2
F12378.12348	5,6	9,3	9,7	2,7	0,2	0,2	0,3	0,1	31,6	6,3	6,3	3,2	0,4	0,1	< 0,2
F12346	1,2	2,0	0,1	0,3	0,1	0,1	0,2	< 0,01	5,9	2,1	1,4	0,6	0,2	< 0,1	< 0,2
F12379	0,8	0,5	0,3	0,1	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,04	0,7	0,5	0,4	0,1	< 0,1	< 0,2
F12367	3,3	4,6	4,6	1,0	0,1	0,1	0,1	0,03	15,2	5,5	3,6	1,6	0,2	< 0,1	< 0,2
F12469.12678	3,6	5,9	5,6	1,5	0,1	0,1	0,1	0,06	17,2	5,5	3,6	1,6	0,2	< 0,1	< 0,2
F12679	0,9	1,2	0,3	0,2	0,1	0,1	0,1	0,01	2,2	1,1	0,7	0,3	< 0,1	< 0,1	< 0,2

in pg/g TM	AK0-5	AK5-10	AK10-15	AK15-20	AK20-25	AK25-30	AK30-40	AK40-52	BS0-3	BS6-9	BS9-12	BS12-18	BS18-26	BS26-32	BS32-40
F12369	0,2	0,6	0,3	0,04	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	1,2	0,4	0,3	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,2
F23468	3,6	5,0	4,5	1,1	0,1	0,1	0,1	0,1	15,8	0,7	3,4	1,6	0,2	< 0,1	< 0,2
F12349	0,2	0,6	0,3	0,1	< 0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,04	0,7	0,5	0,4	0,04	< 0,1	< 0,2
F12489	0,6	0,6	0,3	0,2	< 0,01	< 0,01	0,02	0,1	2,1	0,7	0,5	0,4	0,04	< 0,1	< 0,2
F23478	6,0	7,7	8,2	2,0	2,0	2,1	0,2	0,1	24,6	7,9	4,9	2,3	0,3	< 0,1	< 0,2
F12389	0,5	0,8	0,3	0,1	< 0,01	< 0,01	0,03	< 0,01	< 0,04	0,7	0,5	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,2
F23467	6,0	7,8	5,8	2,1	3,0	3,2	0,2	0,2	14,3	3,8	2,7	2,1	0,5	< 0,1	< 0,2
F123468	9,3	3,0	3,6	2,2	0,1	0,1	0,2	0,2	19,1	13,4	5,8	2,7	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F134678.134679	14,5	5,7	6,0	3,8	0,3	0,3	0,3	0,2	34,1	16,6	7,2	3,3	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F124678	22,9	8,9	13,2	5,2	0,4	0,4	0,4	0,2	39,3	22,7	9,8	3,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F124679	2,4	1,0	1,4	0,5	< 0,01	< 0,01	0,1	< 0,03	4,2	2,8	1,2	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F123478.123479	13,7	1,0	6,6	0,5	< 0,01	< 0,01	0,1	0,1	4,2	2,8	1,2	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F123678	10,2	3,2	6,0	3,1	0,2	0,2	0,2	0,1	25,2	9,3	9,1	2,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F124689	6,6	2,2	3,4	0,5	< 0,01	< 0,01	0,05	< 0,03	2,6	2,1	0,9	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F123467	10,7	4,3	6,0	3,2	0,2	0,2	0,3	< 0,03	33,7	21,0	9,1	3,0	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F123679	1,5	0,3	0,6	0,4	< 0,01	< 0,01	0,1	< 0,03	3,1	2,7	1,2	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F123469.123689	2,4	0,8	1,4	0,6	< 0,01	< 0,01	0,1	< 0,03	6,7	4,3	1,9	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F123789	4,9	1,9	4,0	1,3	0,2	0,2	0,1	< 0,03	8,9	3,6	2,6	0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F123489	1,9	0,6	1,4	0,6	< 0,01	< 0,01	0,1	< 0,03	3,5	1,2	1,4	0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F234678	7,7	0,4	4,3	2,3	0,3	0,3	0,2	< 0,03	21,5	13,0	5,4	1,8	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F1234678	166,9	141,7	185,2	35,8	2,4	2,5	3,3	0,6	321,8	113,1	65,2	28,0	3,7	0,8	< 0,2
F1234679	11,7	5,4	0,2	2,2	0,1	0,1	0,4	< 0,1	34,0	5,6	8,1	3,1	0,4	< 0,3	< 0,2
F1234689	41,5	5,4	0,2	3,0	0,1	0,1	0,5	< 0,1	44,6	27,1	9,7	3,3	0,2	< 0,3	< 0,2
F1234789	17,6	9,7	0,7	3,3	0,3	0,4	0,3	< 0,1	39,9	34,8	7,3	3,8	0,6	< 0,3	< 0,2
OCDF	141,1	< 0,2	< 0,03	38,9	< 0,1	< 0,2	2,3	< 0,2	158,3	81,6	52,5	20,2	< 0,6	< 0,7	< 1,8

in pg/g TM	QS0-5	QS20-30	QS45-50	QS60-65	QS85-90	QS110-115	QS155-160	QS231-236	TK0-10	TK10-15	TK15-20	TK25-30	TK55-60	TK60-65	TK65-70	TK95-100
D1368	13,6	11,2	8,4	21,1	12,0	11,9	0,7	< 0,2	< 0,2	0,3	0,2	0,4	0,1	13,7	0,1	< 0,04
D1379	8,6	7,5	5,5	13,6	7,8	8,5	0,7	< 0,2	< 0,2	0,3	0,2	0,4	0,1	6,2	3,6	< 0,04
D1378	< 0,6	5,6	2,4	3,5	3,8	4,0	1,0	< 0,2	11,6	15,6	15,4	21,5	0,1	1,5	1,7	< 0,04
D1369.1247.1248	7,0	5,9	3,9	9,0	4,8	5,9	1,4	< 0,2	14,6	22,6	22,5	28,4	10,0	3,4	2,6	< 0,04
D1268	< 0,6	1,2	1,2	2,2	1,6	1,8	< 0,1	< 0,2	< 0,2	0,3	0,2	0,4	1,4	0,3	< 0,1	< 0,04
D1478	< 0,6	1,8	0,9	2,0	0,8	1,1	< 0,1	< 0,2	< 0,2	0,3	3,7	5,7	0,7	< 0,1	0,6	< 0,04
D2378	5,1	< 0,2	1,2	6,3	1,3	1,5	< 0,1	< 0,2	< 0,2	0,3	1,3	0,4	1,7	< 0,1	0,2	< 0,04
D1237	< 0,6	1,0	< 0,3	< 0,3	1,5	< 0,3	< 0,1	< 0,2	< 0,2	0,3	0,2	0,4	0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,04
D1234.1246.1249.1238	< 0,6	2,7	2,3	4,9	2,3	3,0	< 0,1	< 0,2	< 0,2	0,3	8,7	5,8	1,5	0,8	1,0	< 0,04
D1236.1279	< 0,6	< 0,2	1,6	2,4	1,4	2,5	< 0,1	< 0,2	< 0,2	0,3	0,2	0,4	1,1	< 0,1	< 0,1	< 0,04
D1278.1469	3,5	< 0,2	< 0,3	< 0,3	1,8	1,7	< 0,1	< 0,2	< 0,2	5,8	8,8	8,6	2,0	< 0,1	< 0,1	< 0,04
D1239	< 0,6	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,1	< 0,2	< 0,2	4,5	0,2	7,8	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,04
D1269	< 0,6	< 0,2	< 0,3	2,1	< 0,3	< 0,3	< 0,1	< 0,2	4,2	2,5	2,6	3,3	< 0,1	< 0,1	0,3	< 0,04
D1267	< 0,6	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,1	< 0,2	4,5	< 0,3	< 0,2	< 0,4	0,9	< 0,1	< 0,1	< 0,04
D1289	< 0,6	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,1	< 0,2	< 0,2	< 0,3	< 0,2	< 0,4	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,04
D12479.12468	18,3	13,2	12,4	17,9	16,4	17,5	< 0,1	< 0,2	106,4	54,0	50,0	< 0,8	24,3	9,5	5,3	1,0
D12368	8,1	5,9	7,1	9,5	10,8	10,8	< 0,1	< 0,2	< 0,4	< 0,6	< 0,4	< 0,8	< 0,2	< 0,1	< 0,1	0,5
D12478	7,3	3,2	3,2	4,3	4,3	4,8	< 0,1	< 0,2	8,8	5,0	4,2	4,2	3,3	1,3	0,4	0,2
D12379	5,3	4,2	5,5	6,7	7,9	8,8	< 0,1	< 0,2	10,7	5,0	4,8	6,9	5,0	1,4	0,8	0,2
D12469.12347	6,9	4,6	6,4	7,8	7,6	9,3	3,0	< 0,2	31,4	15,1	13,4	17,3	6,9	2,4	1,5	0,5
D12378	< 1,1	< 0,2	3,0	3,1	4,3	4,8	< 0,1	< 0,2	3,4	2,2	1,8	2,1	1,6	0,4	0,3	< 0,1
D12369	< 1,1	< 0,2	1,8	2,2	1,8	< 0,6	< 0,1	< 0,2	< 0,4	3,3	< 0,4	< 0,8	1,1	< 0,1	0,4	< 0,1
D12467	< 1,1	< 0,2	2,3	3,5	2,6	3,3	< 0,1	< 0,2	< 0,4	< 0,6	6,6	< 0,8	3,0	1,6	1,2	0,2
D12489	< 1,1	< 0,2	2,0	2,7	2,3	2,9	< 0,1	< 0,2	5,7	< 0,6	2,7	< 0,8	< 0,2	< 0,1	0,4	< 0,1
D12346	< 1,1	< 0,2	< 0,5	< 0,6	< 0,6	< 0,6	< 0,1	< 0,2	< 0,4	< 0,6	< 0,4	< 0,8	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
D12367	< 1,1	< 0,2	1,1	1,2	1,9	2,1	< 0,1	< 0,2	3,9	< 0,6	2,7	3,1	1,7	0,5	< 0,1	< 0,1

in pg/g TM	QS0-5	QS20-30	QS45-50	QS60-65	QS85-90	QS110-115	QS155-160	QS231-236	TK0-10	TK10-15	TK15-20	TK25-30	TK55-60	TK60-65	TK65-70	TK95-100
D12389	< 1,1	< 0,2	1,3	1,5	1,7	2,0	< 0,1	< 0,2	2,4	1,0	1,0	1,3	0,8	0,2	< 0,1	< 0,1
D124679.124689.123468	50,1	39,7	49,3	57,8	52,6	55,6	15,3	4,5	286,7	134,2	107,3	143,9	53,2	21,7	14,0	4,1
D123679.123689	39,1	31,0	34,9	45,0	30,4	21,9	6,6	< 0,2	172,5	89,3	69,2	94,9	30,9	13,2	8,1	2,0
D123478	3,3	2,6	4,0	4,2	3,8	5,0	< 0,1	< 0,2	14,0	7,2	5,5	7,3	3,2	1,2	0,7	0,2
D123678	8,3	7,8	8,8	11,1	7,6	9,0	< 0,1	< 0,2	43,4	23,3	17,2	24,1	8,1	3,5	2,1	0,5
D123469	1,9	< 0,2	1,6	2,1	2,5	2,3	< 0,1	< 0,2	9,4	3,0	2,1	3,1	1,5	0,5	0,3	< 0,3
D123789	5,3	5,9	5,6	6,4	6,2	6,9	< 0,1	< 0,2	23,4	12,5	10,4	13,3	4,6	2,2	1,2	0,3
D123467	3,3	< 0,2	3,0	3,1	3,9	4,7	< 0,1	< 0,2	9,5	3,7	2,8	3,7	3,0	0,9	0,4	< 0,3
D1234679	191,0	159,1	159,3	215,8	112,0	133,4	21,4	4,6	432,7	573,3	474,5	711,5	185,0	83,9	52,9	10,5
D1234678	217,1	197,9	179,6	249,3	115,1	132,2	13,0	3,9	401,9	719,1	572,9	848,7	218,9	100,9	64,3	11,5
OCDD	1565,5	1537,2	1316,5	1814,8	849,7	1008,3	99,2	22,0	3251,6	5882,6	4708,5	7233,9	1844,1	839,8	538,4	91,7
F1368	3,6	4,1	4,8	4,9	8,5	5,7	< 0,1	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F1378.1379	7,7	8,6	8,5	10,6	13,0	11,9	< 0,1	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	1,2	< 0,1	< 0,1
F1347	3,1	3,9	4,3	5,5	5,8	5,6	< 0,1	< 0,2	6,4	3,0	3,1	3,3	2,9	0,7	0,5	0,1
F1468	12,8	14,3	16,7	24,4	19,1	18,4	< 0,1	< 0,2	< 0,4	10,6	10,4	13,8	9,9	3,0	2,0	0,5
F1247	4,6	< 0,2	5,6	7,7	6,7	6,7	0,9	< 0,2	< 0,4	< 0,5	1,5	< 0,6	3,6	0,7	< 0,1	< 0,1
F1367	< 0,9	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F1348	7,0	5,7	7,3	11,4	9,7	9,4	2,5	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F1346.1248	40,0	44,7	42,7	64,5	0,5	43,2	1,8	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F1246.1268	14,3	13,8	15,4	21,8	16,2	18,0	0,1	< 0,2	9,2	8,8	7,0	7,9	8,9	1,9	1,9	0,4
F1478.1369.1237	30,9	33,6	39,6	52,8	40,5	41,4	1,4	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F1678.1234	1,5	< 0,2	1,9	2,7	2,5	3,6	0,1	< 0,2	7,5	3,2	2,3	3,4	3,7	1,0	0,6	0,1
F2468.1238.1467.1236	31,5	33,8	35,5	52,2	39,0	42,9	1,5	< 0,2	82,3	39,1	42,7	66,7	29,7	11,3	6,8	1,1
F1349	< 0,9	< 0,2	< 0,4	0,9	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F1278	17,5	17,0	20,1	27,3	22,3	23,6	< 0,1	< 0,2	26,9	12,3	< 0,3	< 0,6	14,5	3,2	2,1	0,6
F1267.1279	8,0	9,4	8,4	11,9	9,1	12,5	< 0,1	< 0,2	16,9	6,9	< 0,3	< 0,6	0,2	1,0	0,9	0,2

in pg/g TM	QS0-5	QS20-30	QS45-50	QS60-65	QS85-90	QS110-115	QS155-160	QS231-236	TK0-10	TK10-15	TK15-20	TK25-30	TK55-60	TK60-65	TK65-70	TK95-100
F1469	2,3	2,7	3,2	5,2	3,1	3,9	< 0,1	< 0,2	16,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	2,4	< 0,1	< 0,1	0,1
F2368.1249	18,7	17,8	18,6	27,6	19,8	19,6	0,7	< 0,2	66,7	27,2	< 0,3	39,7	17,4	5,7	3,5	0,5
F2467	12,8	12,5	13,8	19,6	13,0	17,2	< 0,1	< 0,2	26,2	< 0,5	7,5	9,4	8,4	2,2	1,6	0,3
F1239.2347	5,2	5,1	5,3	7,7	4,8	8,4	< 0,1	< 0,2	9,9	4,3	4,4	4,9	7,0	1,0	1,1	0,2
F1269	3,1	1,8	0,9	2,6	0,5	1,4	< 0,1	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F2378	41,3	42,3	46,7	64,0	46,3	47,9	1,3	< 0,2	35,0	18,2	14,1	18,4	16,4	4,3	2,5	0,8
F2348	5,2	4,8	5,3	8,5	5,0	7,8	< 0,1	< 0,2	11,6	6,0	5,1	7,8	7,7	1,1	1,3	0,3
F2346	< 0,9	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,2	8,2	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F2367	19,5	21,9	15,1	33,8	15,8	23,2	0,5	< 0,2	40,2	16,0	< 0,3	< 0,6	7,1	2,7	1,6	0,3
F3467	< 0,9	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,1	< 0,2	< 0,4	< 0,5	< 0,3	< 0,6	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F13468	4,1	4,5	6,0	7,7	7,6	7,7	< 0,1	< 0,2	< 0,3	5,7	< 0,3	6,9	5,3	1,7	0,1	0,1
F12468	14,3	13,2	16,4	21,7	17,3	17,4	< 0,1	< 0,2	35,7	18,3	16,8	20,1	11,7	4,3	2,5	0,4
F13678	3,0	3,0	3,6	4,4	5,5	5,7	< 0,1	< 0,2	< 0,3	< 0,4	< 0,3	0,5	4,0	0,9	0,6	0,1
F13479	< 0,8	< 0,2	1,1	1,5	1,6	1,6	< 0,1	< 0,2	< 0,3	< 0,4	< 0,3	0,5	3,3	0,1	0,1	0,1
F12368.13478	19,3	19,1	24,7	31,1	27,7	28,4	< 0,1	< 0,2	30,4	15,3	13,7	14,8	12,7	4,5	2,2	0,5
F12478	22,7	< 0,2	25,9	35,8	< 0,4	28,5	< 0,1	< 0,2	41,2	< 0,4	< 0,3	< 0,5	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F12479.13467	14,0	13,9	18,5	24,2	21,0	21,7	< 0,1	< 0,2	15,8	0,4	9,6	0,5	10,1	2,7	1,5	0,3
F12467	24,9	22,0	28,4	37,3	29,6	29,8	< 0,1	< 0,2	23,6	11,7	10,6	12,8	10,4	3,1	1,8	0,4
F14678.12347	9,0	6,7	10,0	13,5	16,4	11,3	< 0,1	< 0,2	13,6	9,8	9,4	11,8	13,3	1,8	1,2	0,2
F13469	3,6	2,8	5,1	6,7	5,7	5,7	< 0,1	< 0,2	6,2	2,4	2,3	2,1	1,8	0,6	0,4	< 0,1
F12378.12348	15,7	14,6	26,5	33,0	28,8	28,9	< 0,1	< 0,2	35,2	11,4	12,1	14,8	14,6	4,2	< 0,1	< 0,1
F12346	2,2	< 0,2	3,1	4,6	3,0	4,4	< 0,1	< 0,2	17,4	1,8	4,9	5,8	9,2	1,8	1,3	0,1
F12379	< 0,8	< 0,2	0,9	< 0,4	1,1	1,3	< 0,1	< 0,2	< 0,3	< 0,4	< 0,3	< 0,5	< 0,2	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F12367	15,4	15,1	24,2	32,5	25,5	26,6	< 0,1	< 0,2	12,7	5,6	5,7	6,7	6,3	1,6	0,8	0,2
F12469.12678	7,8	8,8	12,0	15,1	15,1	15,7	< 0,1	< 0,2	18,8	8,9	7,0	8,7	9,6	2,8	1,6	0,3
F12679	< 0,8	< 0,2	1,3	1,7	2,0	1,7	< 0,1	< 0,2	2,3	0,9	0,7	0,9	0,8	0,3	0,1	< 0,1

in pg/g TM	QS0-5	QS20-30	QS45-50	QS60-65	QS85-90	QS110-115	QS155-160	QS231-236	TK0-10	TK10-15	TK15-20	TK25-30	TK55-60	TK60-65	TK65-70	TK95-100
F12369	4,4	4,8	7,7	7,8	6,1	6,7	< 0,1	< 0,2	2,8	1,2	1,5	1,2	0,9	0,2	0,1	< 0,1
F23468	6,7	7,0	9,7	12,6	11,9	12,0	< 0,1	< 0,2	17,8	8,4	9,0	10,1	10,9	2,8	1,7	0,2
F12349	< 0,8	< 0,2	< 0,4	0,6	< 0,4	0,5	< 0,1	< 0,2	6,9	3,5	4,0	4,9	1,7	0,6	0,4	< 0,1
F12489	1,4	< 0,2	1,8	2,4	1,9	2,5	< 0,1	< 0,2	4,3	1,9	1,8	1,8	1,5	0,5	0,3	< 0,1
F23478	14,7	14,1	19,1	24,2	21,5	22,1	< 0,1	< 0,2	19,0	11,2	9,8	11,4	12,2	3,4	1,8	0,4
F12389	< 0,8	< 0,2	1,0	1,3	1,2	1,6	< 0,1	< 0,2	2,3	< 0,4	1,7	2,5	0,5	< 0,1	< 0,1	< 0,1
F23467	5,9	5,7	9,0	16,6	10,4	13,5	< 0,1	< 0,2	23,8	5,5	< 0,3	< 0,5	10,7	2,0	< 0,1	< 0,1
F123468	10,0	7,4	13,2	16,6	13,7	16,9	0,6	< 0,2	45,9	24,7	24,5	29,6	22,1	7,0	4,1	< 0,1
F134678.134679	11,5	7,7	15,1	17,9	2,1	18,7	< 0,1	< 0,2	26,2	13,9	15,2	19,1	20,9	5,9	2,8	0,4
F124678	24,7	21,2	33,8	42,9	34,0	36,4	1,3	< 0,2	124,0	71,2	68,2	83,9	39,6	13,6	7,3	1,4
F124679	2,4	2,3	3,6	4,8	4,1	4,3	< 0,1	< 0,2	< 0,3	< 0,4	< 0,3	< 0,5	< 0,2	< 0,1	< 0,1	0,2
F123478.123479	9,7	9,8	17,1	20,1	21,2	22,3	1,6	0,8	29,8	15,4	15,6	19,8	15,9	5,8	2,4	0,6
F123678	8,1	7,9	14,5	16,3	17,3	18,3	1,1	< 0,2	21,1	10,6	11,2	13,8	11,3	3,7	1,6	0,3
F124689	7,4	7,2	11,4	15,8	9,9	11,1	< 0,1	< 0,2	50,3	25,3	22,6	28,4	10,3	4,1	2,6	0,6
F123467	9,9	10,1	16,3	19,1	19,6	21,0	1,5	1,0	25,9	12,6	14,1	19,4	29,8	7,2	3,3	0,4
F123679	1,3	1,3	2,4	2,5	2,1	2,8	< 0,1	< 0,2	2,1	1,3	1,3	1,3	1,3	0,4	0,2	< 0,1
F123469.123689	3,9	< 0,2	7,3	9,3	7,4	8,5	< 0,1	< 0,2	12,0	6,2	5,6	7,7	5,1	1,6	0,8	0,2
F123789	2,1	1,7	3,5	4,4	3,0	3,9	< 0,1	< 0,2	8,7	5,0	5,1	6,1	4,3	1,3	0,8	0,2
F123489	1,4	1,2	2,2	2,5	2,3	3,0	< 0,1	< 0,2	7,5	2,2	1,7	2,5	2,3	0,7	0,3	0,1
F234678	8,0	8,1	10,8	12,4	13,6	14,1	< 0,1	< 0,2	26,6	12,2	13,0	16,7	18,4	5,0	2,2	0,4
F1234678	59,6	60,9	104,8	121,6	110,5	114,7	12,8	7,3	162,7	201,1	178,4	246,3	154,8	49,9	27,3	5,3
F1234679	4,5	5,2	8,2	9,1	7,1	9,5	1,5	0,8	7,3	8,3	8,1	11,6	10,8	3,2	1,7	0,3
F1234689	45,3	41,5	75,9	99,9	41,2	71,5	2,5	0,9	151,2	191,7	154,2	213,6	73,2	29,1	18,7	4,1
F1234789	6,1	6,4	9,9	11,7	10,8	10,0	1,7	1,3	13,6	13,2	11,0	15,6	7,5	3,0	1,6	0,4
OCDF	163,2	179,8	305,0	329,2	307,1	331,3	45,6	30,6	2169,2	715,9	621,8	738,4	257,0	103,7	66,9	16,2

in pg/g TM	WS0-10	WS10-15	WS15-20	WS20-35	WS35-40	WS50-55	WS60-65	WS75-80	WS90-100
D1368	31,9	30,1	37,2	43,6	19,8	23,3	18,9	5,4	< 0,5
D1379	18,8	18,9	19,8	28,5	13,1	14,7	12,4	3,2	1,0
D1378	4,9	5,6	5,7	< 0,3	6,2	5,6	3,7	< 0,6	< 0,5
D1369.1247.1248	5,4	6,3	7,7	12,4	7,4	8,5	5,9	< 0,6	< 0,5
D1268	1,9	2,0	2,4	4,2	2,6	2,7	2,3	< 0,6	< 0,5
D1478	1,2	1,2	1,4	2,0	1,4	1,0	1,2	< 0,6	< 0,5
D2378	2,4	2,6	3,0	2,4	1,7	1,3	1,4	< 0,6	< 0,5
D1237	1,0	2,9	1,2	5,6	4,4	3,7	1,9	< 0,6	< 0,5
D1234.1246.1249.1238	1,4	4,0	1,9	8,3	6,3	6,0	2,9	< 0,6	< 0,5
D1236.1279	1,0	2,3	1,9	5,5	4,7	4,7	2,5	< 0,6	< 0,5
D1278.1469	< 0,3	2,4	2,5	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,6	< 0,5
D1239	< 0,3	< 0,3	0,9	2,0	1,1	< 0,3	< 0,3	< 0,6	< 0,5
D1269	< 0,3	< 0,3	1,4	< 0,3	0,9	< 0,3	1,4	< 0,6	< 0,5
D1267	< 0,3	< 0,3	1,0	< 0,3	1,8	< 0,3	< 0,3	< 0,6	< 0,5
D1289	< 0,3	< 0,3	< 0,2	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	0,6	< 0,5
D12479.12468	39,4	37,9	53,6	41,0	21,7	25,5	25,6	3,9	< 0,9
D12368	21,1	22,2	29,3	24,6	15,8	18,9	12,6	3,7	< 0,9
D12478	9,7	9,6	12,9	9,6	4,6	4,2	3,0	< 1,2	< 0,9
D12379	15,3	16,0	21,1	18,3	11,1	13,7	9,8	< 1,2	< 0,9
D12469.12347	13,2	14,2	18,5	16,4	9,8	11,5	7,6	2,2	< 0,9
D12378	7,4	8,1	11,1	8,0	4,8	4,4	3,6	< 1,2	< 0,9
D12369	< 0,6	< 0,6	< 0,5	< 0,6	2,0	< 0,6	< 0,7	< 1,2	< 0,9
D12467	4,9	4,8	10,4	21,3	8,5	5,7	< 0,7	< 1,2	< 0,9
D12489	3,7	2,9	6,1	< 0,6	< 0,6	3,3	2,5	< 1,2	< 0,9
D12346	1,1	< 0,6	2,2	3,5	< 0,6	1,9	1,2	< 1,2	< 0,9
D12367	2,1	2,4	3,6	4,1	4,5	2,2	2,0	< 1,2	< 0,9

in pg/g TM	WS0-10	WS10-15	WS15-20	WS20-35	WS35-40	WS50-55	WS60-65	WS75-80	WS90-100
D12389	3,0	2,7	5,2	4,2	2,7	2,8	< 0,7	< 1,2	< 0,9
D124679.124689.123468	143,7	130,3	247,0	140,6	47,7	54,3	45,0	11,6	6,3
D123679.123689	129,1	118,9	249,5	114,3	23,2	21,9	17,5	5,0	< 2,8
D123478	15,7	15,0	26,6	9,7	4,4	3,8	3,2	< 3,5	< 2,8
D123678	34,4	33,3	75,4	32,0	6,2	5,5	4,9	< 3,5	< 2,8
D123469	10,2	6,2	12,1	< 1,7	1,9	1,2	< 2,1	< 3,5	< 2,8
D123789	19,6	21,5	40,4	20,3	< 1,9	4,5	3,4	< 3,5	< 2,8
D123467	10,7	6,4	15,8	9,2	5,7	4,2	4,0	< 3,5	< 2,8
D1234679	653,2	634,5	1321,4	687,9	52,7	46,4	40,3	13,3	9,1
D1234678	819,7	810,4	1850,9	788,7	49,3	43,2	39,4	12,3	5,9
OCDD	5646,2	5210,9	11796,0	6149,3	260,6	239,1	216,6	126,0	52,3
F1368	8,3	9,4	11,5	14,9	9,6	8,3	7,8	1,6	0,8
F1378.1379	< 0,5	15,5	< 0,4	< 0,5	< 0,5	17,8	17,0	2,4	1,2
F1347	9,0	9,3	12,4	16,0	11,8	7,7	8,1	1,1	0,5
F1468	21,0	23,5	26,9	45,5	48,8	33,3	11,2	2,0	< 0,7
F1247	8,8	9,7	13,5	14,3	25,8	8,8	8,1	1,6	< 0,7
F1367	12,5	13,4	16,9	< 0,5	< 0,5	9,7	9,8	1,7	1,3
F1348	12,5	13,3	16,0	28,7	26,6	7,2	7,0	< 0,9	0,9
F1346.1248	< 0,5	< 0,5	< 0,4	< 0,5	< 0,5	< 0,5	17,4	< 0,9	1,5
F1246.1268	19,5	19,2	26,4	40,0	29,8	20,3	18,5	< 0,9	1,4
F1478.1369.1237	39,0	41,1	49,6	85,3	60,6	21,9	20,4	< 0,9	1,2
F1678.1234	5,0	4,3	13,0	9,8	15,2	11,4	15,2	1,5	< 0,7
F2468.1238.1467.1236	48,4	47,2	64,6	101,3	75,0	25,6	29,2	5,4	1,9
F1349	1,1	1,0	1,9	2,5	< 0,5	2,1	1,9	0,9	< 0,7
F1278	24,2	25,0	32,4	52,2	45,8	29,6	26,2	3,3	1,3
F1267.1279	17,5	13,7	23,5	35,9	27,4	12,3	15,8	2,6	1,3

in pg/g TM	WS0-10	WS10-15	WS15-20	WS20-35	WS35-40	WS50-55	WS60-65	WS75-80	WS90-100
F1469	3,8	3,9	5,6	11,3	12,1	1,1	1,2	0,9	< 0,7
F2368.1249	20,3	21,8	26,9	40,0	29,8	15,6	15,7	2,3	1,0
F2467	19,5	19,2	28,4	35,4	28,3	16,8	17,2	3,0	1,4
F1239.2347	11,4	8,4	17,6	19,8	17,7	12,9	13,6	1,9	0,7
F1269	2,3	1,7	4,2	6,9	4,6	1,8	1,5	0,9	0,7
F2378	41,1	43,8	54,2	78,0	57,1	22,9	23,3	3,1	1,0
F2348	10,7	8,5	16,1	23,8	19,1	12,2	11,5	1,8	0,6
F2346	0,5	0,5	3,6	7,2	5,5	4,7	3,0	0,9	< 0,7
F2367	39,8	31,3	58,4	88,6	59,4	19,9	20,7	3,3	1,2
F3467	0,5	0,5	0,4	8,4	0,5	0,5	0,6	0,9	< 0,7
F13468	11,3	12,5	15,5	23,0	18,4	7,2	5,6	0,8	< 0,6
F12468	23,9	27,2	43,0	45,2	22,2	9,3	7,3	1,3	< 0,6
F13678	7,0	8,3	10,1	13,4	10,1	7,1	6,2	0,8	< 0,6
F13479	2,4	2,4	3,0	3,7	2,7	1,6	1,5	0,8	< 0,6
F12368.13478	39,1	41,4	49,6	82,9	66,5	18,8	16,7	2,9	< 0,6
F12478	< 0,4	< 0,4	< 0,3	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,5	< 0,8	< 0,6
F12479.13467	29,9	31,7	36,6	73,0	62,5	12,5	11,0	< 0,8	< 0,6
F12467	27,0	28,4	30,9	59,2	48,6	12,1	10,4	2,0	< 0,6
F14678.12347	13,1	15,4	17,9	46,6	38,6	8,7	5,5	2,4	< 0,6
F13469	6,4	6,7	7,7	20,1	20,8	1,9	1,8	< 0,8	< 0,6
F12378.12348	< 0,4	28,7	< 0,3	62,0	30,8	29,5	23,6	< 0,8	< 0,6
F12346	8,9	6,0	15,7	16,1	10,6	8,8	7,5	1,5	< 0,6
F12379	< 0,4	< 0,4	1,2	2,4	< 0,4	< 0,4	< 0,5	< 0,8	< 0,6
F12367	16,6	17,2	20,4	34,8	25,2	10,7	9,4	1,8	< 0,6
F12469.12678	18,0	20,2	25,3	39,4	33,4	16,6	14,2	2,7	< 0,6
F12679	2,2	2,6	2,5	5,4	5,2	1,6	1,5	< 0,8	< 0,6

in pg/g TM	WS0-10	WS10-15	WS15-20	WS20-35	WS35-40	WS50-55	WS60-65	WS75-80	WS90-100
F12369	4,2	3,9	4,0	7,2	6,3	1,0	0,8	0,8	< 0,6
F23468	15,1	16,3	22,4	26,7	17,9	10,2	9,0	1,6	< 0,6
F12349	1,5	1,7	2,1	2,9	1,7	1,8	1,2	0,8	< 0,6
F12489	3,0	3,4	4,6	7,6	5,2	2,7	2,4	0,8	< 0,6
F23478	27,2	29,4	37,1	56,8	44,4	18,3	16,9	2,5	< 0,6
F12389	1,7	1,5	2,9	4,2	2,8	1,8	1,4	0,8	< 0,6
F23467	28,4	22,4	36,6	60,1	42,6	15,0	16,7	0,8	< 0,6
F123468	33,8	38,6	70,8	54,2	24,9	16,6	10,7	2,4	< 0,6
F134678.134679	29,3	32,5	46,6	59,0	46,9	22,6	17,0	3,8	< 0,6
F124678	82,8	94,4	176,3	134,5	47,3	25,3	18,3	3,8	0,9
F124679	6,8	7,3	11,4	12,0	9,4	3,2	2,4	< 0,8	< 0,6
F123478.123479	31,6	34,7	50,7	64,5	43,3	31,1	27,1	3,2	0,9
F123678	25,2	27,2	39,4	48,5	29,1	18,4	14,6	2,8	0,7
F124689	33,0	39,4	81,1	55,6	< 0,4	2,8	2,5	< 0,8	< 0,6
F123467	29,7	30,8	41,2	58,3	51,8	22,6	17,3	3,4	1,0
F123679	3,4	3,6	4,4	6,1	5,1	2,0	1,9	< 0,8	< 0,6
F123469.123689	9,7	11,1	16,9	20,7	12,8	4,8	< 0,5	1,0	< 0,6
F123789	5,5	6,8	10,8	8,8	5,6	4,0	1,6	< 0,8	< 0,6
F123489	3,9	4,3	6,5	9,6	4,8	3,7	3,4	< 0,8	< 0,6
F234678	21,0	23,4	35,8	38,3	25,6	14,3	16,2	2,3	< 0,6
F1234678	230,7	278,7	509,7	385,7	150,9	88,8	55,2	12,5	< 3,7
F1234679	12,2	17,0	24,3	25,0	16,1	10,1	5,7	1,4	< 3,7
F1234689	147,9	269,7	513,4	302,2	39,0	15,7	9,2	2,2	< 3,7
F1234789	22,2	24,2	43,9	27,5	21,0	12,5	9,7	< 4,6	< 3,7
OCDF	503,6	680,7	1319,4	887,9	318,0	206,1	69,2	14,2	< 3,7

11.5 PAK-GEHALTE IN SEDIMENTEN

PAK-Gehaltsangaben in ng/g TM

Nachweisgrenze: 0,05 ng/g TM

in ng/g TM	AK5-10	AK10-15	AK15-20	AK20-25	AK25-30	AK30-40	AK40-52,5
2-Methylanthracen	4,4	7,9	6,3	1,6	0,6	0,3	0,7
Benzo(ghi)fluoranthen	158,2	204,9	202,0	120,6	31,8	37,6	31,5
Benzo(e)pyren	408,2	450,7	399,7	219,3	51,3	41,1	36,4
Anthanthren	35,2	36,9	33,7	14,0	2,7	2,3	2,2
Indeno(1,2,3-cd)fluoranthen	182,9	192,1	174,1	104,3	27,8	26,7	24,7
Benzo(b)chrysen	23,8	24,6	21,0	9,2	1,8	1,8	1,6
Picen	51,2	50,2	42,4	19,5	4,4	4,4	3,7
3-Methylphenanthren	36,8	61,7	42,9	11,9	7,2	5,8	14,1
4/9-Methylphenanthren	31,7	49,1	42,6	14,8	5,9	7,2	17,7
1-Methylphenanthren	33,8	53,6	36,4	11,2	7,2	6,8	17,5
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	28,3	33,0	18,9	4,9	2,4	2,9	5,5
Phenanthro(9,10-b)thiophen	9,5	11,9	9,6	3,7	0,7	0,7	0,7
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen	7,3	23,7	8,1	6,4	0,7	2,9	2,7
Triphenylen	94,0	92,6	79,5	70,5	26,7	13,0	11,4
Benzo(c)phenanthren	35,9	39,5	33,2	13,9	5,5	5,6	8,2
Indeno(1,2,3-cd)pyren	342,7	349,2	315,7	195,8	50,7	42,6	37,5
Benzo(ghi)perylen	444,0	453,8	404,0	246,8	61,8	53,6	48,9
Dibenzo(a,h)anthracen	56,0	54,1	47,5	22,5	4,8	5,5	4,3
Naphthalen	1,5	0,6	0,1	0,6	0,3	0,0	0,3
Acenaphthylen	2,4	2,5	2,7	0,5	0,1	0,1	0,1
Acenaphthen	1,7	2,2	1,1	0,2	0,1	0,0	0,1
Fluoren	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Phenanthren	79,6	74,0	61,1	18,1	12,7	28,5	29,2
Anthracen	14,3	20,3	14,5	3,3	1,0	2,2	2,0
2-Methylphenanthren	44,4	87,3	44,5	15,1	6,0	5,9	20,5
Methylanthracen	0,8	1,0	0,6	0,3	0,2	0,2	0,8
Fluoranthen	208,4	237,2	226,0	78,0	22,1	19,8	21,2
Pyren	214,8	180,9	223,2	88,9	32,9	25,6	30,5
9,10-Dimethylanthracen	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen	8,2	7,0	5,0	1,7	1,5	1,5	1,5
Benz(a)anthracen	136,1	148,2	130,9	50,7	13,4	12,0	12,4
Chrysen	121,3	135,8	112,3	48,1	10,0	8,5	10,0
2-Methylchrysen	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
7,12-Dimethylbenz(a)anthracen	17,3	19,3	18,7	11,6	5,3	7,4	6,4
Benzo(b,j)fluoranthen	619,6	655,6	573,5	337,1	88,3	76,7	70,2
Benzo(k)fluoranthen	232,0	253,4	226,5	129,4	33,3	28,2	26,4
Benzo(a)pyren	215,1	220,4	212,7	88,2	19,4	17,7	17,4
Perylen	130,9	136,2	128,5	74,1	44,6	57,8	64,8
Coronen	558,7	506,2	416,5	284,3	74,8	64,8	58,4

in ng/g TM	BS0-3	BS3-6	BS6-9	BS9-12	BS12-18	BS18-26	BS26-32	BS32-40
2-Methylanthracen	56,4	52,4	32,5	17,5	7,8	3,7	4,6	4,9
Benzo(ghi)fluoranthen	296,5	297,3	220,6	143,2	71,0	26,2	18,1	11,9
Benzo(e)pyren	439,3	426,7	337,5	208,9	106,7	28,3	6,9	5,4
Anthanthren	75,4	72,9	53,4	34,5	18,3	5,4	2,9	1,8
Indeno(1,2,3-cd)fluoranthen	138,8	142,2	111,0	73,6	41,5	16,5	12,5	< 0,05
Benzo(b)chrysen	56,6	56,2	37,3	28,1	9,8	2,7	1,0	< 0,05
Picen	96,7	94,8	66,5	40,3	17,4	5,5	2,5	3,3
3-Methylphenanthren	214,3	229,2	155,7	98,9	57,7	31,2	33,1	2,7
4/9-Methylphenanthren	203,4	206,2	141,4	99,0	63,2	42,7	47,4	29,0
1-Methylphenanthren	232,3	243,1	167,3	111,6	67,8	38,6	41,9	25,1
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	261,1	255,1	186,5	99,3	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Phenanthro(9,10-b)thiophen	69,0	18,3	45,6	26,5	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen	104,6	97,9	72,4	37,9	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Triphenylen	290,0	285,0	211,2	126,7	61,0	22,9	6,6	4,8
Benzo(c)phenanthren	169,0	167,3	112,4	71,5	30,5	10,2	6,4	3,1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	671,3	924,6	509,5	344,0	165,8	78,5	70,3	23,6
Benzo(ghi)perylen	652,6	648,8	478,1	300,7	159,0	73,2	66,7	22,0
Dibenzo(a,h)anthracen	94,2	94,7	63,3	40,8	16,6	5,6	2,9	3,5
Naphthalen	2,0	15,5	3,8	1,4	8,9	1,2	4,6	14,0
Acenaphthylen	4,2	23,8	6,2	2,8	1,8	0,4	0,3	5,5
Acenaphthen	18,1	27,5	9,1	4,6	5,2	2,8	3,8	5,2
Fluoren	104,9	127,1	36,9	20,4	20,9	8,0	10,8	20,7
Phenanthren	473,2	466,3	344,1	202,0	119,1	56,1	53,0	46,8
Anthracen	105,0	105,1	60,4	30,5	15,6	5,2	4,2	3,4
2-Methylphenanthren	233,0	234,3	176,5	103,5	58,1	33,5	36,0	21,7
Methylanthracen	3,2	3,0	1,9	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Fluoranthen	319,4	308,4	252,9	182,1	146,3	54,8	41,5	25,3
Pyren	358,4	356,4	260,3	170,8	127,6	60,8	58,1	32,3
9,10-Dimethylanthracen	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen	100,4	101,2	69,8	35,0	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Benz(a)anthracen	365,6	347,2	251,6	146,9	65,9	19,6	7,4	4,7
Chrysen	429,6	409,1	318,4	188,3	88,8	22,8	4,5	3,5
2-Methylchrysen	184,7	183,1	139,2	80,0	34,6	8,9	2,7	2,5
7,12-Dimethylbenz(a)anthracen	49,2	50,4	44,5	28,7	17,3	11,7	10,6	5,9
Benzo(b,j)fluoranthen	403,0	388,1	320,0	213,4	166,0	55,5	33,3	22,2
Benzo(k)fluoranthen	348,1	357,7	261,2	165,8	82,0	26,0	12,9	8,7
Benzo(a)pyren	360,6	354,8	258,2	153,6	76,7	24,3	10,8	7,2
Perylen	338,1	333,5	328,3	289,8	370,0	379,9	372,1	189,3
Coronen	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.

in ng/g TM	QS0-5	QS20-30	QS45-50	QS60-65	QS85-90	QS110-115	QS155-160	QS231-236
2-Methylanthracen	n.g.	352,9	378,1	501,3	1811,0	530,0	24,6	14,8
Benzo(ghi)fluoranthen	n.g.	212,3	269,1	304,7	995,7	271,8	31,2	16,0
Benzo(e)pyren	n.g.	295,5	345,5	535,3	613,1	465,8	22,1	3,6
Anthanthren	n.g.	43,1	84,8	71,9	114,3	89,4	2,7	0,0
Indeno(1,2,3-cd)fluoranthen	n.g.	17,6	104,0	24,7	41,9	34,1	6,6	1,3
Benzo(b)chrysen	n.g.	34,1	67,7	54,6	94,7	77,4	1,3	0,1
Picen	n.g.	44,7	97,1	79,3	184,1	10,7	2,8	0,3
3-Methylphenanthren	n.g.	365,6	426,8	531,8	1544,6	532,1	72,0	36,7
4/9-Methylphenanthren	n.g.	339,9	399,5	512,5	1892,2	509,2	68,3	36,7
1-Methylphenanthren	n.g.	372,6	464,4	612,6	2047,1	600,4	65,1	36,5
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	n.g.	173,6	249,2	231,5	910,6	241,1	9,4	3,5
Phenanthro(9,10-b)thiophen	n.g.	56,7	44,9	70,4	136,8	62,3	1,8	0,4
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen	n.g.	54,0	73,0	65,7	121,2	96,1	3,3	0,6
Triphenylen	n.g.	280,1	206,7	509,6	661,1	497,9	17,4	3,3
Benzo(c)phenanthren	n.g.	115,4	137,4	183,6	123,2	27,4	9,8	2,5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	n.g.	207,3	287,6	360,0	452,3	350,7	28,4	7,2
Benzo(ghi)perylen	n.g.	231,2	335,0	432,1	608,1	409,2	47,5	11,5
Dibenzo(a,h)anthracen	n.g.	206,1	285,5	65,2	450,6	348,9	28,3	7,1
Naphthalen	n.g.	114,0	129,2	26,1	243,7	1,9	4,7	2,0
Acenaphthylen	n.g.	4,1	142,0	45,3	395,1	3,8	0,3	2,6
Acenaphthen	n.g.	1,8	1,6	2,2	9,8	1,7	0,2	0,1
Fluoren	n.g.	271,4	352,1	438,6	1212,0	431,6	45,5	30,2
Phenanthren	n.g.	608,7	550,7	983,6	1294,0	824,4	127,3	68,7
Anthracen	n.g.	374,1	404,0	510,7	1243,3	562,4	29,7	16,5
2-Methylphenanthren	n.g.	396,6	485,8	269,5	2003,2	625,2	57,0	45,8
Methylanthracen	n.g.	43,0	44,8	43,2	504,0	105,1	0,5	0,6
Fluoranthen	n.g.	381,0	523,0	813,5	1704,7	505,1	91,5	40,7
Pyren	n.g.	575,5	496,9	1013,6	1161,2	319,4	66,7	40,4
9,10-Dimethylanthracen	n.g.	37,0	18,0	258,2	166,1	113,1	0,7	0,3
Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen	n.g.	52,0	66,6	5,4	140,8	81,5	1,9	0,4
Benz(a)anthracen	n.g.	290,3	326,1	318,5	387,8	293,8	25,1	5,4
Chrysen	n.g.	280,1	331,6	501,0	638,9	497,3	21,0	3,6
2-Methylchrysen	n.g.	51,1	150,7	74,7	136,4	99,5	6,5	1,2
7,12-Dimethylbenz(a)anthracen	n.g.	14,8	76,2	272,8	185,1	138,4	3,6	1,2
Benzo(b,j)fluoranthen	n.g.	348,5	392,5	607,0	712,6	562,5	34,7	7,5
Benzo(k)fluoranthen	n.g.	193,7	233,9	339,7	390,7	309,5	14,1	2,5
Benzo(a)pyren	n.g.	269,9	326,6	468,2	577,0	439,6	19,3	2,5
Perylen	n.g.	177,0	206,0	234,5	340,3	271,9	252,3	52,5
Coronen	n.g.	81,4	208,3	216,3	325,4	236,0	25,0	7,1

in ng/g TM	TK0-10	TK10-15	TK15-20	TK25-30	TK55-60	TK60-65	TK65-70	TK95-100
2-Methylanthracen	131,4	141,2	289,8	161,9	578,9	105,2	84,1	29,3
Benzo(ghi)fluoranthen	342,1	411,8	541,6	434,4	589,3	178,1	148,5	43,2
Benzo(e)pyren	1168,7	863,4	927,9	787,8	775,4	374,1	263,9	43,0
Anthanthren	169,4	150,5	173,8	72,8	204,8	88,6	48,8	3,5
Indeno(1,2,3-cd)fluoranthen	259,8	201,1	227,4	138,1	206,9	93,4	58,9	5,4
Benzo(b)chrysen	198,9	136,2	155,9	67,2	169,6	67,3	35,7	1,8
Picen	214,6	160,2	29,1	74,6	152,5	52,5	36,2	1,6
3-Methylphenanthren	352,9	442,9	653,8	533,5	902,4	181,0	201,4	47,1
4/9-Methylphenanthren	279,0	317,2	497,0	366,8	697,2	157,9	154,5	40,7
1-Methylphenanthren	336,9	389,4	568,3	448,2	777,5	181,3	170,8	40,8
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	347,0	368,1	550,6	392,5	875,4	216,1	169,6	48,8
Phenanthro(9,10-b)thiophen	59,5	58,0	81,1	41,4	137,3	35,5	22,9	2,7
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen	140,1	117,4	165,5	84,4	269,7	76,6	48,4	3,7
Triphenylen	1063,1	845,8	967,7	414,1	471,9	206,5	298,8	38,1
Benzo(c)phenanthren	308,3	327,9	409,1	316,5	394,1	145,8	105,1	17,4
Indeno(1,2,3-cd)pyren	913,3	659,4	714,0	528,7	599,6	290,5	201,3	25,0
Benzo(ghi)perylen	982,1	735,8	763,7	537,6	650,2	301,7	203,5	26,7
Dibenzo(a,h)anthracen	910,4	657,8	711,2	527,8	596,2	289,7	199,9	25,2
Naphthalen	0,3	58,3	117,4	58,3	447,8	21,2	144,1	9,5
Acenaphthylen	1,3	33,9	47,5	24,3	138,1	18,8	12,0	2,5
Acenaphthen	0,3	36,6	68,5	40,5	414,1	182,7	64,7	17,4
Fluoren	231,7	235,0	355,4	252,3	707,8	146,5	131,0	22,9
Phenanthren	617,6	925,0	1257,7	901,7	1261,4	411,7	441,9	88,9
Anthracen	294,9	382,1	560,9	410,1	983,5	209,1	210,4	54,7
2-Methylphenanthren	364,9	463,6	610,3	503,1	936,3	211,1	206,2	52,8
Methylanthracen	16,3	7,6	10,4	12,2	40,6	6,7	4,7	0,3
Fluoranthen	1278,0	1919,5	2264,1	1998,0	1209,7	634,7	514,9	129,1
Pyren	948,3	1416,2	1472,8	1509,5	1218,6	532,6	481,7	80,3
9,10-Dimethylanthracen	5,9	6,7	11,2	8,6	18,3	2,9	2,8	0,7
Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen	102,0	92,6	156,2	80,9	273,5	65,6	43,1	9,2
Benz(a)anthracen	1144,3	889,6	1063,7	867,0	462,7	407,9	297,7	41,8
Chrysen	1064,2	848,2	1011,8	823,9	702,5	424,2	299,6	38,3
2-Methylchrysen	192,7	93,7	138,7	227,0	340,3	143,5	32,4	2,5
7,12-Dimethylbenz(a)anthracen	42,9	58,1	94,1	36,8	77,2	25,3	18,4	0,4
Benzo(b,j)fluoranthen	1619,5	1148,0	1264,9	998,1	920,6	442,3	371,5	51,5
Benzo(k)fluoranthen	841,1	604,4	667,1	520,9	640,2	291,3	201,2	25,1
Benzo(a)pyren	1099,3	857,6	952,2	737,0	830,9	394,3	276,7	42,3
Perylen	620,6	481,8	542,4	391,2	505,3	230,9	150,9	28,6
Coronen	448,0	328,7	318,4	114,5	251,8	96,1	57,8	3,9

in ng/g TM	WS0-10	WS10-15	WS15-20	WS35-40	WS50-55	WS60-65	WS75-80	WS90-10
2-Methylanthracen	390,6	724,1	262,1	269,0	669,4	246,2	28,3	2,9
Benzo(ghi)fluoranthen	1859,4	1572,2	1246,2	1362,2	1251,1	1390,3	437,2	192,0
Benzo(e)pyren	2702,3	3518,7	2231,3	1990,8	2679,3	2063,7	472,7	146,1
Anthanthren	597,0	1018,1	376,9	224,4	650,3	604,4	72,9	6,2
Indeno(1,2,3-cd)fluoranthen	843,7	1267,2	634,2	387,6	919,1	859,3	203,9	54,6
Benzo(b)chrysen	379,6	866,0	194,0	164,0	579,8	438,5	52,2	0,2
Picen	518,0	1044,6	289,5	216,3	668,4	526,8	65,0	0,2
3-Methylphenanthren	726,8	1126,6	583,7	764,8	1183,0	645,8	128,3	50,4
4/9-Methylphenanthren	658,7	1029,4	282,2	674,7	1058,3	718,1	138,8	56,0
1-Methylphenanthren	683,2	1054,9	514,3	686,3	1091,6	810,2	189,6	56,3
Benzo(b)naphtho(2,1-d)thiophen	642,5	1190,4	540,9	976,3	1283,0	592,2	77,0	8,6
Phenanthro(9,10-b)thiophen	118,6	240,7	1,5	1,2	215,1	1,4	18,8	0,1
Benzo(b)naphtho(2,3-d)thiophen	171,1	357,3	158,4	286,8	385,9	175,4	18,1	1,1
Triphenylen	1136,3	1771,4	999,9	1100,0	1763,3	1100,7	210,7	52,0
Benzo(c)phenanthren	684,3	1126,6	591,0	617,2	954,5	671,3	139,3	38,6
Indeno(1,2,3-cd)pyren	2821,6	4100,6	2134,5	2123,0	3064,3	2550,2	564,3	146,2
Benzo(ghi)perylen	2674,6	3942,5	2057,9	1938,4	2788,4	2395,5	506,1	140,4
Dibenzo(a,h)anthracen	664,4	1497,9	433,9	418,6	1044,6	755,4	97,1	10,9
Naphthalen	11,2	13,7	8,8	34,8	78,8	100,4	6,3	1,2
Acenaphthylen	92,3	178,0	64,1	135,8	204,1	92,8	13,3	1,2
Acenaphthen	49,1	44,2	29,0	48,1	63,7	76,7	5,7	1,1
Fluoren	269,9	516,4	217,4	377,6	735,5	287,6	29,3	0,1
Phenanthren	2014,0	2364,2	1509,6	2500,2	2153,9	1487,1	296,1	119,6
Anthracen	750,1	990,5	513,2	742,6	1429,6	531,4	63,9	10,6
2-Methylphenanthren	675,0	1289,0	568,7	964,9	1464,0	805,5	160,4	59,1
Methylanthracen	15,1	30,3	12,9	20,2	48,5	17,3	1,9	0,3
Fluoranthen	2168,1	2121,9	2002,6	2129,1	1628,2	1246,5	413,2	271,2
Pyren	3287,9	2327,4	2914,2	2471,5	2322,5	1678,3	495,1	200,1
9,10-Dimethylanthracen	6,6	14,1	5,1	9,3	20,1	10,1	0,7	0,4
Benzo(b)naphtho(1,2-d)thiophen	172,6	366,0	167,4	247,9	351,8	173,6	23,9	2,4
Benz(a)anthracen	1122,2	2967,2	1873,5	1959,9	2259,9	1732,3	359,2	73,6
Chrysen	2326,4	2905,4	1908,0	2080,8	2194,3	1703,1	377,5	76,8
2-Methylchrysen	667,0	1068,7	548,2	608,7	1072,9	629,8	100,3	15,0
7,12-Dimethylbenz(a)anthracen	73,9	128,9	52,7	26,0	146,5	138,8	36,0	21,4
Benzo(b,j)fluoranthen	2937,7	3796,9	2697,2	2318,2	2246,5	2236,5	569,4	149,9
Benzo(k)fluoranthen	1775,5	2717,8	1432,6	1235,7	2286,5	1545,7	303,8	62,0
Benzo(a)pyren	2511,0	3482,9	2145,5	1671,5	2650,4	1970,3	391,1	88,9
Perylen	1021,4	1757,5	737,9	546,4	1230,8	945,7	168,6	55,3
Coronen	1734,5	2430,6	1135,2	602,5	1336,3	1509,8	394,2	98,1

11.6 PCBs IN SEDIMENTEN

PCB-Gehaltsangaben in den Sedimenten in ng/g TM

Nachweisgrenze:

- 0,05 ng/g TM in den BS-, QS-, TK- und WS-Proben
- 0,0005 ng/g TM in den AK-Proben

in ng/g TM	AK0-5	AK5-10	AK10-15	AK15-20	AK20-25	AK25-30	AK30-40	AK40-52,5
PCB8	0,005	0,10	0,19	0,01	0,03	0,02	0,0004	0,02
PCB18	0,14	0,12	0,14	0,04	0,04	0,04	0,01	0,02
PCB20	0,20	0,13	0,16	0,07	0,06	0,06	0,02	0,03
PCB28	0,23	0,17	0,13	0,09	0,06	0,07	0,02	0,04
PCB31	0,19	0,13	0,13	0,08	0,06	0,06	0,01	0,03
PCB35	0,03	0,06	0,07	0,05	0,04	0,02	0,004	0,01
PCB44	0,04	0,04	0,06	0,05	0,04	0,05	0,02	0,02
PCB49	0,03	0,02	0,06	0,04	0,03	0,06	0,01	0,03
PCB52	0,26	0,19	0,28	0,09	0,06	0,08	0,02	0,03
PCB66	0,11	0,07	0,07	0,04	0,03	0,05	0,02	0,02
PCB70	0,17	0,16	0,15	0,06	0,04	0,05	0,02	0,02
PCB79	0,02	0,04	0,03	0,005	0,008	0,007	0,001	0,001
PCB90/101	0,22	0,21	0,17	0,12	0,06	0,11	0,05	0,05
PCB105	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,01	0,003	0,01
PCB110	0,34	0,47	0,50	0,10	0,06	0,08	0,01	0,05
PCB114	0,01	0,02	0,04	0,005	0,004	0,004	0,003	0,003
PCB118	0,35	0,25	0,22	0,07	0,04	0,06	0,02	0,03
PCB123	0,04	0,03	0,04	0,01	0,002	0,002	0,001	0,001
PCB128	0,12	0,15	0,13	0,02	0,01	0,02	0,002	0,01
PCB138	0,55	0,43	0,37	0,15	0,09	0,17	0,05	0,10
PCB149	0,66	0,45	0,37	0,24	0,13	0,21	0,09	0,05
PCB153	1,05	0,85	0,72	0,26	0,15	0,28	0,11	0,16
PCB156	0,02	0,03	0,03	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
PCB157	0,03	0,03	0,05	0,003	0,003	0,0005	0,001	0,0004
PCB167	0,02	0,04	0,04	0,01	0,008	0,01	0,005	0,006
PCB170	0,19	0,21	0,18	0,04	0,03	0,06	0,03	0,05
PCB180	0,39	0,42	0,33	0,07	0,07	0,13	0,04	0,06
PCB187	0,23	0,22	0,18	0,04	0,03	0,06	0,02	0,04
PCB189	0,02	0,01	0,01	0,006	0,001	0,003	0,001	0,001
PCB194	0,04	0,04	0,01	0,01	0,006	0,009	0,002	0,004

in ng/g TM	BS0-3	BS3-6	BS6-9	BS9-12	BS12-18	BS18-26	BS26-32	BS32-40
PCB8	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB18	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB20	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB28	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB31	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB35	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB44	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB49	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB52	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB66	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB70	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB79	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB90/101	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB105	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB110	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB114	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB118	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB123	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB128	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB138	0,2	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB149	0,2	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB153	0,2	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB156	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB157	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB167	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB170	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB180	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB187	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB189	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB194	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05

in ng/g TM	QS0-5	QS20-30	QS45-50	QS60-65	QS85-90	QS110-115	QS155-160	QS231-236
PCB8	n.g.	0,06	1,34	0,56	0,77	0,15	< 0,05	< 0,05
PCB18	n.g.	2,82	11,84	7,40	6,82	1,20	1,48	< 0,05
PCB20	n.g.	2,03	5,44	4,59	3,30	1,07	0,99	< 0,05
PCB28	n.g.	19,26	26,63	25,69	12,12	7,29	1,98	< 0,05
PCB31	n.g.	9,55	16,72	16,80	5,92	3,87	1,84	< 0,05
PCB35	n.g.	4,86	2,71	3,09	5,97	2,35	0,32	< 0,05
PCB44	n.g.	2,46	10,34	10,55	7,23	2,86	2,82	< 0,05
PCB49	n.g.	4,42	10,69	11,37	6,48	3,75	2,25	< 0,05
PCB52	n.g.	6,03	17,92	19,34	12,68	7,73	2,55	< 0,05
PCB66	n.g.	12,27	18,04	18,14	9,06	5,72	1,47	< 0,05
PCB70	n.g.	9,39	6,81	19,00	10,06	6,06	1,02	< 0,05
PCB79	n.g.	0,07	0,21	0,21	0,20	< 0,05	0,01	< 0,05
PCB90/101	n.g.	7,41	16,05	16,85	12,46	9,33	1,04	< 0,05
PCB105	n.g.	2,40	6,52	6,78	4,52	2,24	0,32	< 0,05
PCB110	n.g.	9,64	28,08	27,04	20,29	9,18	1,79	< 0,05
PCB114	n.g.	0,08	0,27	0,65	0,23	0,33	0,03	< 0,05
PCB118	n.g.	10,07	20,39	21,81	15,06	10,21	0,77	< 0,05
PCB123	n.g.	0,74	2,11	1,89	0,30	1,01	0,20	< 0,05
PCB128	n.g.	2,05	6,45	6,45	4,45	1,97	0,26	< 0,05
PCB138	n.g.	17,81	35,98	39,09	26,57	16,03	1,29	< 0,05
PCB149	n.g.	15,79	33,22	39,78	25,07	16,42	2,61	< 0,05
PCB153	n.g.	22,37	43,19	49,88	34,50	24,42	1,47	< 0,05
PCB156	n.g.	0,17	0,07	0,03	0,04	0,03	0,02	< 0,05
PCB157	n.g.	0,09	0,11	0,02	0,04	0,02	0,004	< 0,05
PCB167	n.g.	0,98	2,65	2,78	1,97	1,64	0,05	< 0,05
PCB170	n.g.	5,36	13,61	17,04	8,92	7,06	0,45	< 0,05
PCB180	n.g.	10,19	22,49	27,95	16,09	12,21	0,51	< 0,05
PCB187	n.g.	4,54	3,52	12,22	5,72	5,24	0,310	< 0,05
PCB189	n.g.	0,31	0,21	0,81	0,24	0,42	0,008	< 0,05
PCB194	n.g.	1,73	1,24	2,01	1,42	0,20	< 0,05	< 0,05

in ng/g TM	TK0-10	TK10-15	TK15-20	TK25-30	TK55-60	TK60-65	TK65-70	TK95-100
PCB8	11,06	14,06	15,86	28,49	29,83	4,51	13,60	0,51
PCB18	16,82	18,18	25,21	41,09	31,73	5,53	15,38	0,86
PCB20	20,87	25,55	35,86	46,59	34,25	7,45	17,41	0,99
PCB28	38,62	48,33	64,96	75,73	52,04	12,28	25,33	1,76
PCB31	29,43	29,75	47,19	58,63	40,65	9,78	18,03	1,12
PCB35	3,11	4,90	4,56	6,79	5,63	1,16	3,14	0,14
PCB44	10,48	14,07	19,14	25,25	20,62	3,63	10,50	0,50
PCB49	9,39	13,23	18,23	25,03	19,84	3,60	10,23	0,43
PCB52	11,43	17,02	22,13	28,64	23,65	5,72	11,81	0,66
PCB66	20,23	28,41	35,73	41,11	21,01	6,69	14,62	0,90
PCB70	19,51	26,19	33,27	39,62	20,23	6,52	10,64	0,89
PCB79	0,39	0,56	0,67	0,68	0,38	0,17	0,36	0,01
PCB90/101	7,97	13,54	12,83	12,42	20,55	15,09	9,99	0,74
PCB105	4,94	7,05	4,33	6,84	9,02	3,25	4,43	0,27
PCB110	12,80	19,89	21,02	19,91	23,83	14,21	12,15	1,12
PCB114	0,13	0,60	0,34	1,85	1,72	0,77	0,71	0,03
PCB118	13,43	19,41	12,01	18,29	21,88	9,41	10,57	0,89
PCB123	0,83	2,67	0,48	1,21	4,45	0,79	0,76	0,10
PCB128	4,50	7,18	4,08	6,64	11,28	8,97	6,46	0,40
PCB138	22,80	37,04	21,65	31,65	39,73	32,87	21,35	2,06
PCB149	18,46	29,68	17,55	28,10	36,02	36,70	19,30	1,60
PCB153	27,03	43,90	26,12	38,50	46,40	38,87	23,68	2,24
PCB156	4,74	7,82	4,13	6,43	11,52	8,96	6,55	0,42
PCB157	0,66	0,93	0,59	1,04	2,19	1,13	1,27	0,06
PCB167	0,09	4,17	2,30	0,39	2,15	5,67	4,40	0,21
PCB170	13,45	21,64	12,99	19,25	27,56	25,78	14,76	1,04
PCB180	19,88	32,57	19,66	29,66	38,30	35,55	19,30	1,47
PCB187	8,06	14,01	8,22	12,73	22,33	24,35	10,86	0,55
PCB189	1,33	2,44	1,09	2,07	3,95	3,71	2,45	0,08
PCB194	4,31	7,14	4,05	6,39	12,12	14,52	6,62	0,20

in ng/g TM	WS0-10	WS10-15	WS15-20	WS35-40	WS50-55	WS60-65	WS75-80	WS90-100
PCB8	0,36	2,15	0,11	0,64	0,26	0,26	0,12	0,12
PCB18	6,72	7,40	9,82	5,15	0,80	1,16	0,62	0,71
PCB20	6,95	21,50	8,99	4,72	2,15	1,77	0,22	0,46
PCB28	34,71	84,43	25,52	6,89	3,75	3,83	0,79	1,29
PCB31	21,93	55,39	21,51	5,71	0,84	4,94	1,06	1,20
PCB35	11,19	16,99	10,57	3,32	0,55	0,49	0,29	0,33
PCB44	11,39	18,14	5,12	3,13	0,56	1,10	0,81	0,58
PCB49	14,19	37,58	11,25	3,61	0,52	0,53	0,31	0,37
PCB52	20,70	47,53	13,27	4,80	1,08	1,10	0,68	0,69
PCB66	30,40	69,35	26,88	4,21	0,89	0,80	0,53	0,46
PCB70	30,81	67,66	26,49	8,66	1,09	0,96	0,67	0,54
PCB79	0,30	0,62	0,02	0,58	0,26	0,04	0,02	0,004
PCB90/101	25,23	53,88	13,63	71,01	2,13	1,46	0,87	0,93
PCB105	11,28	19,90	4,64	15,32	0,47	0,50	0,16	0,07
PCB110	40,76	63,66	18,00	70,39	2,56	1,71	0,85	0,64
PCB114	0,40	1,07	0,35	0,37	0,19	0,09	< 0,05	< 0,05
PCB118	36,07	78,05	22,33	69,86	1,40	1,30	0,63	0,32
PCB123	2,82	7,43	1,63	4,45	0,16	0,14	0,05	0,03
PCB128	12,12	21,78	4,49	29,73	0,52	0,37	0,21	0,06
PCB138	72,64	130,96	37,77	167,38	1,69	2,33	1,31	0,53
PCB149	54,90	117,76	28,22	147,13	2,32	2,49	1,56	1,32
PCB153	80,53	173,12	44,38	222,62	2,54	2,67	1,75	0,87
PCB156	10,23	23,12	5,22	33,60	0,48	0,40	0,20	0,05
PCB157	1,47	3,17	0,81	4,51	0,22	0,05	0,04	0,01
PCB167	5,77	14,02	2,83	21,22	0,09	0,23	0,12	0,04
PCB170	32,66	66,47	16,43	81,53	0,61	0,99	0,56	0,15
PCB180	47,15	103,91	24,75	134,29	1,67	1,32	0,72	0,21
PCB187	17,09	39,03	8,78	51,07	0,58	0,48	0,34	0,16
PCB189	1,67	3,55	0,97	7,25	0,25	0,21	0,06	0,02
PCB194	5,22	15,79	3,25	13,93	0,41	0,10	0,05	0,05

11.7 PESTIZIDE UND ELEMENTE IN SEDIMENTEN

Die Gehalte sind folgenden Einheiten angegeben:

CBz, HCH, DDX: ng/g TM

Wassergehalt, TIC, TOC: %

Elemente: µg/g TM

Nachweisgrenzen:

CBz, DDX :

- 0,05 ng/g TM in den BS-, QS-, TK- und WS-Proben
- 0,0005 ng/g TM in den AK-Proben

HCH:

- 0,05 ng/g TM in den BS-, QS-, TK- und WS-Proben
- 0,005 ng/g TM in den AK-Proben

	Einheit	AK0-5	AK5-10	AK10-15	AK15-20	AK20-25	AK25-30	AK30-40	AK40-52,5
1,2,4,5-TeCBz	ng/g TM	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0004	0,0004
1,2,3,4-TeCBz	ng/g TM	0,0009	0,0095	<0,0005	<0,0005	<0,0005	0,0005	0,0017	0,0007
PeCBz	ng/g TM	0,0018	<0,0005	<0,0005	0,0038	0,0053	0,0015	0,0146	0,0125
HCB	ng/g TM	0,0701	0,0095	0,0190	0,0279	0,0145	0,0099	0,0042	0,0133
α-HCH	ng/g TM	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
β-HCH	ng/g TM	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
γ-HCH	ng/g TM	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
δ-HCH	ng/g TM	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005	< 0,005
2,4´-DDE	ng/g TM	0,02	0,09	0,16	0,0019	0,0024	0,0074	0,0004	0,0015
4,4´-DDE	ng/g TM	3,87	1,10	16,09	0,54	0,04	0,06	0,00	0,02
4,4´-DDMU	ng/g TM	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
2,4´-DDMS	ng/g TM	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
4,4´-DDMS	ng/g TM	1,52	2,21	1,56	0,12	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
2,4´-DDD	ng/g TM	0,0005	0,42	0,53	0,16	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
4,4´-DDD	ng/g TM	4,22	6,74	6,50	0,41	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
4,4´-DDT	ng/g TM	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005	<0,0005
Wassergehalt	%	80,1	76,7	75,2	73,7	73,3	73,9	73,1	73,0
TIC	%	0,09	0,15	0,16	0,14	0,13	0,12	0,13	0,14
TOC	%	5,8	5,9	5,9	5,5	5,5	5,6	6,0	6,5
Cd	µg/g TM	9,6	9,8	9,8	10,6	10,6	10,6	11,4	12,0
Cr	µg/g TM	65,8	63,0	66,6	66,7	59,2	72,7	66,4	64,5
Cu	µg/g TM	51,6	41,1	44,2	38,2	33,6	38,2	35,9	24,4
Pb	µg/g TM	128,4	109,9	123,3	91,7	53,5	68,5	45,6	33,8
Zn	µg/g TM	213	199	222	156	111	124	109	100
Fe	µg/g TM	35584	35873	37082	41330	40263	47093	42910	41249
Mn	µg/g TM	339	351	383	430	453	574	565	537
S	µg/g TM	14000	17507	16928	22803	24982	21384	19515	21162
P	µg/g TM	1128	1019	1021	1033	991	1150	1081	1095

	Einheit	BS0-3	BS3-6	BS6-9	BS9-12	BS12-18	BS18-26	BS26-32	BS32-40
1,2,4,5-TeCBz	ng/g TM	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
1,2,3,4-TeCBz	ng/g TM	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
PeCBz	ng/g TM	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
HCB	ng/g TM	6,76	3,46	0,73	0,35	1,96	0,24	< 0,05	< 0,05
α-HCH	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
β-HCH	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
γ-HCH	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
δ-HCH	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,4´-DDE	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDE	ng/g TM	66,62	59,59	21,30	5,53	2,43	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDMU	ng/g TM	24,56	20,75	9,66	3,43	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,4´-DDMS	ng/g TM	0,05	0,05	0,05	0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDMS	ng/g TM	63,93	61,83	26,20	6,61	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,4´-DDD	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDD	ng/g TM	112,78	96,23	45,15	15,41	8,51	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDT	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Wassergehalt	%	95,1	96,9	94,8	96,3	97,0	91,9	93,6	91,7
TIC	%	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05	< 0.05
TOC	%	36,4	35,6	35,8	34,4	32,8	34,1	33,0	36,5
Cd	µg/g TM	4,6	5,8	8,0	7,5	2,8	1,5	1,3	1,3
Cr	µg/g TM	18,9	38,2	55,7	71,5	17,8	13,8	14,8	10,1
Cu	µg/g TM	40,4	33,1	278,3	316,7	22,6	23,6	15,3	18,3
Pb	µg/g TM	185,0	582,0	985,0	1003,3	113,5	59,4	45,9	36,4
Zn	µg/g TM	356	320	3775	3929	186	114	99	103
Fe	µg/g TM	9785	9379	38268	38767	6941	6017	5983	4783
Mn	µg/g TM	279	241	640	664	227	222	189	166
S	µg/g TM	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
P	µg/g TM	172	90	187	192	1372	1359	152	119

	Einheit	QS0-5	QS20-30	QS45-50	QS60-65	QS85-90	QS110-115	QS155-160	QS231-236
1,2,4,5-TeCBz	ng/g TM	n.g.	0,01	0,33	0,42	0,34	0,78	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4-TeCBz	ng/g TM	n.g.	0,01	0,44	0,44	0,48	0,56	< 0,05	< 0,05
PeCBz	ng/g TM	n.g.	0,57	0,67	0,76	0,37	0,56	< 0,05	< 0,05
HCB	ng/g TM	n.g.	1,25	0,89	1,51	0,48	1,20	< 0,05	< 0,05
α-HCH	ng/g TM	n.g.	11,50	15,52	20,50	35,09	26,50	< 0,05	< 0,05
β-HCH	ng/g TM	n.g.	< 0,05	12,03	15,44	26,11	19,69	< 0,05	< 0,05
γ-HCH	ng/g TM	n.g.	< 0,05	8,55	11,76	20,34	14,28	< 0,05	< 0,05
δ-HCH	ng/g TM	n.g.	< 0,05	28,23	35,86	66,22	52,83	< 0,05	< 0,05
2,4´-DDE	ng/g TM	n.g.	0,05	0,66	0,14	1,04	0,10	0,14	0,05
4,4´-DDE	ng/g TM	n.g.	4,30	22,85	13,99	21,18	1,44	0,52	0,15
4,4´-DDMU	ng/g TM	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
2,4´-DDMS	ng/g TM	n.g.	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDMS	ng/g TM	n.g.	0,81	42,32	50,65	44,35	44,96	< 0,05	< 0,05
2,4´-DDD	ng/g TM	n.g.	< 0,05	14,08	26,12	28,42	25,41	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDD	ng/g TM	n.g.	2,06	53,00	81,96	62,46	66,57	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDT	ng/g TM	n.g.	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Wassergehalt	%	93,5	89,6	82,9	81,2	81,2	81,5	87,3	73,1
TIC	%	1,23	1,22	0,94	0,79	1,30	0,84	2,24	8,54
TOC	%	9,71	10,17	10,55	9,79	11,97	12,42	13,49	6,49
Cd	µg/g TM	10,3	17,7	12,8	12,9	7,6	10,5	0,03	0,004
Cr	µg/g TM	154	169	179	210	111	119	13,7	8,5
Cu	µg/g TM	264	323	412	456	355	383	18,3	4,2
Pb	µg/g TM	890	1109	896	1067	652	674	7,6	1,1
Zn	µg/g TM	3585	4770	3848	4451	3253	3402	81	51
Fe	µg/g TM	75290	84540	105230	124260	84470	83350	40990	18510
Mn	µg/g TM	1780	1610	2800	3010	2050	2100	1350	2620
S	µg/g TM	13300	20820	17320	11000	15080	18370	17520	10210
P	µg/g TM	13150	7980	18050	18520	12230	11710	3690	2220

	Einheit	TK0-10	TK10-15	TK15-20	TK25-30	TK55-60	TK60-65	TK65-70	TK95-100
1,2,4,5-TeCBz	ng/g TM	0,81	< 0,05	< 0,05	1,36	1,48	0,14	0,82	< 0,05
1,2,3,4-TeCBz	ng/g TM	0,47	< 0,05	< 0,05	2,03	4,84	0,55	1,85	< 0,05
PeCBz	ng/g TM	5,18	3,04	1,87	2,92	3,84	0,50	1,82	< 0,05
HCB	ng/g TM	6,50	7,24	4,15	3,56	5,09	0,79	1,88	0,13
α-HCH	ng/g TM	17,38	47,80	61,11	78,60	122,49	28,23	18,38	0,32
β-HCH	ng/g TM	121,82	105,87	141,67	168,25	64,46	20,17	12,72	0,35
γ-HCH	ng/g TM	41,00	29,25	41,69	49,50	46,70	11,67	7,62	0,17
δ-HCH	ng/g TM	63,63	43,96	67,57	97,18	134,00	40,05	25,33	2,06
2,4´-DDE	ng/g TM	25,87	31,58	39,85	44,44	1,87	3,06	11,08	0,83
4,4´-DDE	ng/g TM	106,05	141,57	191,75	177,99	77,81	24,46	36,46	6,30
4,4´-DDMU	ng/g TM	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
2,4´-DDMS	ng/g TM	60,25	212,74	322,01	430,05	173,87	68,70	50,81	2,06
4,4´-DDMS	ng/g TM	245,74	362,68	514,36	645,13	233,92	98,47	79,49	3,87
2,4´-DDD	ng/g TM	232,91	781,05	1048,31	1225,64	471,66	214,59	161,57	10,43
4,4´-DDD	ng/g TM	506,43	1188,54	1495,26	1450,64	621,37	327,77	251,65	24,31
4,4´-DDT	ng/g TM	11,74	68,66	401,68	188,83	421,85	141,63	158,90	19,89
Wassergehalt	%	92,0	90,9	89,9	90,5	68,2	38,1	30,8	18,3
TIC	%	1,37	1,27	1,07	0,85	0,16	0,09	0,07	0,06
TOC	%	11,9	11,8	10,8	10,7	10,9	2,2	2,2	0,5
Cd	µg/g TM	5,2	5,3	5,2	5,3	3,4	1,2	1,2	0,7
Cr	µg/g TM	68,6	70,9	69,8	70,3	82,5	22,2	22,1	7,2
Cu	µg/g TM	109,2	129,7	119,4	124,6	101,9	34,1	29,3	26,2
Pb	µg/g TM	187,8	188,7	188,2	188,5	263,0	76,2	72,7	35,7
Zn	µg/g TM	622	722	672	697	741	228	226	85
Fe	µg/g TM	41635	44336	42985	43661	23808	7642	7499	3343
Mn	µg/g TM	4102	4224	4163	4194	1027	306	302	109
S	µg/g TM	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
P	µg/g TM	5516	6097	5807	5952	2903	942	847	130

	Einheit	WS0-10	WS10-15	WS15-20	WS35-40	WS50-55	WS60-65	WS75-80	WS90-100
1,2,4,5-TeCBz	ng/g TM	0,16	0,73	< 0,05	0,25	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
1,2,3,4-TeCBz	ng/g TM	0,07	0,33	< 0,05	0,21	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PeCBz	ng/g TM	0,43	0,72	< 0,05	1,21	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
HCB	ng/g TM	0,89	2,39	3,52	1,45	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
α-HCH	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
β-HCH	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
γ-HCH	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
δ-HCH	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,4´-DDE	ng/g TM	1,33	0,50	0,05	1,07	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDE	ng/g TM	61,80	45,52	33,46	3,10	2,18	0,74	0,40	0,09
4,4´-DDMU	ng/g TM	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.	n.g.
2,4´-DDMS	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDMS	ng/g TM	149,79	421,50	115,35	13,76	9,75	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,4´-DDD	ng/g TM	25,97	66,10	23,52	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDD	ng/g TM	496,97	1063,86	449,95	19,09	11,92	10,99	< 0,05	< 0,05
4,4´-DDT	ng/g TM	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Wassergehalt	%	93,8	87,8	82,7	82,1	82,7	83,3	86,2	85,8
TIC	%	3,90	3,96	2,63	2,68	1,37	1,84	2,02	2,16
TOC	%	11,69	10,74	10,97	11,56	11,80	14,17	16,66	15,13
Cd	µg/g TM	13,01	13,65	21,04	6,89	10,73	6,46	0,80	0,65
Cr	µg/g TM	84,4	86,1	140,6	61,9	71,2	38,3	12,9	23,3
Cu	µg/g TM	208	209	319	381	343	178	24,0	41,1
Pb	µg/g TM	270	262	528	519	582	425	274	122
Zn	µg/g TM	964	812	1067	1943	1460	654	111	70
Fe	µg/g TM	28327	28206	32942	31474	36913	30688	16357	16088
Mn	µg/g TM	591	577	607	385	501	451	479	724
S	µg/g TM	32049	32279	33981	29447	20775	24805	n.g.	n.g.
P	µg/g TM	1484	1522	2360	1737	3119	3086	1452	2112