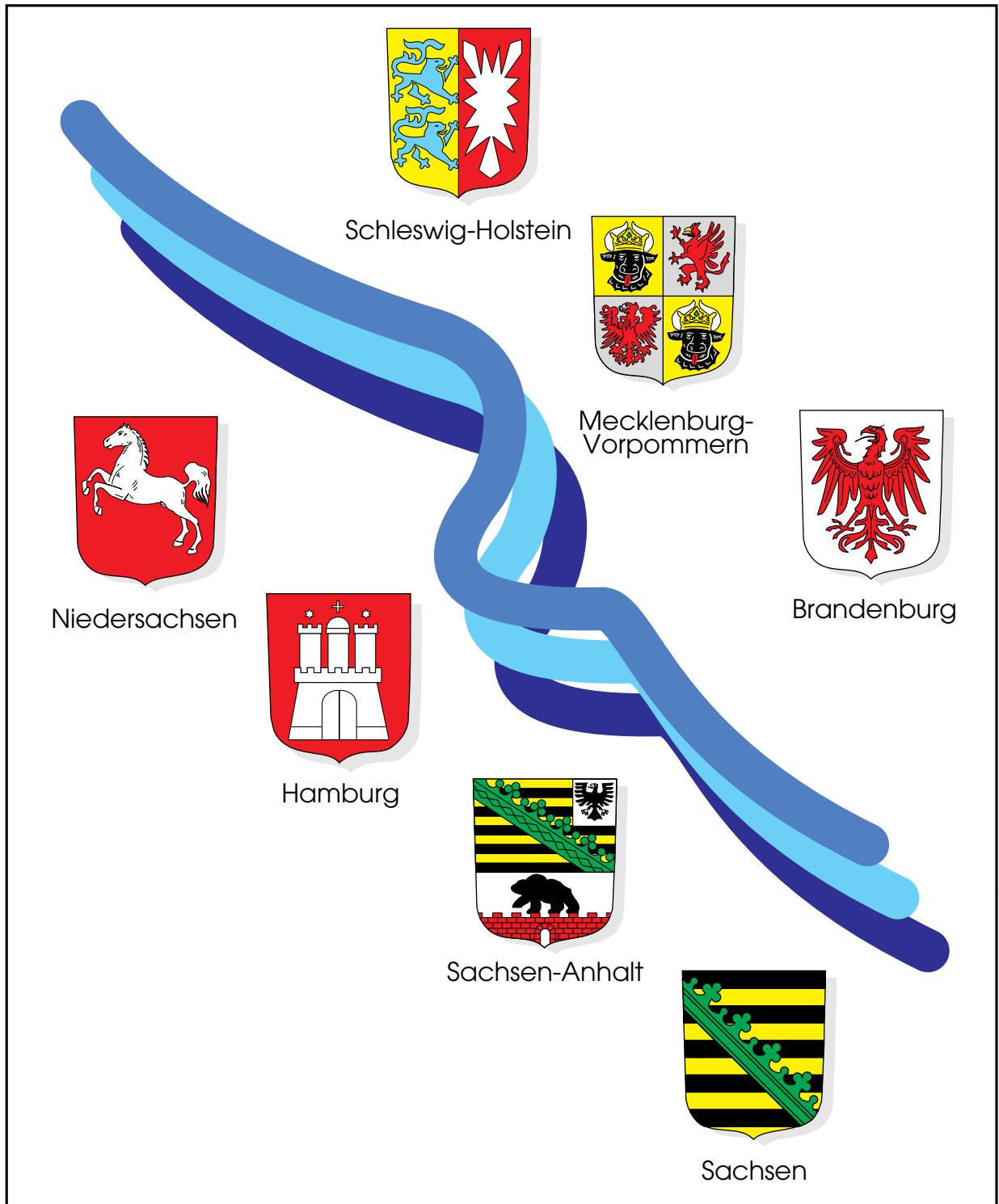


# Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe



## Synthetische Moschus-Duftstoffe in der Elbe

2000

**Synthetische Moschus-Duftstoffe in der Elbe**

Ministerium für Landwirtschaft,  
Umweltschutz und Raumordnung  
des Landes Brandenburg  
Heinrich-Mann-Allee 103  
1 4 4 7 3 P o t s d a m

Umweltbehörde Hamburg  
Billstraße 84  
2 0 5 3 9 H a m b u r g

Ministerium für Bau, Landesentwicklung und  
Umwelt des Landes Mecklenburg-Vorpommern  
Schloßstraße 6 - 8  
1 9 0 5 3 S c h w e r i n

Niedersächsisches Umweltministerium  
Archivstraße 2  
3 0 1 6 9 H a n n o v e r

Sächsisches Staatsministerium  
für Umwelt und Landwirtschaft  
Wilhelm-Buck-Straße 2  
0 1 0 9 7 D r e s d e n

Ministerium für Raumordnung  
und Umwelt  
des Landes Sachsen-Anhalt  
Olvenstedter Straße 4  
3 9 1 0 8 M a g d e b u r g

Ministerium für Umwelt, Natur und Forsten  
des Landes Schleswig-Holstein  
Mercatorstraße 1 - 3  
2 4 1 0 6 K i e l

Bearbeitet:

**Dipl.-Biol. Simone Wiegel**  
**Dr. Heinz Harms**  
Universität Hamburg  
Institut für Allgemeine Botanik  
und Botanischer Garten  
Abteilung für Mikrobiologie  
Ohnhorststraße 18  
2 2 6 0 9 H a m b u r g

**Dr. Burkhard Stachel**  
Wassergütestelle Elbe  
Neßdeich 120-121  
2 1 1 2 9 H a m b u r g

Aufgestellt:

**Prof. Dr. Heinrich Reincke**  
Wassergütestelle Elbe  
Neßdeich 120-121  
2 1 1 2 9 H a m b u r g



# VORWORT

In dem vorliegenden Sonderbericht der ARGE ELBE werden Untersuchungsergebnisse über das Vorkommen und die Verteilung synthetischer Moschus-Duftstoffe in der Elbe umfassend dargestellt. Seit diese Substanzen in der Bundesrepublik Deutschland 1993 im Rahmen eines bundesweiten Lebensmittelmonitorings in verschiedenen Süßwasserfischen nachgewiesen wurden, wird öffentlich über ihre toxikologischen Auswirkungen auf aquatische Ökosysteme und den Menschen diskutiert. Aus diesem Grund wurden durch die ARGE ELBE bereits 1994 die Gehalte der damals in der Diskussion befindlichen Nitromoschus-Duftstoffe Moschus-Xylol und Moschus-Keton in verschiedenen Speisefischen ermittelt. Diese Analysen erfolgten im Rahmen der großangelegten Untersuchung zur Schadstoffbelastung von Elbefischen und wurden 1996 im Sonderbericht der ARGE ELBE „Schadstoffe in Elbefischen – Belastung und Vermarktungsfähigkeit - von der Grenze bis zur See“ veröffentlicht. Eine Diskussion dieser Werte erfolgte in diesem Bericht allerdings noch nicht.

Die öffentliche Diskussion über die Anreicherung synthetischer Moschus-Duftstoffe in der Umwelt hat auch heute nichts an Aktualität eingebüßt. Synthetische Moschus-Duftstoffe werden nach wie vor vielen Wasch- und Reinigungsmitteln, Parfümen, Pflegeartikeln und Kosmetikprodukten zur Verbesserung der Geruchseigenschaften zugesetzt. Weltweit beträgt die Produktion dieser Verbindungen mehrere tausend Tonnen pro Jahr. Beträchtliche Mengen dieser synthetischen Verbindungen gelangen in die Flüsse und anderer Oberflächengewässer.

Synthetische Moschus-Duftstoffe sind überwiegend aromatische Verbindungen, die eine hohe Lipophilie und Persistenz aufweisen. Daher sind diese Substanzen nach heutigem Kenntnisstand der Gruppe der persistenten, organischen Schadstoffe zuzurechnen. Über die Verteilung von Moschus-Duftstoffen im aquatischen System, ihre Abbaubarkeit und ihre toxikologischen Auswirkungen auf Wasserorganismen und den Menschen liegen aber erst wenige Daten vor.

Daher war ein Ziel des vorliegenden Sonderberichtes, zur umfassenden Information die bisher bekannten Daten über synthetische Moschus-Duftstoffe zusammenfassend darzustellen. Eine weitere Intention bei der Erstellung des Berichtes war, alle bisher durch die ARGE ELBE durchgeführten Untersuchungen von synthetischen Moschus-Duftstoffen im Zusammenhang darzustellen und zu diskutieren. Die in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse tragen damit wesentlich zur Verbreitung der vorhandenen Datenbasis bei.

Der Geschäftsleiter der Wassergütestelle Elbe



Prof. Dr. Heinrich Reincke

<b>1</b>	<b>EINLEITUNG</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>SYNTHETISCHE MOSCHUS-DUFTSTOFFE IN DER UMWELT</b>	<b>3</b>
<b>2.1</b>	<b>STOFFKLASSE</b>	<b>3</b>
2.1.1	NITROMOSCHUS-DUFTSTOFFE	3
2.1.2	POLYCYCLISCHE MOSCHUS-DUFTSTOFFE	4
2.1.3	MAKROCYCLISCHE MOSCHUS-DUFTSTOFFE	4
2.1.4	EIGENSCHAFTEN SYNTHETISCHER MOSCHUS-DUFTSTOFFE	5
2.1.4.1	Wasserlöslichkeit	5
2.1.4.2	Verteilungskoeffizienten	5
2.1.4.3	Physikalisch-chemischer Abbau	7
2.1.4.4	Biologischer Abbau	8
<b>2.2</b>	<b>INDUSTRIELLE BEDEUTUNG SYNTHETISCHER MOSCHUS-DUFTSTOFFE</b>	<b>9</b>
2.2.1	HERSTELLUNG	9
2.2.2	VERWENDUNG	11
2.2.2.1	Synthetische Nitromoschus-Duftstoffe	11
2.2.2.2	Synthetische polycyclische Moschus-Duftstoffe	13
<b>2.3</b>	<b>SYNTHETISCHE MOSCHUSDUFTSTOFFE IN AQUATISCHEN ÖKOSYSTEMEN</b>	<b>15</b>
2.3.1	EINTRAGSWEGE IN DIE UMWELT	15
2.3.2	KONZENTRATIONEN IN OBERFLÄCHENGEWÄSSERN	18
2.3.3	GEHALTE IN SEDIMENTEN UND SCHWEBSTOFFEN	19
2.3.4	GEHALTE IN BIOTA	22
2.3.5	GEHALTE IN HUMANPROBEN	25
<b>2.4</b>	<b>BIOAKKUMULATION</b>	<b>26</b>
<b>2.5</b>	<b>TOXIZITÄT</b>	<b>28</b>
2.5.1	AQUATISCHE TOXIZITÄT	28
2.5.2	HUMANTOXIZITÄT	30
2.5.3	GESETZLICHE BESTIMMUNGEN UND RICHTWERTE	31
2.5.3.1	Synthetische Nitromoschus-Duftstoffe	31
2.5.3.2	Synthetische polycyclische Moschus-Duftstoffe	32
2.5.3.3	Ausblick	32
<b>3</b>	<b>SYNTHETISCHE MOSCHUS-DUFTSTOFFE IN DER ELBE</b>	<b>33</b>
<b>3.1</b>	<b>MATERIAL UND METHODEN</b>	<b>34</b>
3.1.1	PROBENAHE UND MESSSTELLEN	34
3.1.1.1	Wasserproben	34
3.1.1.2	Schwebstoffbürtige Sedimente	34
3.1.1.3	Oberflächennahe Sedimente	34
3.1.1.4	Fische	35

3.1.2	ANALYTIK	36
3.1.2.1	Wasserproben	36
3.1.2.2	Schwebstoffbürtige und oberflächennahe Sedimente	36
3.1.2.3	Fische	36
3.1.3	BERECHNUNGEN	36
<b>3.2</b>	<b>ERGEBNISSE: SYNTHETISCHE NITROMOSCHUS-DUFTSTOFFE</b>	<b>37</b>
3.2.1	SCHWEBSTOFFBÜRTIGE SEDIMENTE	37
3.2.1.1	Moschus-Xylol	37
3.2.1.2	Moschus-Keton	39
3.2.1.3	Literaturdaten	41
3.2.2	FISCHE	43
3.2.2.1	Brassen ( <i>Abramis brama</i> )	43
3.2.2.2	Zander ( <i>Stizostedion lucioperca</i> )	46
3.2.2.3	Stint ( <i>Osmerus eperlanus</i> )	50
3.2.2.4	Aal ( <i>Anguilla anguilla</i> )	50
3.2.2.5	Literaturdaten	58
<b>3.3</b>	<b>ERGEBNISSE: SYNTHETISCHE POLYCYCLISCHE MOSCHUS-DUFTSTOFFE</b>	<b>62</b>
3.3.1	WASSERPROBEN	62
3.1.1.1	Verteilung im Längsprofil der Elbe	64
3.3.2	SCHWEBSTOFFBÜRTIGE SEDIMENTE	64
3.1.1.2	Verteilung im Längsprofil der Elbe	65
3.3.2.1	Saisonaler Verlauf	67
3.3.2.2	Jahresmittelwerte von 1998 und 1999	71
3.3.3	LITERATURDATEN	71
3.1.1.3	Jahreszeitliche Dynamik	71
3.1.1.4	Verhältnis der Moschus-Duftstoffe	72
3.1.1.5	Wasserproben	73
3.3.3.1	Schwebstoffbürtige Sedimente	73
<b>3.4</b>	<b>SONDERUNTERSUCHUNGEN</b>	<b>75</b>
<b>3.5</b>	<b>COUMARIN 1 IN DER ELBE</b>	<b>79</b>
<b>4</b>	<b>AUSBLICK</b>	<b>82</b>
<b>4.1</b>	<b>VERWENDUNG VON MOSCHUS-DUFTSTOFFEN IN DER ZUKUNFT</b>	<b>82</b>
<b>4.2</b>	<b>UNTERSUCHUNGEN IM ELBE-FLUSSSYSTEM</b>	<b>83</b>
<b>4.3</b>	<b>UNTERSUCHUNGEN VON FISCHEN</b>	<b>84</b>
<b>5</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG</b>	<b>86</b>
<b>6</b>	<b>LITERATUR</b>	<b>92</b>
<b>7</b>	<b>ANHANG</b>	<b>100</b>

# Tabellenverzeichnis

- Tab. 1 Wasserlöslichkeit synthetischer Moschus-Duftstoffe
- Tab. 2 Verteilungskoeffizienten synthetischer Moschus-Duftstoffe
- Tab. 3 Synthetische Moschus-Duftstoffe in Produkten des deutschen Handels, Untersuchungen im Auftrag der Zeitschrift ÖKO-TEST
- Tab. 4 Produktionsmengen der verschiedenen Substanzklassen synthetischer Moschus-Duftstoffe und ihr prozentualer Anteil an der weltweiten bzw. europäischen Gesamtproduktion
- Tab. 5 Produktionsmengen verschiedener Produkte des persönlichen Bedarfs in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1993 und ihr durchschnittlicher Duftstoffgehalt
- Tab. 6 Konzentrationen bzw. Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in kommunalen Kläranlagen
- Tab. 7 Konzentrationen synthetischer Moschus-Duftstoffe in Oberflächengewässern (Angaben in ng/l)
- Tab. 8 Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten (Angaben in µg/kg TM)
- Tab. 9 Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe im Muskelfleisch von Fischen und anderen aquatischen Organismen aus dem Süßwasser und Meer (Angaben in µg/kg Fett, in Klammern µg/kg Frischgewicht)
- Tab. 10 Gehalte verschiedener Moschus-Duftstoffe in Humanproben (Angaben in µg/kg Fett)
- Tab. 11 Biokonzentrationsfaktoren (BCF) synthetischer Moschus-Duftstoffe
- Tab. 12 Aquatische Toxizität synthetischer Moschus-Duftstoffe
- Tab. 13 Gehalt von Moschus-Xylol [µg/kg TM] in schwebstoffbürtigen Sedimenten verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale von Januar 1998 bis Dezember 1999 (Zweimonatsmischproben)
- Tab. 14 Gehalt von Moschus-Keton [µg/kg TM] in schwebstoffbürtigen Sedimenten verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale von Januar 1998 bis Dezember 1999 (Zweimonatsmischproben)
- Tab. 15 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von jeweils 15 Brassen verschiedener Fangorte der Elbe von 1994, von Brassen aus dem Belauer See von 1996 (15 Exemplare) und von Brassen aus dem Flögelner See von 1999 (3 Mischproben von jeweils 10 Exemplaren)
- Tab. 16 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Zandern verschiedener Fangorte der Elbe aus dem Fangjahr 1994
- Tab. 17 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von jeweils 15 Zandern verschiedener Fangorte der Elbe aus dem Fangjahr 1999
- Tab. 18 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen verschiedener Fangorte der Elbe aus dem Fangjahr 1994
- Tab. 19 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen verschiedener Fangorte der Elbe aus dem Fangjahr 1999
- Tab. 20 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen verschiedener Fangorte der Elbe und aus Elbenebenflüssen aus dem Fangjahr 1997
- Tab. 21 Konzentration synthetischer Moschus-Duftstoffe in den Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie in Wasserproben von Flüssen aus dem Einzugsgebiet von Mulde und Saale und Gehalte von Moschus-Duftstoffen in Sedimentproben aus der Saale vom Oktober 1999

## Tabellenverzeichnis-Anhang

- Tab. A 1 Chemische Bezeichnung, Handelsname, CAS-Nummer, chemische Struktur, Summenformel und Molekulargewicht von Nitromoschus-Duftstoffen
- Tab. A 2 Chemische Bezeichnung, Handelsname, CAS-Name, CAS-Nummer, chemische Struktur, Summenformel und Molekulargewicht von polycyclischen Moschus-Duftstoffen
- Tab. A 3 Chemische Bezeichnung, Handelsname, CAS-Nummer, chemische Struktur, Summenformel und Molekulargewicht von makrocyclischen Moschus-Duftstoffen
- Tab. A 4 Gehalte von Nitromoschus-Duftstoffen in schwebstoffbürtigen Sedimenten (in  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ )
- Tab. A 5 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Brassen aus der Elbe (Fangjahr 1994)
- Tab. A 6 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Brassen aus der Elbe (Fangjahr 1994), dem Belauer See (Fangjahr 1996) und dem Flögelner See (Fangjahr 1999)
- Tab. A 7 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Zandern aus der Elbe (Fangjahr 1994)
- Tab. A 8 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Zandern aus der Elbe (Fangjahr 1999)
- Tab. A 9 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen aus der Elbe (Fangjahr 1994)
- Tab. A 10 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen aus der Elbe (Fangjahr 1999)
- Tab. A 11 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen aus der Elbe (Fangjahr 1995)
- Tab. A 12 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Stinten aus der Elbe (Fangjahr 1996)
- Tab. A 13 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen aus der Elbe und dem Mündungsbereich von Mulde, Saale und Schwarze Elster (Fangjahr 1997)
- Tab. A 14 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen aus der Elbe (Fangjahr 1998)
- Tab. A 15 Konzentration von HHCB und AHTN in Wasserproben der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale (Angaben in  $\text{ng}/\text{l}$ )
- Tab. A 16 Konzentration von Coumarin 1 in Wasserproben der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale (Angaben in  $\text{ng}/\text{l}$ )
- Tab. A 17 Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe und im Mündungsberich von Mulde, Saale und Schwarze Elster (Angaben in  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ )
- Tab. A 18 Prozentualer Anteil verschiedener polycyclischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe und aus dem Mündungsbereich von Saale, Mulde und Schwarze Elster bezogen auf die Gesamtmenge polycyclischer Moschus-Duftstoffe (Mittelwerte)
- Tab. A 19 Jahresmittelwerte polycyclischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe und aus dem Mündungsbereich von Mulde, Saale und Schwarze Elster von 1998 und 1999 (Angaben in  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ )



# Abbildungsverzeichnis

- Abb. 1 Strukturformel der synthetischen Nitromoschus-Duftstoffe (Grundkörper)
- Abb. 2 Strukturformel von HHCB als Beispiel eines synthetischen, polycyclischen Moschus-Duftstoffes
- Abb. 3 Grundstruktur makrocyclischer Moschus-Duftstoffe
- Abb. 4 Prozentualer Anteil von Haarshampoos mit synthetischen Moschus-Duftstoffen, Untersuchungen im Auftrag der Zeitschrift ÖKO-TEST
- Abb. 5 Zeitliche Entwicklung der Gehalte an Moschus-Xylol und Moschus-Keton in der Muskulatur von Elbeaalen zwischen 1994 und 1999
- Abb. 6 Konzentration von HHCB und AHTN in Wasserproben verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale von März 1996 bis Januar 1997, n.u. = nicht untersucht
- Abb. 7 Verteilung polycyclischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten (Zweimonatsmischproben) der Elbe und aus dem Mündungsbereich von Saale, Mulde und Schwarze Elster von 1998 und 1999 (Mittelwerte)
- Abb. 8 Jahresmittelwerte der Gehalte von HHCB, AHTN, ADBI, AHMI und ATII in schwebstoffbürtigen Sedimenten (Zweimonatsmischproben) verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und aus dem Mündungsbereich von Saale (Messstelle Rosenberg), Mulde (Messstelle Dessau) und Schwarze Elster (Messstelle Gorsdorf) von 1998 und 1999
- Abb. 9 Gehalte von HHCB und AHTN in schwebstoffbürtigen Sedimenten (Zweimonatsmischproben) verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe von Januar 1998 bis Dezember 1999, n.u. = nicht untersucht
- Abb. 10 Gehalte von ADBI, AHMI und ATII in schwebstoffbürtigen Sedimenten (Zweimonatsmischproben) verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe von Januar 1998 bis Dezember 1999, n.u. = nicht untersucht
- Abb. 11 Gehalte von HHCB, AHTN, ADBI, AHMI und ATII in schwebstoffbürtigen Sedimenten (Zweimonatsmischproben) aus dem Mündungsbereich der Nebenflüsse Mulde, Saale und Schwarze Elster von Januar 1998 bis Dezember 1999
- Abb. 12 Lage der Probenahmestellen für Sonderuntersuchungen im Raum Leipzig
- Abb. 13 Konzentrationsprofil von HHCB und AHTN im Gewässerverlauf des Saale-Gewässersystems von der Neuen Gösel zur Weißen Elster (siehe Lage der Probenahmestellen in Abb. 12)
- Abb. 14 Strukturformel von Coumarin 1
- Abb. 15 Konzentration von Coumarin 1 in Wasserproben verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale von März 1996 bis Januar 1997, n.u. = nicht untersucht

# Abkürzungsverzeichnis

ADBI	4-Acetyl-1,1-dimethyl-6-tert.butylidihydroinden
ADI	Acceptable Daily Intake
AHDI	6-Acetyl-1,1,2,3,3,5-hexamethyl-dihydroinden
AHTN	7-Acetyl-1,1,3,4,4,6-hexamethyltetrahydronaphthalen
ARGE ELBE	Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe
ATII	5-Acetyl-1,1,2,5-tetramethyl-3-isopropyl-dihydroinden
ATTN	7-Acetyl-1,1,4,4-tetramethyl-6-ethyltetrahydronaphthalen
BAG	Bundesamt für Gesundheit (Schweiz)
BCF	Bioconcentration Factor
<BG	unterhalb der Bestimmungsgrenze
BOD	Biological Oxygen Demand (Biologischer Sauerstoffbedarf)
$c_x$	Konzentration von x
DPMI	6,7-Dihydro-1,1,2,3,3-pentamethyl-4(5H)indanon
EC	Effect Concentration
EU	Europäische Union
FG	Frischgewicht
GC	Gaschromatographie
HCH	Hexachlorcyclohexan
HHCB	1,3,4,6,7,8-Hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethylcyclopenta[g]-2-benzopyran
k.A.	keine Angabe
KA	Kläranlage
$K_{OC}$	Verteilungskoeffizient Partikel-Wasser normiert auf Gehalt an organischem Kohlenstoff
$K_{OW}$	Verteilungskoeffizient Octanol-Wasser
$K_P$	Verteilungskoeffizient Partikel-Wasser
LAU	Landesuntersuchungsamt
LC	Lethal Concentration
MK	Moschus-Keton
MS	Massenspektroskopie
MX	Moschus-Xylol
n	Zahl der Proben
<NG	unterhalb der Nachweisgrenze
n.n.	nicht nachweisbar
NOEC	No Observed Effect Concentration
n.u.	nicht untersucht
OECD	Organization for Economic Co-operation and Development
OSPAR	Oslo-und-Paris-Kommission
PAK	Polycyclische Aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PNOEC	Predicted No Observed Effect Concentration
SE	Süderelbe
Strom-km	Stromkilometer
TM	Trockenmasse
TNT	Trinitrotoluol
TOC	Total Organic Carbon (Gesamtkohlenstoff)
VSD	Virtuell Sichere Dosis
$\bar{x}$	arithmetischer Mittelwert
$x_{min}$	Minimalwert
$x_{max}$	Maximalwert

# 1 Einleitung

Tierische Sekrete wie Moschus, Zibet und Ambra mit intensiven Geruchseigenschaften ziehen die Menschen seit Jahrtausenden in ihren Bann. Die Geschichte des Moschus-Duftstoffes reicht bis ins Altertum zurück. Bereits der Koran sowie jahrtausendealte Schriften der Perser priesen Moschus als einen der begehrtesten und wertvollsten Duftstoffe überhaupt. Nicht zuletzt die erotisierende Wirkung, die dem Moschus-Duftstoff nachgesagt wird, stimuliert seine Verwendung bis heute. Moschus ist einer der am meisten verwendeten Duftstoffe in der Riechstoffindustrie. Aufgrund der sehr begrenzten natürlichen Ressourcen war und ist der natürliche Moschus-Duftstoff sehr teuer.

Der natürliche Moschus ist das Sekret des männlichen Moschustieres (*Moschus moschiferus* L.). Dieser hirschähnliche, etwa ziegengroße und geweihe Paarhufer lebt in den Hochtälern Tibets, Russlands und Chinas. Der Moschus-Duftstoff wird in exokrinen Duftdrüsen gebildet. Er dient zur Markierung des Territoriums der männlichen Moschushirsche und bewirkt als Pheromon die Anziehung der weiblichen Artgenossen. Die Moschusdrüsen erreichen während der Brunftzeit die Größe von Hühnereiern und beinhalten etwa 30-40 g einer braunen, salbenartigen, extrem stark riechenden Masse (Ohloff, 1990). Zur Gewinnung des Moschus-Duftstoffes werden die Tiere getötet. Die Nachfrage nach echtem Moschus hat in den letzten Jahren zu einem starken Rückgang der Bestände geführt (WWF Schweiz, 1999).

Bis ins späte 19. Jahrhundert war man ausschließlich auf die natürlichen Ressourcen dieses begehrten Duftes angewiesen. Bereits 1888, noch vor Isolierung des natürlichen Moschus-Duftstoffes, entdeckte A. Baur eine Gruppe von Nitroaromaten mit moschusähnlichen Geruchseigenschaften. Diese synthetischen **Nitromoschus-Duftstoffe** sind mit dem natürlichen Moschus strukturell nicht verwandt. Aufgrund ihrer ausgeprägten Dufteigenschaften sowie der kostengünstigen Synthese werden sie in großem Maßstab von der Industrie als Ersatzstoffe für den echten Moschus eingesetzt. In den fünfziger Jahren des letzten Jahrhunderts wurde eine weitere Gruppe synthetischer Moschusverbindungen mit Indan- und Tetralinstrukturen entdeckt, die sogenannten **polycyclischen Moschus-Duftstoffe**. Auch diese Substanzen werden inzwischen weltweit in großen Mengen als Moschusersatzstoffe von der Industrie eingesetzt. Nach Aufklärung der Struktur des natürlichen Moschus wurden Verfahren zu seiner Synthese entwickelt. Die Herstellung dieser sogenannten **makrocyclischen Moschus-Duftstoffe** blieb aber aufgrund der hohen Synthesekosten (Verkaufspreise von 50-5.000 DM/kg) bislang wirtschaftlich bedeutungslos.

Die Verwendung von echtem Moschus (Preis von 100.000 DM/kg, Stand 1999) ist nur noch sehr wenigen teuren Produkten vorbehalten. Die französische Parfümindustrie verbraucht durchschnittlich jährlich 10 kg natürlichen Moschus (WWF Schweiz, 1999). In Kosmetik-, Seifen- und Waschmittelprodukten werden wegen des geringen Preises dagegen fast ausschließlich synthetische Moschus-Duftstoffe (Preise von 10-60 DM/kg) verwendet (Barbetta et al., 1988).

Im Jahr 1981 wurden die Nitromoschusverbindungen Moschus-Xylol und Moschus-Keton erstmals in der Umwelt nachgewiesen. In Biota- und Wasserproben aus dem japanischen Fluss Tama sowie aus der Bucht von Tokio wurden diese Substanzen massenspektrometrisch

identifiziert und quantitativ bestimmt (Yamagishi et al., 1981, Yamagishi et al., 1983). Yamagishi et al. (1981) führten die gefundenen Gehalte in Biota auf eine Anreicherung von Moschus-Xylol und Moschus-Keton aus dem Wasser zurück. Schon dieser erste Nachweis in einem aquatischen Ökosystem wies auf die Lipophilie, Persistenz und das Bioakkumulationspotenzial dieser Verbindungen hin. Erst mehr als zehn Jahre später wurden synthetische Moschus-Duftstoffe auch in Europa in Fischen und anderen Meerestieren sowie in Humanfett und Humanmilch nachgewiesen (Rimkus und Wolf, 1993; Liebl und Ehrenstorfer, 1993; Rimkus und Wolf, 1994; Geyer et al., 1994; Rimkus et al., 1994; Linkerhäger et al., 1994; Rimkus und Wolf, 1995; Rimkus et al., 1995; Rimkus und Wolf, 1996, Rimkus und Wolf, 1997). Dadurch wurde eine inzwischen weltweite Diskussion über den Themenkomplex „Duftstoffe in Lebensmitteln und Umwelt“ ausgelöst.

Die öffentliche Diskussion führte dazu, dass auch die Elbe hinsichtlich synthetischer Moschus-Duftstoffe untersucht wurde. Erstmals wurden diese Substanzen im Rahmen eines Screenings auf organische Schadstoffe in Wasserproben verschiedener Elbeabschnitte aus den Jahren 1992-1994 nachgewiesen (Franke et al., 1995). Auch in Elbefischen wurden bereits 1993 synthetische Moschus-Duftstoffe gefunden (Rimkus und Wolf, 1993). In den Jahren 1995 und 1996 wurden diese Stoffe in Sediment- und Schwebstoffproben verschiedener Elbemessstellen bestimmt (Steffen, 1996, Winkler et al., 1998).

Im vorliegenden Bericht wird zunächst ein Überblick über die Stoffklasse der synthetischen Moschus-Duftstoffe, ihre charakteristischen Eigenschaften, die Verwendung von verschiedenen synthetischen Moschus-Duftstoffen in Produkten und ihre Abbaubarkeit in der Umwelt gegeben. Außerdem wird der aktuelle Wissensstand zu den Eintragswegen dieser Substanzen in aquatische Ökosysteme dargestellt. Die in Wasser-, Schwebstoff-, Sediment- und Biotaprobe analysierten Gehalte werden aufgeführt. Ergänzt werden die Ergebnisse durch die Toxizitätseigenschaften der synthetischen Moschus-Duftstoffe. Nach Darstellung der in der wissenschaftlichen Fachliteratur veröffentlichten Daten werden im vorliegenden Bericht die im Auftrag der ARGE ELBE durchgeführten Untersuchungen aus den letzten Jahren beschrieben, ihre Ergebnisse dargestellt und ausführlich diskutiert. Im Rahmen dieser Analysen wurden die Gehalte einiger synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe und polycyclischer Moschus-Duftstoffe in Wasserproben, schwebstoffbürtigen Sedimenten und verschiedenen Fischarten bestimmt. Von besonderem Interesse war dabei die Verteilung der Substanzen im Längsverlauf der Elbe, um Hinweise auf Eintragsquellen zu erhalten. Die Ergebnisse verschiedener Jahre werden miteinander verglichen, um eine mögliche Änderung des Gehaltes von synthetischen Moschus-Duftstoffen in der Elbe zu erfassen. Abschließend erfolgt eine Bewertung der Ergebnisse.

## 2 Synthetische Moschus-Duftstoffe in der Umwelt

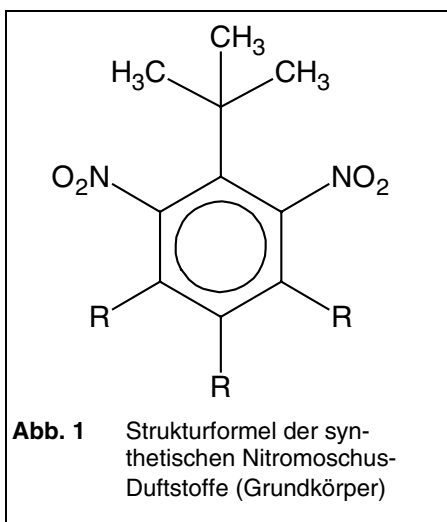
### 2.1 Stoffklasse

Die synthetischen Moschus-Duftstoffe umfassen drei chemisch unterschiedliche Substanzklassen, die als wichtigstes gemeinsames Merkmal den charakteristischen Moschusgeruch besitzen. Strukturanalysen verschiedener Verbindungen ergaben, dass ein Moschus-Duft wahrgenommen wird, wenn das Molekulargewicht der Moleküle zwischen 200 und 300 liegt, sie eine „dichtgepackte“ Molekülstruktur und Reaktionsbereiche mit charakteristisch angeordneten funktionellen Gruppen besitzen (Beets, 1977; Liu und Duan, 1998).

Im Folgenden wird zunächst ein Überblick über die verschiedenen Substanzklassen der synthetischen Moschus-Duftstoffe gegeben. Heute sind mehr als 1000 Verbindungen mit Moschusgeruch bekannt. Von diesen Verbindungen haben im Laufe der Zeit aber nur etwa 50 kommerzielle Bedeutung erlangt, davon sind höchstens noch 30 Substanzen von wirtschaftlicher Bedeutung. Allerdings ist die Entwicklung neuer synthetischer Moschus-Duftstoffe keineswegs abgeschlossen. Nach Rebmann et al. (1997) werden fast jährlich neue Moschus-Duftstoffe patentiert und zum Einsatz in der Parfümerie vorgeschlagen.

#### 2.1.1 Nitromoschus-Duftstoffe

In den chemisch nahe miteinander verwandten Nitromoschus-Verbindungen ist der Grundkörper ein zwei- oder dreifach kernnitrierter Benzolring mit einer tertiären Butylgruppe. Dazu kommen jeweils Alkyl-, Acetyl- oder Methoxyreste (Abb. 1). Die Herstellung dieser Duftstoffe erfolgt durch Nitrierung der entsprechenden aromatischen Verbindungen und stellt ein sehr abwasserbelastendes Verfahren dar.



Die Herstellung dieser Duftstoffe erfolgt durch Nitrierung der entsprechenden aromatischen Verbindungen und stellt ein sehr abwasserbelastendes Verfahren dar.

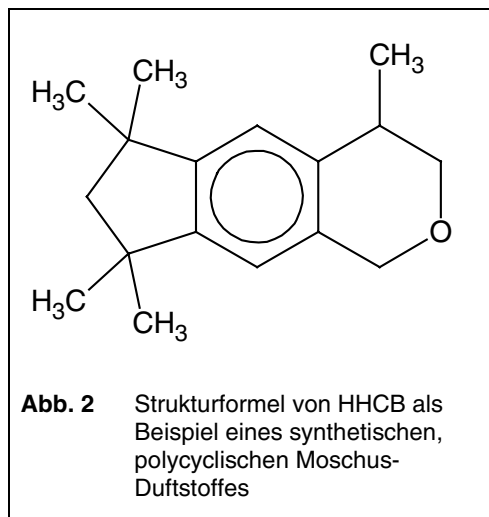
Die wirtschaftlich bedeutendsten Nitromoschus-Duftstoffe sind Moschus-Xylol und Moschus-Keton. Zu den Nitromoschus-Duftstoffen zählen außerdem Moschus-Tibeten, Moschus-Mosken und Moschus-Ambrette. Die Strukturformeln der genannten Verbindungen sind im Anhang dargestellt (Tab. A1).

Bei der Entdeckung der Nitromoschus-Duftstoffe spielte der Zufall eine Rolle. Im Jahr 1888 fand der Chemiker A. Baur auf der Suche nach neuen organischen Sprengstoffen durch Nitrierung von *tert.*Butyl-toluol ein kristallines Produkt, dessen Geruch ihn an Moschus erinnerte. Bereits 1890 kam dieses Produkt, das auch als TNT-Ersatz dienen könnte, unter der Bezeichnung Moschus-Baur auf den Markt. Dieser Moschus-Duftstoff wird heute überhaupt nicht mehr verwendet, da bald Verbindungen mit besseren Geruchseigenschaften zur Verfügung standen.

Bereits 1890 kam dieses Produkt, das auch als TNT-Ersatz dienen könnte, unter der Bezeichnung Moschus-Baur auf den Markt. Dieser Moschus-Duftstoff wird heute überhaupt nicht mehr verwendet, da bald Verbindungen mit besseren Geruchseigenschaften zur Verfügung standen.

## 2.1.2 Polycyclische Moschus-Duftstoffe

Die polycyclischen Moschus-Duftstoffe sind bi- oder tricyclische nitrofreie Verbindungen, wobei es sich in der Regel um Aromaten handelt. Es existieren aber auch einige Polycyclen ohne aromatischen Kern. Die Herstellung dieser Substanzklasse geht von petrochemischen



Rohstoffen aus und folgt gängigen chemischen Prozessen, wobei die Friedel-Crafts-Reaktion eine wichtige Rolle spielt.

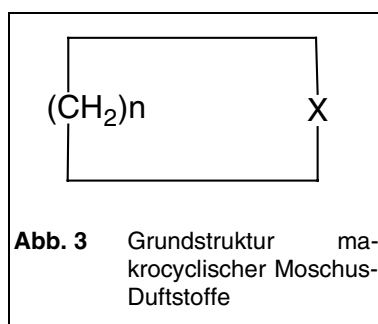
In Abb. 2 ist exemplarisch 1,3,4,6,7,8-**Hexa**hydro-4,6,6,7,8,8- **hexamethyl**cyclopenta[**g**]-2-**b**enzopyran (**HHCB**) dargestellt, die wirtschaftlich bedeutendste Verbindung dieser Substanzklasse. Die Strukturformeln weiterer wirtschaftlich bedeutender Verbindungen sind im Anhang dargestellt (Tab. A2).

Im Jahr 1948 wurde von M.S. Carpenter der erste nitrofreie Moschus-Duftstoff (Ambral) synthetisiert, der aber noch in die Klasse der monocyclischen Verbindungen einzuordnen war. Damit wurde die Verlagerung des Forschungsschwerpunktes von den Nitroverbindungen auf nitrofreie Verbindungen eingeleitet.

K. Fuchs gelang im Jahr 1951 mit Phantolide® die Synthese des ersten polycyclischen Moschus-Duftstoffes. Dieses bicyclische Indanderivat stellt den Vorläufer einer großen Zahl polycyclischer Moschus-Duftstoffe dar. 1957 wurden schließlich die ersten tricyclischen Verbindungen mit Moschusgeruch synthetisiert.

## 2.1.3 Makrocyclische Moschus-Duftstoffe

Zu den makrocyclischen Moschus-Duftstoffen zählen die natürlichen Moschusverbindungen sowie strukturell davon abgeleitete synthetische Moschus-Duftstoffe. In der Natur kommen zyklische Ester, sogenannte Lactone und zyklische Ketone vor. Die Lactone werden ausschließlich in Pflanzen gefunden, während die Ketone tierischen Ursprungs sind.



Die meisten makrocyclischen Moschus-Duftstoffe leiten sich von der in Abb. 3 dargestellten Struktur ab. Dabei steht X für verschiedene funktionelle Gruppen oder eine Kombination funktioneller Gruppen. Für die Geruchseigenschaften ist vor allem die Größe des Kohlenstoffringes entscheidend. Bei Verbindungen mit Moschusduft besteht der Ring immer aus 15-17 C-Atomen. Die 12- bis 14-gliedrigen Ringe weisen ein eindeutig holziges Geruchsbild auf, während

18- und höhergliedrige Ringmoleküle geruchlos sind. Die Gruppe der makrocyclischen Moschus-Duftstoffe beinhaltet nach Rebmann et al. (1997) neben monocyclischen auch bicyclische Verbindungen, die im Gegensatz zu den polycyclischen Moschus-Duftstoffen größere Ringsysteme besitzen. Die Struktur einiger wichtiger, makrocyclischer Moschus-Duftstoffe ist im Anhang dargestellt (Tab. A3).

1926 wurde durch L. Ruzika die Struktur der natürlichen makrocyclischen Moschus-Duftstoffe Muscon und Zibeton aufgeklärt. Für diese Arbeiten wurde er mit dem Nobelpreis ausgezeichnet. Die kommerzielle Bedeutung der makrocyclischen Moschus-Duftstoffe blieb aufgrund komplexer Synthesewege bzw. teurer Ausgangsprodukte jedoch gering.

## 2.1.4 Eigenschaften synthetischer Moschus-Duftstoffe

### 2.1.4.1 Wasserlöslichkeit

Die Wirkung eines Stoffes in einem aquatischen Ökosystem wird wesentlich durch seine Wasserlöslichkeit bestimmt. Stoffe mit geringer Wasserlöslichkeit besitzen meist eine hohe Affinität zu Schwebstoff- und Sedimentpartikeln, so dass sie anderen Transport- und Verteilungsmechanismen unterliegen als im Wasser gelöste Stoffe. Aufgrund ihrer chemischen Struktur (große Moleküle mit aromatischem Ring, kaum polare Substituenten) ist die Wasserlöslichkeit synthetischer Moschus-Duftstoffe äußerst gering, wobei die polycyclischen Moschus-Duftstoffe eine höhere Wasserlöslichkeit haben als die Nitromoschus-Duftstoffe (Tab. 1).

**Tab. 1** Wasserlöslichkeit synthetischer Moschus-Duftstoffe

Verbindung	Wasserlöslichkeit [mg/l]	Autor(en)
<b>Nitromoschus-Duftstoffe</b>		
Moschus-Xylol	0,46	Schramm et al. 1996
	1,00	Lide, 1993
Moschus-Keton	0,15	Schramm et al., 1996
Moschus-Ambrette	0,79	Schramm et al., 1996
Moschus-Mosken	0,046	Schramm et al., 1996
Moschus-Tibeten	0,052	Schramm et al., 1996
<b>Polycyclische Moschus-Duftstoffe</b>		
HHCB	1,75	Edwards, 1996b
AHTN	1,25	Edwards, 1996a

### 2.1.4.2 Verteilungskoeffizienten

Synthetische Moschus-Duftstoffe zählen zu den lipophilen Substanzen. Als Maß für die Lipophilie wird meist der Verteilungskoeffizient (K) einer Substanz in einem Gemisch von 1-Octanol und Wasser bestimmt ( $K_{OW}$ ). 1-Octanol wird hierbei als Referenz verwendet, da dieser Alkohol ähnliche Stoffeigenschaften aufweist wie typische, in der Natur vorkommende organische Substanzen (z. B. Huminstoffe) oder Organismen (Zellmembran). Der Verteilungskoeffizient berechnet sich wie folgt:

$$K_{OW} = c_O / c_W$$

$c_O$  = Stoffkonzentration in der 1-Octanolphase [ng/l]

$c_W$  = Stoffkonzentration in der Wasserphase [ng/l]

Der  $K_{OW}$  hat große Bedeutung für die toxikologischen Eigenschaften einer Substanz, da er ein wichtiger Parameter für die Abschätzung des Bioakkumulationsvermögens von Stoffen ist. Die  $\log K_{OW}$ -Werte für synthetische Moschus-Duftstoffe sind in Tab. 2 dargestellt. Die Werte wurden experimentell bestimmt oder sind aus den physikalisch-chemischen Eigenschaften der synthetischen Moschus-Duftstoffe unter Verwendung spezieller Computerprogramme berechnet worden (Programm SRC 1.35a verwendet von v. de Plassche und Balk [1997], Programme KOWWIN 1.54 und CLOGP 4.42, verwendet von Winkler et al. [1998]). Die  $\log K_{OW}$ -Werte verschiedener Nitromoschus-Duftstoffe wurden zwischen 3,2 und 4,9 ermittelt. Sie belegen die lipophilen Eigenschaften synthetischer Moschus-Duftstoffe. Diese Verteilungskoeffizienten sind vergleichbar mit denen einiger persistenter Organochlorverbindungen wie  $\alpha$ -HCH ( $\log K_{OW}$  3,81), Lindan ( $\log K_{OW}$  3,2) und einigen niedrigchlorierten PCB ( $\log K_{OW}$  3-4). Für die synthetischen, polycyclischen Moschus-Duftstoffe wurden mit  $\log K_{OW}$  5,40-6,35 deutlich höhere Werte ermittelt. Diese Werte sind vergleichbar mit den Octanol-Wasser-Verteilungskoeffizienten einiger bekannter Umweltschadstoffe wie Organochlorpestizide und PCB (p,p'-DDT: 5,8-6,9; Dieldrin: 5,2-5,4; HCB: 5,77; PCB Nr.101: 6,65). Lediglich DPPI wies eine geringere Lipophilie auf ( $\log K_{OW}$  4,5).

Aufgrund der relativ hohen  $\log K_{OW}$ -Werte war eine Sorption synthetischer Moschus-Duftstoffe an Feststoffe zu erwarten. In Gewässern spielen Partikel eine wichtige Rolle als Adsorbentien. Ein Maß für die Stoffverteilung auf die einzelnen Kompartimente eines aquatischen Ökosystems ist der sogenannte Partikel-Wasser-Verteilungskoeffizient ( $K_p$ ). Dieser Verteilungskoeffizient gibt in der Dimension Liter/Kilogramm an, wie viele Liter Wasser in einem angenommenen Gleichgewichtszustand die gleiche Schadstoffmenge enthalten wie 1 kg Feststoff (Sediment, Schwebstoff etc). Er wird wie folgt berechnet:

$$K_p \text{ [l/kg]} = c_F / c_W$$

$$c_F = \text{Stoffgehalt im Feststoff [ng/kg]}$$

$$c_W = \text{Stoffkonzentration im Wasser [ng/l]}$$

Oftmals wird der Verteilungskoeffizient auch auf den Gehalt an organischem Kohlenstoff (TOC) im Feststoff normiert, da dieser einen erheblichen Einfluss auf die Adsorption organischer Moleküle hat.

$$K_{OC} \text{ [l/kg]} = K_p * 100 / \text{TOC}$$

$$K_p = \text{Partikel-Wasser-Verteilungskoeffizient [l/kg]}$$

$$\text{TOC} = \text{Gehalt an organischem Kohlenstoff [Gewichtsprozent]}$$

In Tab. 2 sind die  $K_{OC}$ -Werte synthetischer Moschus-Duftstoffe zusammengefasst. Da für Moschus-Duftstoffe erst wenige dieser Verteilungskoeffizienten experimentell bestimmt wurden, sind außerdem berechnete Werte aufgeführt (nach Sabljik et al., 1995). Auch diese  $\log K_{OC}$ -Werte geben Hinweise, dass sich die synthetischen Moschus-Duftstoffe vor allem an Feststoffe anlagern dürften.



**Tab. 2** Verteilungskoeffizienten synthetischer Moschus-Duftstoffe

Verbindung	log K <sub>ow</sub>	Autor(en)	log K <sub>oc</sub>	K <sub>p</sub> [l/kg]	Autor(en)	
<b>Nitromoschus-Duftstoffe</b>						
Moschus-Xylol	4,90	Rudio, 1996a	4,07**			
	3,40	Tas et al., 1997				
	4,77	Eschke, 1994				
	4,40	Schramm et al., 1996				
	4,45*	Meylan und Howard, 1995				
	3,72*	Leo, 1993				
Moschus-Keton	4,30	Rudio, 1996b	3,58**	1700	Winkler et al., 1998	
	3,20	Tas et al., 1997				
	4,11	Eschke, 1994				
	3,80	Schramm et al., 1996				
	3,78*	Winkler et al., 1998				
	4,31*	Winkler et al., 1998				
Moschus-Ambrette	4,00	Schramm et al., 1996	3,34**			
Moschus-Mosken	4,40	Schramm et al., 1996	3,66**			
Moschus-Tibeten	4,30	Schramm et al., 1996	3,39**			
<b>Polycyclische Moschus-Duftstoffe</b>						
HHCB	5,88	Eschke, 1994	4,86	7240	Mac Gilivray, 1996a v. de Plassche und Balk, 1997	
	5,90	Rudio, 1993a	4,71**			
	6,26*	van de Plassche und Balk, 1997				
AHTN	6,06*	Winkler et al., 1998	4,80	4490	Winkler et al., 1998	
	6,26*	Winkler et al., 1998				
	5,77	Eschke, 1994		4,88**	6310	Mac Gilivray, 1996a v. de Plassche und Balk, 1997
	5,70	Rudio, 1993b				
	6,35*	van de Plassche und Balk, 1997				
	6,25*	Winkler et al., 1998				
6,35*	Winkler et al., 1998					
ADBI	5,40	Eschke, 1999	4,47**	6630	Winkler et al., 1998	
AHDI	5,80	Eschke, 1999	4,80**			
DPMI	4,50	Eschke, 1999	3,75**			

\* Wert berechnet

\*\* Wert aus K<sub>ow</sub> berechnet (nach Sabljik et al., 1995)

### 2.1.4.3 Physikalisch-chemischer Abbau

Physikalisch-chemische Reaktionen zum Abbau synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe sind bereits seit mehr als 20 Jahren bekannt. Döpp und Sailer (1975) zeigten, dass synthetische Nitromoschus-Duftstoffe durch Bestrahlung mit UV-Licht photochemisch gespalten werden können. Unter natürlichen Bedingungen (Sonnenlicht) ist diese Reaktion allerdings so langsam, dass in der Umwelt bislang weder photochemische Spaltprodukte noch der Abbau der Ausgangssubstanzen nachgewiesen werden konnten. Erst durch intensive Bestrahlung mit UV-Licht einer Wellenlänge von 253 nm konnten Nitromoschus-Duftstoffe deutlich schneller

mit Halbwertzeiten von 15 min (Moschus-Ambrette) bis zu 120 min (Moschus-Tibeten) gespalten werden (Neamtu et al., 2000). Ein abiotischer Abbau synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe kann demnach unter natürlichen Bedingungen weitgehend ausgeschlossen werden.

Zum Abbau polycyclischer Moschus-Duftstoffe gibt es bislang erst wenige Untersuchungen. In Laborversuchen mit Belebtschlamm konnte das HHCB-Lacton 1,3,4,6,7,8-hexahydro-4,6,6,7,8,8,-hexamethyl-cyclopenta[g]-2-benzopyran-1-on als Abbauprodukt des polycyclischen Moschus-Duftstoffes HHCB nachgewiesen werden (Itrich et al., 1998). Da das Lacton auch in den sterilen Kontrollversuchen auftrat, lassen diese Ergebnisse eine Autoxidation von HHCB vermuten, die auch unter natürlichen Bedingungen in Kläranlagen und Oberflächengewässern ablaufen dürfte (Franke et al., 1999).

#### **2.1.4.4 Biologischer Abbau**

Die biologische Abbaubarkeit von Moschus-Xylol und Moschus-Keton sowie von HHCB und AHTN wurde in verschiedenen standardisierten Testsystemen untersucht, die über 28 Tage die Mineralisation eines Stoffes durch Belebtschlammorganismen erfassten. Als Maß für einen Abbau wurde ein erhöhter biologischer Sauerstoffbedarf (BOD, OECD-Test 301B) bzw. eine Erhöhung der CO<sub>2</sub>-Bildung (OECD-Test 302C) im Vergleich zu einer Kontrolle gemessen. Für keinen der untersuchten Moschus-Duftstoffe konnte eine Mineralisation nachgewiesen werden (Rudio 1993c; King 1994a,b). Erst bei Verlängerung der Versuchszeit von sechs auf acht Wochen konnte in einem geschlossenen System (RDA = Repetitive-die-away test, NEN 6515) eine geringe Mineralisation von AHTN ermittelt werden (10 % des theoretischen Sauerstoffbedarfs, Boersma und Hagens, 1991). Eine vollständige Mineralisation dieser synthetischen Duftstoffe während der Abwasserreinigung in kommunalen Kläranlagen ist daher nicht zu erwarten. Dafür ist unter anderem die geringe Wasserlöslichkeit und damit mangelnde Bioverfügbarkeit dieser Substanzen verantwortlich (Tas et al., 1997; van de Plassche und Balk, 1997). Synthetische Moschus-Duftstoffe müssen somit als schwer abbaubar eingestuft werden.

Die Reduktion der Nitrogruppe aromatischer Verbindungen zum korrespondierenden Amin ist als Abbaureaktion für TNT schon länger bekannt (Spanggort et al., 1985) und konnte auch für die strukturell sehr ähnlichen Nitromoschus-Duftstoffe nachgewiesen werden (Käfferlein et al., 1998). Viele Gewässer- und Bodenbakterien sind in der Lage, diese Reaktion durchzuführen (Haas, 1992). Gatermann et al. (1998) fanden im Ablauf eines Klärwerks Aminoderivate von Moschus-Xylol in Konzentrationen von 10-250 ng/l, die damit 4-40fach höher waren als die von Moschus-Xylol. Im Klärwerkszulauf waren dagegen keine Aminoderivate nachweisbar. Diese Ergebnisse geben einen Hinweis auf reduktive Umsetzungen innerhalb des Klärwerks. Auch in Flüssen konnten diese Metaboliten nach Abwassereintrag sowohl im Wasserkörper als auch im Sediment nachgewiesen werden (Gatermann et al., 1998; Rimkus et al., 1999). Fooker et al. (1997) berichteten über einen anaeroben Abbau von Moschus-Keton in Kläranlagen. In nicht ausgefaulten Klärschlämmen hessischer Kläranlagen wurden Moschus-Keton-Gehalte von 80-470 µg/kg TS gefunden. In Faulschlämmen dagegen lag der Gehalt ausnahmslos unterhalb der Bestimmungsgrenze.

Auch für polycyclische Moschus-Duftstoffe wurden biologische Umsetzungen zu Zwischenverbindungen beschrieben (Itrich et al., 1998). Die Metaboliten hatten eine höhere Wasserlös-

lichkeit als die Ausgangsverbindungen. Nach Franke et al. (1999) ist davon auszugehen, dass die in Laborversuchen mit Belebtschlamm nachgewiesene Autoxidation von HHCB zum HHCB-Lacton (1,3,4,6,7,8-hexahydro-4,6,6,7,8,8,-hexamethyl-cyclopenta[g]-2-benzopyran-1-on) auch biologisch katalysiert wird. HHCB-Lacton wurde bereits in Wasserproben aus Elbe und Oder nachgewiesen (Franke et al., 1999). Außerdem wurde in Bodenproben ein Abbau von HHCB und AHTN zu Lactonen und weiteren Zwischenverbindungen durch verschiedene Pilze nachgewiesen. Der Abbau erfolgte mit geringer Umsatzrate, die Abbauprodukte wurden nicht näher charakterisiert. (Environgen, 1997; van de Plassche und Balk, 1997; Herren und Berset, 2000).

Nach Gebauer und Bouter (1997) sind die makrocyclischen Moschus-Duftstoffe dagegen biologisch abbaubar, da sie in ihrer Struktur den natürlichen Moschus-Duftstoffen entsprechen bzw. stark ähneln. Aufgrund ihrer geringen wirtschaftlichen Bedeutung wurde das Auftreten synthetischer, makrocyclischer Moschus-Duftstoffe in Umweltproben bisher nicht untersucht.

## **2.2 Industrielle Bedeutung synthetischer Moschus-Duftstoffe**

### **2.2.1 Herstellung**

Etwa 5 % der in Handelsprodukten verwendeten Duftstoffe zählen zu den synthetischen Moschus-Duftstoffen. 1987 betrug die weltweite Produktion ca. 7000 Tonnen pro Jahr mit einem Marktwert von 215 Mio. US \$. Synthetische Moschus-Duftstoffe wurden in zehn Staaten produziert, wobei Großbritannien der größte Hersteller mit einem Anteil von 28 % an der weltweiten Produktion war und Israel der kleinste (Barbetta et al., 1988). In den neunziger Jahren stieg der Verbrauch synthetischer Duftstoffe. 1997 wurden 8000 t synthetischer Moschus-Duftstoffe hergestellt (Gebauer und Bouter, 1997).

Die Zusammenstellung der Produktionsmengen verschiedener synthetischer Moschus-Duftstoffe zeigt, dass sich der Anteil der verschiedenen Substanzklassen der Moschus-Duftstoffe am Gesamtverbrauch der Industrie in den letzten Jahren deutlich verändert hat (Tab. 3). Nitromoschusverbindungen stellten bis Anfang der achtziger Jahre des letzten Jahrhunderts den größten Anteil an der Gesamtmenge der verwendeten synthetischen Moschus-Duftstoffe (Barbetta et al., 1988), wofür vor allem ihr niedriger Preis verantwortlich war (Preise 1997: 10-30 DM/kg). Sie werden bis heute insbesondere in China und Indien hergestellt. Zwischen 1983 und 1987 nahm die Produktion der Nitromoschus-Duftstoffe weltweit jährlich um ca. 5 % ab. In China dagegen wurde die Produktion bis in die neunziger Jahre erhöht (1990-1991 von 856 auf 942 Tonnen pro Jahr; Quinghua, 1993).

Die Weltproduktion der polycyclischen Moschus-Duftstoffe stieg zwischen 1983 und 1987 jährlich um 5 % (Barbetta et al., 1988). Die gegenüber den Nitromoschus-Duftstoffen vorteilhafteren Stoffeigenschaften der polycyclischen Moschus-Duftstoffe begünstigten diese Entwicklung. So weisen die polycyclischen Moschus-Duftstoffe eine deutlich höhere Lichtstabilität auf als die Nitromoschus-Duftstoffe (Müller, 1991). Während Nitromoschus-Duftstoffe in alkalischem Milieu (etwa einer Seifenlauge) zu Verfärbungen tendieren, können polycyclische Moschus-Duftstoffe im Sauren wie auch Alkalischen problemlos eingesetzt werden. Im

Hinblick auf ihre Haftung an Fasern übertreffen sie meist noch die Nitromoschus-Duftstoffe, was vor allem für Waschmittel vorteilhaft ist.

**Tab. 3** Produktionsmengen der verschiedenen Substanzklassen synthetischer Moschus-Duftstoffe und ihr prozentualer Anteil an der weltweiten bzw. europäischen Gesamtproduktion

Jahr	Weltweite Produktion Menge [t]	Nitromoschus-Duftstoffe		Polycyclische Moschus-Duftstoffe		Makrocyclische Moschus-Duftstoffe		Autor(en)
		Menge [t]	Anteil [%]	Menge [t]	Anteil [%]	Menge [t]	Anteil [%]	
1983	k.A.	k.A.	55	k.A.	41	k.A.	3-4	Barbetta et al., 1988
1987	7000	2500	35	4200	61	280	3-4	Barbetta et al., 1988
1992	k.A.	k.A.	k.A.	4292*	k.A.	k.A.	k.A.	RIFM, pers. Mitt.
1995	k.A.	k.A.	k.A.	5167*	k.A.	k.A.	k.A.	RIFM, pers. Mitt.
1997	8000	2000	25	5600	70	400	5	Gebauer u. Bouter, 1997
	Europäische Produktion							
1992	3583	298	8	3285	92	k.A.	k.A.	Muermann, pers. Mitt.
1993	k.A.	200	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	k.A.	Tas et al., 1997
1995	2368	177	7	2191	k.A.	k.A.	k.A.	Muermann, pers. Mitt.
1998	2040	126	6*	1897	93	20**	1**	Muermann, pers. Mitt.; OSPAR, 1998

k.A.= keine Angabe; \*nur HHCB und AHTN; \*\*aus den Daten von Muermann (pers. Mitt.) und OSPAR (1998) errechnet

Die größte kommerzielle Bedeutung besitzen heute daher die polycyclischen Moschus-Duftstoffe (Tab. 3), die aufgrund optimierter Synthesewege preisgünstig angeboten werden (Preise 1997: 20-60 DM/kg). In Europa wurden 1998 fast ausschließlich (93 %) polycyclische Moschus-Duftstoffe eingesetzt (OSPAR, 1998). Die mengenmäßig wichtigsten Produkte aus dieser Klasse sind 1,3,4,6,7,8-**H**exahydro-4,6,6,7,8,8-**h**examethylcyclopenta[g]-2-**b**enzopyran = **HHCB** (Handelsname Galaxolide®) und 7-**A**cetyl-1,1,3,4,4,6-**h**examethyl-**t**etrahydro-**n**aphthalen = **AHTN** (Handelsname Tonalide®), die zusammen einen Marktanteil von mehr als 95 % an den polycyclischen Moschus-Duftstoffen besitzen (van de Plassche und Balk, 1997). Von nachrangiger Bedeutung sind 4-**A**cetyl-1,1-**d**imethyl-6-**t**ert.**b**utyl-dihydroind<sub>en</sub> = **ADBI** (Handelsname Celestolide®) und 5-**A**cetyl-1,1,2,5-**t**etramethyl-3-**i**sopopyl-dihydroind<sub>en</sub> = **ATII** (Handelsname Traseolide®). In den USA und Kanada dagegen wurden 1998 noch in höherem Maße Nitromoschus-Duftstoffe verwendet (Gatermann et al., 1999).

## 2.2.2 Verwendung

Synthetische Moschus-Duftstoffe finden breite Verwendung in Produkten der Kosmetik- und Waschmittelindustrie. Diese Substanzen dienen als Fixative für flüchtige Komponenten, d. h. sie werden eingesetzt, um andere Duftstoffmoleküle auf der Haut oder auf Wäschefasern zu fixieren. Außerdem „runden“ sie Duftkompositionen mit ihrer typischen Eigennote ab, verleihen ihnen „Wärme und Ausstrahlung“ (Gebauer und Bouter, 1997).

### 2.2.2.1 Synthetische Nitromoschus-Duftstoffe

Umfangreiche Untersuchungen belegten die breite Verwendung synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe. Moschus-Keton wurde überwiegend in Kosmetika, Moschus-Xylol in Waschmitteln eingesetzt. Andere Nitromoschus-Duftstoffe waren aufgrund der geringen eingesetzten Mengen für die Umwelt von nachrangiger Bedeutung.

In den Jahren 1992 und 1993 wurden insgesamt 60 Kosmetika (Parfüms, Rasierwässer, Badepräparate, Shampoos, Lotions, Cremes) und 41 Waschmittel (Voll- und Feinwaschmittel, Weichspüler) aus dem deutschen Handel auf das Vorkommen und den Gehalt von synthetischen Nitromoschus-Duftstoffen untersucht (Sommer, 1993). Von 60 kosmetischen Präparaten enthielten 33 Produkte (55 %) Nitromoschus-Duftstoffe, wobei hauptsächlich Moschus-Keton in Gehalten von 4 bis 2200 mg/kg nachgewiesen wurde. Die Waschmittelproben enthielten primär Moschus-Xylol (41 % der Proben, 2,5-250 mg/kg).

Auch in der Schweiz wurde in verschiedenen Kosmetikprodukten Moschus-Xylol gefunden (Wisneski, 1996). Etwa 15 % der kosmetischen Produkte auf dem schweizer Markt enthielten durchschnittlich 300 mg Moschus-Xylol/kg Produkt (Schlatter, 1993). In einer weiteren Untersuchung wurden 24 kosmetische Produkte (After Shave, Badesalz, Deodorant, Eau de Toilette, Seife) auf Nitromoschus-Duftstoffe analysiert. In 18 Proben wurden Moschus-Xylol und Moschus-Keton bzw. Moschus-Mosken nachgewiesen (Anonymus, 1996).

Die amerikanische Food and Drug Administration (FDA) untersucht seit 1985 in einem Monitoringprogramm Handelsprodukte auf Moschus-Ambrette und seit 1988 zusätzlich auf Moschus-Xylol (Wisneski, 1996). Vor 1990 wurde in etwa 50 % der Proben Moschus-Ambrette nachgewiesen, 1994 wurde dieser Duftstoff in keinem Produkt mehr gefunden. Auch die Verwendung von Moschus-Xylol ging zurück: 1991 enthielten 26 % der untersuchten Produkte Moschus-Xylol, während es 1996 nur noch 5 % (eine von 21 Proben) waren. Die holländische Verbraucherzeitschrift *Consumentengids* ließ in einer Studie mehr als 300 Kosmetikprodukte auf Moschus-Xylol, Moschus-Keton, Moschus-Ambrette, Moschus-Tibeten und Moschus-Mosken untersuchen (*Consumentengids*, 1995). In 49 Produkten waren synthetische Moschus-Duftstoffe, hauptsächlich Moschus-Keton, nachweisbar.

Im Auftrag der Zeitschrift *ÖKO-TEST* wurde in den Jahren 1993-1999 eine große Zahl verschiedener Produkte aus dem deutschen Handel auf synthetische Moschus-Duftstoffe untersucht (Tab. 4). Nitromoschus-Duftstoffe waren im Zeitraum von 1993 bis 1997 noch in vielen Produkten der Kosmetik-, Parfüm- und Waschmittelindustrie vorhanden. Aufgrund der öffentlichen Diskussion über Akkumulation und Toxizität dieser Verbindungen ging die Verwendung in den letzten Jahren stark zurück, so dass im Jahr 1999 nur noch vereinzelt synthetische Nitromoschus-Duftstoffe nachweisbar waren.

**Tab. 4** Synthetische Moschus-Duftstoffe in Produkten des deutschen Handels, Untersuchungen im Auftrag der Zeitschrift ÖKO-TEST

Produkt	Jahr	Probenzahl	Synth. Moschus-Duftstoffe, Positivbefunde		Veröffentlichung in
			Nitromoschus-Duftstoffe	Polycyclische Moschus-Duftstoffe	
Duschgel („2 in 1“)	1993	17	5	n.u.	ÖKO-TEST Magazin 10/93
Haarshampoo	1994	45	21	n.u.	ÖKO-TEST Magazin 3/94
Baby-Haarshampoo		26	10	n.u.	ÖKO-TEST Magazin 3/94
Baby-Bad		15	3	n.u.	ÖKO-TEST Magazin 4/94
Kinderparfüm	1995	24	18	n.u.	ÖKO-TEST Magazin 9/95
Parfüm	1996	23	11 (M.-Keton: bis zu 4600mg/kg, M.-Xylol: max. 74 mg/kg)	n.u.	ÖKO-TEST Magazin 1/96
Haarshampoo		39	4	27 (max. 1000 mg/kg)	ÖKO-TEST Magazin 4/96
Weichspüler		28	0	28	ÖKO-TEST Magazin 4/96
Duschgel		43	2	23 (max. 1000 mg/kg)	ÖKO-TEST Magazin 12/96
Baby-Tücher	1997	17	0	11	Sonderheft 22, Kleinkinder Teil 1, 1997
Duschgel		41	3	21	Sonderheft 23, Kosmetik
Deodorant		46	3	34	Teil 1, 1997
Handcreme		43	6	24	ÖKO-TEST Magazin 2/97
Creme für reife Haut		16	3	14	ÖKO-TEST Magazin 4/97
Vollwaschmittel		24		20	ÖKO-TEST Magazin 4/97
Haarshampoo		46	4	24	ÖKO-TEST Magazin 7/97
Sonnenschutzmittel		10	0	2	ÖKO-TEST Magazin 6/97
Color-Waschmittel		21		18 <sup>1</sup>	ÖKO-TEST Magazin 9/97
Tagescreme		62	7	22	ÖKO-TEST Magazin 10/97
After Shave		32	2	25	ÖKO-TEST Magazin 11/97
Duft-Kerze		55	0	3	ÖKO-TEST Magazin 12/97
Baby-Öl	1998	29	1	1	Sonderheft 25, Kleinkinder Teil 2
Creme für reife Haut		16		9	Sonderheft 23, Kosmetik Teil 2
Seife		35	3 (M-Ambrette)	22	ÖKO-TEST Magazin 2/98
Deodorant		34		17	ÖKO-TEST Magazin 4/98
Kosmetik für Allergiker		40	3	13	ÖKO-TEST Magazin 3/98
Baby-Haarshampoo		38		12	ÖKO-TEST Magazin 9/98
Allzweckreiniger		29	1	3	ÖKO-TEST Magazin 10/98
Gesichtscreme		27		16	ÖKO-TEST Magazin 11/98
Lufterfrischer ( für Autos)		19	10	19	ÖKO-TEST Magazin 11/98
Parfüm	15	4	15	ÖKO-TEST Magazin 12/98	

Fortsetzung Tab. 4

Produkt	Jahr	Proben- zahl	Synth. Moschus-Duftstoffe, Positivbefunde		Veröffentlichung in
			Nitromo- schusDuft- stoffe	Polycyclische Moschus- Duftstoffe	
Geschirrspülmittel		26	8		Sonderheft 26, Zuhause, 1999
Waschmittel		48	n. u.	7	
Weichspüler		19	0	8	
Haarspray		48	24		Sonderheft 27, Kosmetik Teil 2, 1999
Sonnenschutzmittel		28	13		
Mückenschutz- mittel		33	0	2	Sonderheft 28, Kleinkinder, Teil 1, 1999
Baby-Bad		29	0	3	
Baby-Creme		26	0	4	
Cellulite-Creme		20	1	10	Sonderheft 29, Gesundheit Teil 2, 1999
Schaumbad		25	0	9	ÖKO-TEST Magazin 1/99
Räucherstäbchen		7	6 (M.-Ambrette)	3	ÖKO-TEST Magazin 2/99
Kinderschminke		34	1	7	ÖKO-TEST Magazin 2/99
Rasierschaum, -gel		49	33		ÖKO-TEST Magazin 3/99
Make-up		31	12		ÖKO-TEST Magazin 9/99
Möbelpflegemittel		14	0	1	ÖKO-TEST Magazin 9/99
Haarshampoo		36	0	15	ÖKO-TEST Magazin 9/99
Lufterfrischer		29	18 (max. 22.000 mg/kg)		ÖKO-TEST Magazin 10/99

<sup>1</sup>Nitromoschus-Duftstoffe und polycyclische Moschus-Duftstoffe nicht getrennt aufgeführt,  
n.u. = nicht untersucht

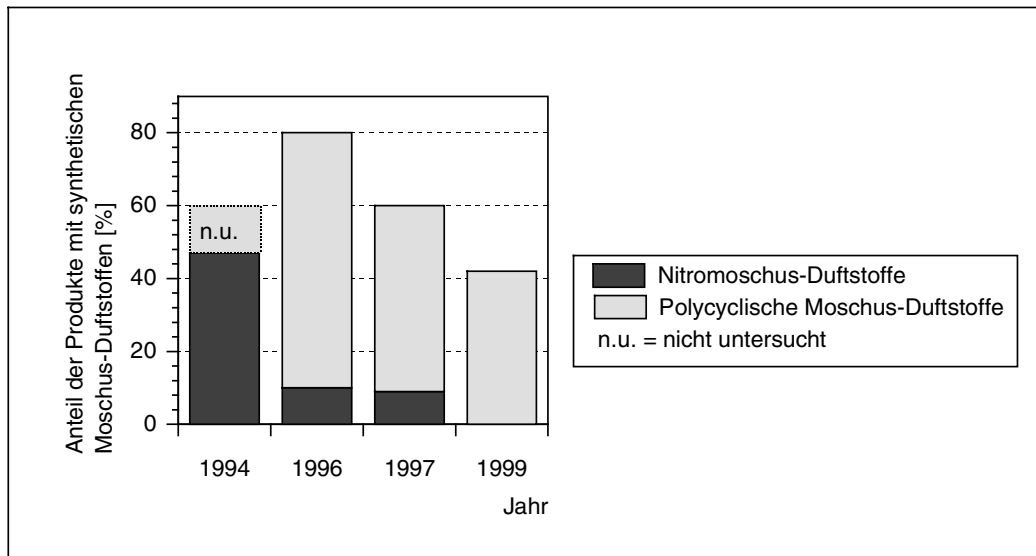
### 2.2.2.2 Synthetische, polycyclische Moschus-Duftstoffe

Die Verwendung polycyclischer Moschus-Duftstoffe wurde erstmals von Eschke et al. (1995) durch eine Untersuchung von 51 Handelsprodukten (Wasch- und Körperpflegemittel, Parfüm) nachgewiesen. In allen untersuchten Vollwaschmitteln (10 Produkte) wurde HHCB in Gehalten von 0,4-120 mg/kg und AHTN mit 1-550 mg/kg bestimmt. Auch in allen Duschgelen (27 Produkte) konnten diese Verbindungen nachgewiesen werden (HHCB = 0,5-500 mg/kg, AHTN = 2-520 mg/kg). In den drei untersuchten Weichspülern waren die Gehalte für HHCB mit 3-17 mg/kg deutlich, für AHTN mit 6-290 mg/kg etwas geringer als in Waschmitteln und Duschgelen. In den bisher genannten Produkten war teilweise auch ADBI in Konzentrationen von maximal 38 mg/kg vorhanden. Alkoholhaltige Pflegemittel, wie Rasierwasser oder Parfüm, enthielten ADBI in Konzentrationen bis zu 180 mg/kg. HHCB (bis zu 24 mg/kg) und AHTN (bis zu 1,1 mg/kg) waren dagegen in deutlich geringeren Konzentrationen nachweisbar.

Die Ergebnisse der Zeitschrift ÖKO-TEST (Tab. 4) belegen, dass Nitromoschus-Duftstoffe auf dem europäischen Markt in zunehmendem Maße durch polycyclische Moschus-Duftstoffe ersetzt worden sind. Die durch den Nachweis von Nitromoschus-Duftstoffen in der Umwelt ausgelöste Diskussion über Persistenz und Bioakkumulationsvermögen, sowie toxikologische

Bedenken führten zu einem zunehmenden Ersatz synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe in Handelsprodukten durch andere Duftstoffe. In Untersuchungen von Haarshampoos wurden beispielsweise im Jahre 1994 noch in 47 % der untersuchten Shampoos synthetische Nitromoschus-Duftstoffe gefunden. In den Jahren 1996 und 1997 wurden nur noch in 10 % bzw. 9 % der Produkte Nitromoschus-Duftstoffe analysiert. 1999 waren in den untersuchten Haarshampoos des deutschen Handels keine Nitromoschus-Duftstoffe mehr nachweisbar (Abb. 4). Die Nitromoschus-Duftstoffe wurden zunächst durch polycyclische Moschus-Duftstoffe ersetzt. Bereits 1996 waren in 70 % der untersuchten Shampoos polycyclische Moschus-Duftstoffe enthalten.

Die in Abb. 4 dargestellten Ergebnisse zeigen aber auch, dass die Verwendung von synthetischen Moschus-Duftstoffen (Nitromoschus- oder polycyclische Moschus-Duftstoffe) in Haarshampoos insgesamt rückläufig war. Während 1996 in 80 % der untersuchten Produkte synthetische Moschus-Duftstoffe nachgewiesen wurden, sank der Anteil im Jahr 1999 auf 42 %.



**Abb. 4** Prozentualer Anteil von Haarshampoos mit synthetischen Moschus-Duftstoffen, Untersuchungen im Auftrag der Zeitschrift ÖKO-TEST



## 2.3 Synthetische Moschusduftstoffe in aquatischen Ökosystemen

### 2.3.1 Eintragswege in die Umwelt

Synthetische Moschus-Duftstoffe in natürlichen Systemen sind anthropogenen Ursprungs. Der Eintrag der Duftstoffe in die Umwelt erfolgt vor allem durch privaten Verbrauch von Reinigungs- und Körperpflegemitteln. Jährlich werden durch die Industrie große Mengen synthetischer Moschus-Duftstoffe verarbeitet. In Tab. 5 sind exemplarisch die Produktionsmengen verschiedener duftstoffhaltiger Produkte für die Bundesrepublik Deutschland aus dem Jahr 1993 dargestellt.

**Tab. 5** Produktionsmengen verschiedener Produkte des persönlichen Bedarfs in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1993 und ihr durchschnittlicher Duftstoffgehalt

Produkt-Kategorie	Anteil am Gesamtverbrauch von Duftstoffen in der EU ( Somogyi et al., 1995)	Produktionsmenge in Deutschland 1993 [t] (Quelle: Statistisches Bundesamt)	Mittlerer Duftstoffgehalt [%]	Duftstoffverbrauch 1993 [t]
Waschmittel, Geschirrspülmittel	24,3 %	(615.000)*	0,4	2460
Weichspüler	14,2 %	(150.000)*	0,4	600
Seifen	9,1 %	62.600	1	626
Körperpflege (Deo, Creme, Bodylotion)	13,2 %	75.500	0,4	302
Parfüms, After Shaves	5,1 %	6.600	8	528
Haarpflege (Shampoo, Styling)	10,2 %	71.000	0,5	355
Badezusätze, Duschgele	10,2 %	162.300	1,2	1950
Industrie- und Haushaltsreiniger	7,6 %	keine Angabe	0,2	ca. 1000
Weitere (Raumlufterfrischer, Kerzen etc.)	6,1 %	keine Angabe	variabel	ca. 800
<b>Summe</b>	<b>100 %</b>	<b>1.143.000</b>	<b>-</b>	<b>ca. 8.600</b>

\* Menge nicht vom Statistischen Bundesamt erhalten, sondern aus dem mittleren Duftstoffgehalt des Produktes und dem Anteil der Bundesrepublik Deutschland am Gesamtverbrauch der EU errechnet

Aus dem von van de Plassche und Balk (1997) angegebenen Duftstoffgehalt der einzelnen Produktgruppen kann die Gesamtmenge der in Deutschland verbrauchten Duftstoffe auf etwa 8.600 t geschätzt werden. Davon entfallen durchschnittlich 5 % auf die synthetischen Moschus-Duftstoffe (NEA, 1997). Somit gelangten 1993 allein in der Bundesrepublik Deutschland ca. 430 t synthetischer Moschus-Duftstoffe in die Umwelt. Daraus errechnet sich ein Verbrauch synthetischer Moschus-Duftstoffe pro Einwohner und Tag von 14,4 mg. Das niederländische Institut RIVM (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) kommt im Rahmen einer Risikoabschätzung zu einem ähnlichen Ergebnis. Für 1995 wurde der Verbrauch der wichtigsten synthetischen, polycyclischen Moschus-Duftstoffe HHCB und AHTN in der EU auf 2.067 t pro Jahr geschätzt, was einem Verbrauch von 15,5 mg pro Einwohner und Tag entspricht.

Die synthetischen Moschus-Duftstoffe gelangen nach Gebrauch der Produkte mit den häuslichen Abwässern in die kommunalen Abwasserreinigungsanlagen. Die höchsten Konzentrationen synthetischer Moschus-Duftstoffe wurden daher in den Zuläufen kommunaler Kläranlagen bestimmt. Die Konzentrationen lagen für die polycyclischen Moschus-Duftstoffe HHCB und AHTN im Bereich einiger Mikrogramm pro Liter Wasser, für die Nitromoschus-Duftstoffe meist deutlich niedriger (Tab. 6). Die hohen Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in Schlämmen kommunaler Kläranlagen machen deutlich, dass diese Verbindungen stark an Partikel adsorbiert werden.

In Kläranlagen kann nach den in Kapitel 2.1.4.4 dargestellten Forschungsergebnissen von einem partiellen Abbau synthetischer Moschus-Duftstoffe zu polaren Metaboliten ausgegangen werden. Für die Nitromoschus-Duftstoffe wurden bislang reduktive, für die polycyclischen Moschus-Duftstoffe oxidative Umsetzungen gefunden. Außerdem werden Moschus-Duftstoffe durch die Adsorption an Schlammpartikel aus dem Abwasser entfernt. Simonich et al. (2000) bestimmten bei Untersuchungen der Zu- und Abläufe von zwei Kläranlagen in den USA nach der Abwasserreinigung eine Abnahme der Moschus-Xylol-Konzentration um 94,8 % und der Moschus-Keton-Konzentration um 81,4 %. Eschke et al. (1994) berichteten dagegen, dass in den von ihnen untersuchten bundesdeutschen Kläranlagen nur 82 % des Moschus-Xylols und 50 % des Moschus-Ketons aus dem Abwasser entfernt wurden. Für die polycyclischen Moschus-Duftstoffe HHCB und AHTN bestimmten Simonich et al. (2000) eine Reduktion von 87,4 % der HHCB- und 86,2 % der AHTN-Konzentration durch die Abwasserreinigung. Eschke et al. (1994) fanden dagegen lediglich die Entfernung von 34 % der HHCB- und 60 % der AHTN-Menge aus dem Zulauf. In einer holländischen Studie von 1997 wurde nach der Abwasserreinigung eine Reduktion der HHCB-Konzentration des Abwassers um 45 % und der AHTN-Konzentration um 40 % festgestellt, die auf eine Adsorption an Belebtschlamm zurückgeführt wurde (van de Plassche und Balk, 1997). Durch Abwasserreinigung in den Kläranlagen wird somit nur ein Teil der synthetischen Moschus-Duftstoffe durch biologischen Abbau und Adsorption an Partikel aus dem Abwasser entfernt.

Wie Tab. 6 zeigt, gelangen mit den Kläranlagenabläufen synthetische Moschus-Duftstoffe mit einer Konzentration von einigen Mikrogramm pro Liter in die Oberflächengewässer. Weitere relevante Eintragswege in die Umwelt sind für diese Substanzen bisher nicht bekannt. Nach Vorschlag von Heberer et al. (1999) und Rimkus (1999) können daher die synthetischen, polycyclischen Moschus-Duftstoffe und - besonders HHCB - als organische Bioindikatoren für Abwassereinträge in aquatische Ökosysteme dienen.

**Tab. 6** Konzentrationen bzw. Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in kommunalen Kläranlagen

Kläranlage	n	Polycyclische Moschus-Duftstoffe			Nitromoschus-Duftstoffe			Autor(en)
		Zulauf [µg/l]	Ablauf [µg/l]	Schlamm [µg/kg TM]	Zulauf [µg/l]	Ablauf [µg/l]	Schlamm [µg/kg TM]	
KA an der Tama	3	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	MX:32	MK:270	Yamagishi et al., 1983
KA der Lauchert	1	n.u.	n.u.	n.u.	MX:53	MX:22	n.u.	Hahn, 1993
KA an der Ruhr	36	n.u.	n.u.	n.u.	MX:0,09-1,7 MK:0,57-2,4	MX:0,03-0,31 MK:0,22-1,3	n.u.	Eschke et al., 1994a
KA an der Ruhr	7	HHCB:0,5-2,9 AHTN:0,8-4,4	HHCB:0,8-2,4 AHTN:0,5-2,9	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Eschke et al., 1994b
KA an der Ruhr	21	n.u.	HHCB:0,6-2,5 AHTN:0,8-3,1	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Eschke et al., 1995a
KA an der Ruhr	7	HHCB: 10-30	HHCB: 1-3	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Eschke, pers. Mitt. an RIVM, 1996
KA Schweden	3	n.u.	HHCB: 1-6	n.u.	n.u.	MK:1-5	n.u.	Paxéus, 1996
KA Hessen (1994-96)	11	n.u.	n.u.	HHCB:11886-21626 AHTN:11992-20107	n.u.	n.u.	MX<5-115 MK:<5-1000	Fooken et al., 1997
KA Hessen (1997-98)	9	n.u.	n.u.	HHCB:6704-22288 AHTN:5752-18436	n.u.	n.u.	MX:<5 MK:<5-307	Fooken et al., 1999
KA Berlin	3	n.u.	HHCB:6-10 AHTN:2-6	n.u.	n.u.	MX<0,01 MK:0,16-0,32	n.u.	Heberer et al., 1999
KA Niederlande	3	n.u.	HHCB:0,2-0,3 AHTN:0,1-0,4	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Verbruggen et al., 1997
KA Niederlande	11	Primärschl. HHCB:5400-27000 AHTN:3300-14000			n.u.	n.u.	n.u.	Blok, 1997
	12	Belebtschl. HHCB:4400-63000 AHTN:6200-21000						
	31	Faulschl. HHCB:9000-31000 AHTN:4900-21000						
KA Hamburg	1	n.u.	n.u.		MX:0,15 MK:0,55	MX:0,01 MK:0,01	n.u.	Gattermann et al., 1998
KA Schweiz	12	n.u.	n.u.	HHCB:2374-12157 AHTN: 1269-4161	n.u.	n.u.	MK: 1,5-6,9 MX:<1-32,5	Herren und Berset, 2000

n = Zahl der untersuchten Proben; n.u. = nicht untersucht; KA = Kläranlage; MX = Moschus-Xylol; MK = Moschus-Keton

### 2.3.2 Konzentrationen in Oberflächengewässern

In den letzten Jahren wurden die Konzentrationen verschiedener synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe und polycyclischer Moschus-Duftstoffe in vielen Wasserproben aus Flüssen, Seen, Kanälen und der Nordsee untersucht (Tab. 7).

**Tab. 7** Konzentrationen synthetischer Moschus-Duftstoffe in Oberflächengewässern (Angaben in ng/l)

Probe	Jahr	n	Moschus-Xylol	Moschus-Keton	HHCB	AHTN	ADBI	Autor(en)
<b>Süßwasser (Seen und Flüsse)</b>								
<b>Elbe (D)</b>								
Brunsb.	1993	1	0,8	4,6	n.u.	n.u.	n.u.	Gatermann et al., 1995
Torgau	1995	2	n.u.	n.u.	57, 92	62, 116	n.u.	Lagois, 1996
Stade	1995	1	n.u.	n.u.	95	67	n.u.	Bester et al., 1998
Magdeburg	1996/97	31	n.u.	<2-10 Median: 6	36-152 Median: 118	24-88 Median: 73	<2-8 Median: 5	Winkler et al., 1998
Schmilka bis Grauerort	1996-1997	30	n.u.	n.u.	29-410 Median: 116	30-250 Median: 85	n.u.	dieser Bericht
<b>Mulde, Saale</b>		11	n.u.	n.u.	150-610 Median: 380	140-330 Median: 245	n.u.	
<b>Ruhr (D)</b>	1994	23	<10-30 ( $\bar{x}$ =10)	20-230 ( $\bar{x}$ =30)	<30-500 ( $\bar{x}$ =370)	<30-300 ( $\bar{x}$ =200)	<30	Eschke et al., 1994
	1995/96	48	Median: 2	Median: 10	n.u.	Median: 275	Median: 100	Eschke, 1996
<b>Rhein (NL)</b>	1994-1996	32	n.u.	n.u.	10-220 Median: 60	10-130 Median: 50	n.u.	Breukel und Balk, 1996
<b>Meuse (NL)</b>	1994-1996	35	n.u.	n.u.	10-260 Median: 80	10-400 Median: 70	n.u.	Breukel und Balk, 1996
<b>Gewässer in NL</b>	1996	14	n.u.	n.u.	1-174 Median: 51	0,5-187 Median: 28	n.u.	Verbruggen, 1997
<b>Tama (JPN)</b>	1983	18	1,7-23 Median: 10	<1-28 Median: 3,5	n.u.	n.u.	n.u.	Yamagishi et al., 1983
	1994	5	n.u.	n.u.	0,7-100 Median: 80	n.u.	n.u.	Yun et al., 1994
<b>Glatt (CH)</b>	1994	1	0,62	8,3	136	75	3,2	Müller et al., 1996
<b>12 Gewässer in Berlin</b>	1996	30	<10 1 Probe: 180	<10-390 Median: 20	20-12500 Median: 800	30-6800 Median: 390	10-520 Median: 50	Heberer et al., 1999
<b>Meer</b>								
<b>Nordsee (D)</b>	1990	6	n.u.	n.u.	0,09-0,88 ( $\bar{x}$ =0,33)	0,09-0,94 ( $\bar{x}$ =0,37)	n.u.	Bester et al., 1998
	1993	33	<0,02-0,17 Median: 0,03	<0,02-0,06 50%<BG	n.u.	n.u.	n.u.	Gatermann et al., 1995
	1995	6	n.u.	n.u.	0,15-4,8 ( $\bar{x}$ =1,03)	0,08-2,6 ( $\bar{x}$ =0,58)	n.u.	Bester et al., 1998

n = Zahl der untersuchten Proben; n.u. = nicht untersucht; BG = Bestimmungsgrenze

Längsprofile der Flüsse Ruhr (Eschke et al., 1995b) und Tama (Yun et al., 1994) waren charakterisiert durch einen sprunghaften Anstieg der Konzentration synthetischer Moschus-Duftstoffe unmittelbar nach dem Zufluss von Kläranlagenabläufen und nachfolgender Konzentrationsabnahme in Gewässerfließrichtung. Diese Ergebnisse belegen, dass synthetische Moschus-Duftstoffe mit gereinigten Abwässern in die Oberflächengewässer gelangen. Die maximale Konzentration in den Gewässern war dabei vor allem vom Anteil des eingeleiteten

Abwassers an der Gesamtwassermenge abhängig. Bei kleineren Flüssen, wie der Wuhle bei Berlin, kann gereinigtes Abwasser bis zu 90 % der gesamten Wasserabflussmenge ausmachen. Nach Zufluss eines Kläranlagenablaufs wurden Konzentrationen von bis zu 12 µg/l HHCB gemessen, während die Konzentration vor dem Abwassereintrag nur 0,15 µg/l HHCB betrug (Heberer et al., 1999).

In den Flüssen Elbe, Rhein, Tama und Glatt betragen die mittleren Konzentrationen (Medianwerte) von Moschus-Xylol und Moschus-Keton weniger als 10 ng/l (Tab. 7). Die polycyclischen Moschus-Duftstoffe waren in deutlich höheren Konzentrationen nachweisbar. Die Medianwerte von HHCB lagen in den oben genannten Flüssen zwischen 50 und 120 ng/l, von AHTN zwischen 50 und 73 ng/l. Aus der Elbe bei Magdeburg wurden über den Zeitraum eines Jahres im Abstand von 1-2 Wochen Wasserproben auf verschiedene synthetische Moschus-Duftstoffe, einige Organochlorpestizide, polychlorierte Biphenyle (PCB) und polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht. Während des gesamten Untersuchungszeitraums waren die Konzentrationen von HHCB und AHTN signifikant höher als die der anderen organischen Schadstoffe. Diese Ergebnisse lassen vermuten, dass die synthetischen, polycyclischen Moschus-Duftstoffe HHCB und AHTN bedeutende chemische Kontaminanten der Elbe im Abschnitt bei Magdeburg sind (Winkler et al. 1998).

Auch in der Nordsee konnten synthetische Moschus-Duftstoffe nachgewiesen und quantifiziert werden. Die Konzentrationen betragen allerdings nur einen Bruchteil der in den Flüssen gemessenen Werte. Für Nitromoschus-Duftstoffe wurden Konzentrationen bis maximal 0,17 ng/l, für polycyclische Moschus-Duftstoffe bis maximal 4,8 ng/l bestimmt (Gatermann et al., 1995; Bester et al., 1998). Die Konzentrationen für HHCB und AHTN lagen somit in der Größenordnung anderer organischer Kontaminanten wie  $\alpha$ -HCH und  $\gamma$ -HCH, Nitrobenzol, einige Thiophosphate und Methylbenzothiazol (Bester et al., 1998).

In fast allen Wasserproben lag die HHCB-Konzentration deutlich über der AHTN-Konzentration. Die wenigen zur Verfügung stehenden Daten für ADBI, Moschus-Xylol und Moschus-Keton zeigten sehr niedrige Konzentrationen. In einem Teil der Proben waren diese Substanzen nicht nachweisbar.

### **2.3.3 Gehalte in Sedimenten und Schwebstoffen**

Die Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in Sedimenten und Schwebstoffen sind in Tab. 8 zusammengestellt. In einem Monitoring wurden 1996 in Niedersachsen Sedimente aus Elbe und Weser, sowie aus einigen kleineren Flüssen entnommen (Lach und Steffen, 1997). In allen Proben wurden für HHCB und AHTN die höchsten Gehalte analysiert, außerdem wurden Moschus-Xylol und Moschus-Keton nachgewiesen. In den Flüssen Elbe und Leine, sowie kleineren Gewässern im Einzugsgebiet der Elbe wurden auch ADBI (in Gehalten bis zu 2,5 µg/kg TM) und ATII (in Gehalten bis zu 18 µg/kg TM) gefunden. Für AHMI und DPMI wurden dagegen bei einer Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/kg TM keine Positivbefunde ermittelt. Die maximalen HHCB- und AHTN-Gehalte wurden in der Elbe (Messstelle Schnackenburg: 31 µg/kg TM HHCB und 3,8 µg/kg TM AHTN sowie Messstelle Grauerort: 9,6 µg/kg TM HHCB und 0,7 µg/kg TM AHTN) und der Leine (54 µg/kg TM HHCB und 3,9 µg/kg TM AHTN) bestimmt. In der Ems konnten keine polycyclischen Moschus-Duftstoffe nachgewiesen werden.

In Untersuchungen des Elbeabschnitts von Schnackenburg bis Cuxhaven konnten die Autoren 1997 einen Anstieg der Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe im Sediment der Messstellen Schnackenburg (122 µg/kg TM HHCB und 96 µg/kg TM AHTN) und Grauerort (20 µg/kg TM HHCB und AHTN) gegenüber 1996 zeigen (Steffen, pers. Mitt.). Die 1998 im Sediment der Messstellen Schnackenburg, Geesthacht, Grauerort, Cuxhaven analysierten Gehalte waren denen von 1997 vergleichbar. Die höchsten Gehalte wurden von Steffen (Pers. Mitt.) im Rahmen der 1998 durchgeführten Untersuchungen in der Este (Messstellen Buxtehude und Königreich) und der Ilmenau (Messstelle Schleuse Fahrenholz) bestimmt und waren auf den Einfluss kommunaler Kläranlagen zurückzuführen. Im Sediment der Este wurden an der Messstelle Buxtehude 249 µg/kg TM HHCB und 144 µg/kg TM AHTN ermittelt (Einfluss der KA Buxtehude), auch die Nitromoschus-Duftstoffe Moschus-Xylol und Moschus-Keton waren in Gehalten bis zu 5,2 µg/kg TM nachweisbar. Im Sediment der Ilmenau wurden nach Zufluss der KA Lüneburg hohe Werte gemessen (92 µg/kg TM HHCB und 53 µg/kg TM AHTN; Steffen, pers. Mitt.).

Eschke (pers. Mitt.) fand in Sedimenten der Ruhr 1995 Gehalte von 150-300 µg/kg TM HHCB und 150-300 µg/kg TM AHTN. Diese Ergebnisse liegen in der Größenordnung der 1998 von Steffen (pers. Mitt.) ermittelten Gehalte von Sedimenten der abwasserbeeinflussten Elbenebenflüsse Este und Ilmenau und lassen auf einen hohen Abwassereintrag in die Ruhr schließen.

Die Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in Schwebstoffen der Elbe, verschiedener hessischer Gewässer und von Rhein und Meuse wurden in drei umfangreichen Untersuchungen bestimmt (Tab. 8). In allen Schwebstoffproben der Elbe bei Magdeburg waren die mittleren Gehalte von HHCB und AHTN höher als die von Organochlorpestiziden und PCB und in derselben Größenordnung wie die von PAK. Diese Ergebnisse zeigen, dass HHCB und AHTN wichtige Schadstoffe in Elbeschwebstoffen sind. In den meisten Proben wurden auch Moschus-Xylol und ADBI nachgewiesen (Winkler et al., 1998).

In den Schwebstoffen 13 verschiedener hessischer Gewässer (Rhein, Main, Lahn, Fulda, Weschnitz, Nidda, Ohm, Haune u. a.) wurden von Fooken et al. (1997 und 1999) z. T. deutlich höhere Gehalte an HHCB und AHTN als in Elbeschwebstoffen ermittelt. Dies dürfte vor allem auf den im Vergleich zur Elbe höheren Abwasseranteil der kleineren Gewässer zurückzuführen sein, der bis zu 16 % betrug (Weschnitz). In den kleinen Flüssen Schwarzbach und Rodau, die durch einen Abwasseranteil von durchschnittlich 54 % (Schwarzbach) bzw. 71 % (Rodau) charakterisiert sind, wurden 1996 mit bis zu 2653 µg/kg TM (Schwarzbach) bzw. 3211 µg/kg TM (Rodau) hohe Gehalte von HHCB ermittelt. Die höchsten Gehalte wurden im Geräthsbach (Einzugsgebiet des Schwarzbachs) nach dem Zufluss eines Kläranlagenblaufs mit Werten von bis zu 13,7 mg/kg TM HHCB bestimmt.

Zusammenfassend geben die vorliegenden Untersuchungen Hinweise auf eine Anreicherung der lipophilen, synthetischen Moschus-Duftstoffe in Sedimenten und Schwebstoffen. Für Aussagen zum zeitlichen Verlauf der Gehalte ist die vorhandene Datenbasis allerdings nicht ausreichend.

Tab. 8 Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in Schwebstoffen und Sedimenten (Angaben in µg/kg TM)

Probe	Jahr	n	Moschus-Xylol	Moschus-Keton	HHCB	AHTN	ADBI	Autor(en)
<b>Sediment</b>								
Elbe	1996	2	0,4; 0,9	0,4 ; 0,9	9,6 ; 31	0,7 ; 3,8	<0,5 ; 0,7	Lach, Steffen 1997 Steffen, pers. Mitt.
	1997	6	<0,1-2,1 ( $\bar{x}$ =0,5)	<0,1-0,7 ( $\bar{x}$ =0,3)	7,8 – 122 ( $\bar{x}$ =42)	5,9 – 96 ( $\bar{x}$ =32)	<0,5 – 2,1 ( $\bar{x}$ =0,9)	
	1998	4	0,1-0,4 ( $\bar{x}$ =0,3)	0,7-5,4 ( $\bar{x}$ =3,1)	13 – 59 ( $\bar{x}$ =38)	9,2 – 34 ( $\bar{x}$ =21)	<0,5 – 0,9 ( $\bar{x}$ =0,6)	
Elbe*	1998/99	82	<0,5 – 16 50%<BG	<0,5 – 5,2 Median: 0,5	3,1 – 220 Median: 59	3,6 – 130 Median: 32	<0,5 – 3,1 Median: 1,0	dieser Bericht
Mulde*	1998/99	12	<0,5 – 2,5 Median:0,8	<0,5 – 8,3 Median: 1,7	68 – 400 Median:174	41 – 230 Median: 85	0,9 – 4,9 Median: 2,3	
Saale*	1998/99	12	<0,5 – 1,0 50%<BG	<0,5 – 3,1 Median: 0,8	29 – 370 Median:135	10 – 155 Median: 59	<0,5 – 3,0 Median: 1,5	
Schw.Elster*	1998/99	12	<0,5 – 4,5 Median: 0,6	<0,5 – 4,7 Median: 1,6	56 – 305 Median: 99	3,6 – 130 Median: 62	1,2 – 4,6 Median: 1,8	
Ruhr (D)	1995	wenige	n.u.	n.u.	150-300	150-300	n.u.	Eschke, pers. Mitt
Weser	1996	2	0,7 ; 1,0	0,9 ; 1,1	2,1 ; 9,7	<0,5	<0,5	Lach und Steffen, 1997
Ems	1995	1	0,5	0,2	<0,5	<0,5	<0,5	
	1996	1	0,7	0,3	<0,5	<0,5	<0,5	
Leine	1996	1	2,2	3,8	54	3,9	0,6	
Oker	1996	1	0,7	0,9	4,7	<0,5	<0,5	Steffen, pers. Mitt.
Gewässer im Einzugsgebiet der Elbe	1997	20	<0,1-1,0 Median:0,1	<0,1-0,4 50%<BG	<0,5-150 Median:14	<0,5-62 Median:7	<0,5-1,4 50%<BG	
	1998	17	<0,1-0,4 Median:0,1	<0,1-5,2 Median:1,2	1,3-249 Median:11	0,7-144 Median:6	<0,5-2,5 50%<BG	
<b>Schwebstoff</b>								
Elbe (D)	1996-1997	31	n.u.	4-22 Median: 7	148-736 Median:442	194-770 Median:458	<4-43 Median:16	Winkler et al., 1998
13 Gewässer (Hessen)	1996	13	<1-14 50%<BG	<3-106 Median:23	78-2723 Median:492	91-3211 Median:493	n.u.	Fooken et al., 1997
	1997	15	<1 -9 50%<BG	<3-104 Median:8	54-4405 Median:305	55-3674 Median:190	n.u.	Fooken et al., 1999
	1998	14	<1-6 50%<BG	<3-115 50%<BG	45-2462 Median:287	53-3157 Median:321	n.u.	Fooken et al., 1999
Donau, Rhein Neckar	1994	70	( $\bar{x}$ =3)	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	zitiert in: Fooken et al., 1997
	1995	70	50%<BG	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	
Einzugsgebiet Schwarzbach, Rodau	1996	13	<4-46 Median:8	24-408 Median:106	897-13722 Median: 2641	544-12666 Median: 2948	n.u.	Fooken et al., 1997
	1997	6	<1-9 ( $\bar{x}$ =5)	10-104 ( $\bar{x}$ =62)	1685-5412 ( $\bar{x}$ =3340)	1904-6568 ( $\bar{x}$ =3617)	n.u.	Fooken et al., 1999
	1998	6	<1-7 ( $\bar{x}$ =4)	16-133 ( $\bar{x}$ =67)	1261-5154 ( $\bar{x}$ =2564)	1581-7196 ( $\bar{x}$ =3308)	n.u.	Fooken et al., 1999
Rhein (NL)	1994 - 1996	14	n.u.	n.u.	50-160 Median:60	100-540 Median:240	n.u.	Breukel und Balk, 1996
Meuse (NL)	1994-1996	35	n.u.	n.u.	50-580 Median:20	60-1200 Median:80	n.u.	Breukel und Balk, 1996

Statistische Auswertung nach Fooken et al. (1997): n<11 = Mittelwert berechnet, n>=11 = Median berechnet  
n = Zahl der Proben; \*schwebstoffbürtige Sedimente; n.u. = nicht untersucht; BG = Bestimmungsgrenze

### 2.3.4 Gehalte in Biota

Synthetische Moschus-Duftstoffe wurden erstmals von Yamagishi et al. (1981) in Biotaprobieren (Fische, Muscheln) aus dem japanischen Fluss Tama und der Bucht von Tokio nachgewiesen. Die Autoren wiesen Moschus-Xylol (in Gehalten bis zu 27 µg/kg FG) und Moschus-Keton (in Gehalten bis zu 78 µg/kg FG) nach. 1990-1992 fanden Rimkus und Wolf im Rahmen eines deutschlandweiten Lebensmittelmonitorings Moschus-Xylol und Moschus-Keton in Forellen unterschiedlicher Herkunft. Besonders hohe Gehalte wurden in Forellen aus Teichwirtschaften in Dänemark und Spanien bestimmt (Rimkus und Wolf, 1993). In pflanzlichen und anderen tierischen Lebensmitteln waren keine synthetischen Moschus-Duftstoffe nachweisbar.

Nachdem polycyclische Moschus-Duftstoffe auch in Oberflächengewässern in hohen Konzentrationen nachgewiesen worden waren, wurden in mehreren Studien die Gehalte verschiedener Verbindungen dieser Substanzklasse in Fischen und anderen aquatischen Organismen untersucht. Analysiert wurde das extrahierte Lipid des essbaren Anteils (Muskelfleisch) der Tiere. Die Duftstoffgehalte sind daher in der Regel auf kg Lipid bezogen. Die Ergebnisse der vorliegenden Untersuchungen sind in Tab. 9 zusammengefasst.

Synthetische Moschus-Duftstoffe wurden in Süßwasserfischen aus zahlreichen deutschen Flüssen und Seen, sowie aus schweizer, holländischen und italienischen Gewässern in unterschiedlichen Konzentrationen nachgewiesen. Auffällig waren die sehr hohen Gehalte in Fischen aus Schönungsteichen von Kläranlagen, die in der Regel mehrere mg der polycyclischen Moschus-Duftstoffe HHCB und AHTN pro kg Lipid enthielten. Auch in Fischen aus Gewässern mit hohem Abwasseranteil, wie den Gewässern im Berliner Raum, der Ruhr und der Stör waren hohe Konzentrationen synthetischer Moschus-Duftstoffe nachweisbar. Dagegen waren Muscheln und Krabben aus der Nordsee deutlich geringer mit diesen Duftstoffen belastet (bis zu 370 µg HHCB/kg Lipid; Rimkus und Wolf, 1997).

Die Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in den Fischen gaben somit die im Wasser analysierten Konzentrationen wieder (vgl. Tab. 7). In Experimenten konnte gezeigt werden, dass die Aufnahme der synthetischen Duftstoffe aus dem Wasser erfolgt (van Dijk, 1996a,b; Ewald, 1998). Fische stellen somit gut geeignete Bioindikatoren für synthetische Moschus-Duftstoffe im Wasser dar.

Die Ergebnisse zeigen außerdem, dass die Nitromoschus-Duftstoffe Moschus-Xylol und Moschus-Keton wie auch die polycyclischen Moschus-Duftstoffe HHCB und AHTN im Muskelfleisch fast aller Fische nachweisbar waren, wobei HHCB und AHTN höhere Gehalte aufwiesen als die Nitromoschus-Duftstoffe. ADBI wurde nur in Fischen aus abwasserbeeinflussten Lebensräumen gefunden. In den meisten Fischen lag der HHCB- über dem AHTN-Gehalt und bei den Nitromoschus-Duftstoffen der Moschus-Keton- über dem Moschus-Xylol-Gehalt, so dass für Biotaprobieren aus europäischen Gewässern folgende Rangfolge der Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe ermittelt werden konnte (Rimkus, 1999):

HHCB > AHTN > Moschus-Keton > Moschus-Xylol



**Tab. 9** Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe im Muskelfleisch von Fischen und anderen aquatischen Organismen aus dem Süßwasser und Meer (Angaben in µg/kg Fett; in Klammern: µg/kg Frischgewicht)

Organismus	n	Moschus-Xylol	Moschus-Keton	HHCB	AHTN	ADBI	Autor(en)
Herkunft der Probe		X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	
<b>Süßwasser (Seen und Flüsse)</b>							
<b>Aal, <i>Anguilla anguilla</i></b> , Elbe	2	60; 70	40; 50	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Elbe	5	10 – 70	10 – 30	30 – 90	40 – 120	<10	Rimkus u. Wolf, 1997
Elbe (1994)	209	<10 – 470	<10 – 390	n.u.	n.u.	n.u.	Gaumert, 1996
(1995)	57	<20 – 310	<20 – 150	n.u.	n.u.	n.u.	dieser Bericht
(1997)	52	<20 – 270	<20 – 50	n.u.	n.u.	n.u.	
(1998)	56	<20 – 350	<20 – 40	n.u.	n.u.	n.u.	
(1999)	115	<5 – 329	<5 – 102	n.u.	n.u.	n.u.	
Mulde (1997)	9	<10 – 47	<10 – 19	n.u.	n.u.	n.u.	
Saale (1997)	17	<5 – 48	<5 – 43	n.u.	n.u.	n.u.	
Schw. Elster (1997)	16	<10	<10	n.u.	n.u.	n.u.	
Eider	1	30	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Schlei	1	10	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Stör	4	20 – 70	10 - 40	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Trave	1	70	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Ruhr	2	n.u.	n.u.	400 ; 600	500; 700	<100	Eschke et al., 1995a
Schönungsteich	5	n.u.	n.u.	6100-63600	10100-57900	<100-1000	Eschke et al., 1995a
Berliner Gewässer 1995 (14 Gewässer)	84	205, 265 (1-170), ( $\bar{x}$ =24) $\bar{x}$ =104	350, 450 (1-260), ( $\bar{x}$ =41) $\bar{x}$ =178	4600; 4800 n.u.	2600; 2700 n.u.	<100 n.u.	Rimkus u. Wolf, 1999 Fromme et al., 1999
1996 (14 Gewässer)	122	(1-79), ( $\bar{x}$ =12) $\bar{x}$ =57	(1-380), ( $\bar{x}$ =39) $\bar{x}$ =186	(15-4131), ( $\bar{x}$ =592) $\bar{x}$ =2819	(10-1408) ( $\bar{x}$ =268) $\bar{x}$ =1276	(2-8) ( $\bar{x}$ =3) $\bar{x}$ =14	Fromme et al., 1999
1996-1998	51	( $\bar{x}$ =30)	( $\bar{x}$ =100)	( $\bar{x}$ =1480) $\bar{x}$ =6390	( $\bar{x}$ =700) $\bar{x}$ =2970	$\bar{x}$ =4	Heberer et al., 2000
Mirachimi, Kanada	1	<1	340	34	17	n.u.	Gatermann et al.,1999
<b>Brassen, <i>Abramis brama</i></b> Elbe (D)	2	80; 90	80; 90	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Elbe (D, 1994)	150	<5 – 1240	<5 – 699	n.u.	n.u.	n.u.	Gaumert, 1996
Elbe (CZ)	80	$\bar{x}$ =195	$\bar{x}$ =185	$\bar{x}$ =1250 k.A. – 3194	$\bar{x}$ =785 k.A. – 1289	n.u.	Hajslova et al., 1998
2 Seen	45	<10 – 55	<10	n.u.	n.u.	n.u.	dieser Bericht
Eider	1	30	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Schlei	1	20	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Stör	3	60 – 350	70 – 210	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Trave	1	50	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Ruhr	3	n.u.	n.u.	2800 – 3800	2200 – 7100	<100	Eschke et al., 1995a
<b>Barsch, <i>Perca fluviatilis</i></b> Ruhr	2	n.u.	n.u.	2500 ; 3300	3500 ; 5000	<100	Eschke et al., 1995a
Trave	1	170	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
<b>Döbel, <i>Leuciscus cephalus</i></b> Schönungsteich	3	n.u.	n.u.	1000-8900	3000-16400	<100	Eschke et al., 1995a
<b>Karpfen, <i>Cyprinus carpio</i></b> , verschiedene Gewässer in Schleswig Holstein	22	<10 – 50	10 – 70	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993

Fortsetzung Tab. 9

Organismus	n	Moschus-Xylol	Moschus-Keton	HHCb	AHTN	ADBI	Autor(en)
Herkunft der Probe		$X_{\min}-X_{\max}$	$X_{\min}-X_{\max}$	$X_{\min}-X_{\max}$	$X_{\min}-X_{\max}$	$X_{\min}-X_{\max}$	
<b>Süßwasser (Seen und Flüsse)</b>							
<b>Regenbogenforelle</b> <i>Oncorhynchus mykiss</i> Europa	43	10 – 1060 $\bar{x}$ =33	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Aquakultur DK	14	n.u.	20 – 330 $\bar{x}$ =14	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus et al., 1995
Schleswig Holstein	4 28	100-210 <10 – 100	30-120 10 – 110	110-650 n.u.	200-590 n.u.	<10 n.u.	Rimkus, Wolf, 1997/99 Rimkus u. Wolf, 1993
Regbez. Tübingen	44	111–1800 $\bar{x}$ =230	n.u. $\bar{x}$ =40	n.u.	n.u.	n.u.	Hahn, 1993
Südbayern	50	(<0,2–31)	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Geyer et al., 1994
<b>Schleie, <i>Tinca tinca</i></b> Schönungsteich	4	185-360	1220-1440	1000-8900	3000-16400	<100	Rimkus u. Wolf, 1999
<b>Karause, <i>Carassius carassius</i></b> Schönungsteich	5 7	n.u. 222-395	n.u. 920-1560	6000-19800 39000-91000	12200-37200 26000-40000	<100 940-1500	Eschke et al., 1995a Rimkus u. Wolf, 1999
Po, Italien	3	n.u.	n.u.	1000-1250	1000-1250	<200	Draisci et al., 1998
<b>Rotfeder, <i>Scardinius erythrophthalmus</i></b> Schönungsteich	3	18 – 29	300 – 320	6200-7500	5000-6100	160-210	Rimkus u. Wolf, 1999
<b>Zander <i>Stizostedion lucioperca</i></b> Elbe	4 81 91	<10 – 90 <10 – 990 <NG-1292	10 – 70 <10–1400 <NG-257	600-3840 n.u. n.u.	320-990 n.u. n.u.	<10 n.u. n.u.	Rimkus u. Wolf, 1997 Gaumert, 1996 dieser Bericht
Stör	1	130	70	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Trave	1	170	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
<b>Muscheln, <i>Dreissena polymorpha</i></b> Schönungsteich	1	121	1280	120000	45000	1600	Rimkus u. Wolf, 1999
<b>Amerikanischer Seesaibling, <i>Salvelinus namaycush</i></b> Ontario, Kanada	4	2-4	76-730	<3-30	<2-45	n.u.	Gatermann et al., 1999
<b>Süßwasserfische</b> Schlesw. Holstein (5 Arten)	7	20 – 130	60 – 190	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
Ruhr	9	(<1 – 95)	(3 – 66)	n.u.	n.u.	n.u.	Eschke et al., 1994
Bodensee	21	<5 – 1370 $\bar{x}$ =460	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Glück u. Hahn, 1995
Südbayrische Teichwirtschaften	102	<0,2-240 $\bar{x}$ =12	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Geyer et al., 1994
Schönungsteiche	13	21 – 753	74 – 1600	n.u.	n.u.	n.u.	Eschke et al., 1994
Schönungsteiche	10	18 – 360	30 – 1440	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1999
Luganer See, Lago Maggiore, CH	144	(<0,1–20)	(0,1 – 20)	n.u.	n.u.	n.u.	Ceshi et al., 1996
Verschiedene Gewässer, CH	49	(<1-90)	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Kokot-Helbig et al., 1995

Fortsetzung Tab. 9

Organismus	n	Moschus-Xylol	Moschus-Keton	HHCb	AHTN	ADBI	Autor(en)
Herkunft der Probe		$x_{\min}-x_{\max}$	$x_{\min}-x_{\max}$	$x_{\min}-x_{\max}$	$x_{\min}-x_{\max}$	$x_{\min}-x_{\max}$	
<b>Meer</b>							
<b>Miesmuscheln, <i>Mytilus edulis</i></b> Nordsee	9	10-20	10 - 30	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1993
	15	10 - 40	10 - 40	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1995
		$\bar{x} = 20$	$\bar{x} = 30$				
	Atlantik (Kanada)	3	<10 - 20	10 - 30	<30-110	<30-60	<10
	1	<10 - 20	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Geyer et al., 1994
	1	<1	2200	1650	<2	n.u.	Gatermann et al., 1999
<b>Krabben, <i>Crangon crangon</i></b> Nordsee	3	30 - 50	30 - 50	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus u. Wolf, 1995
	4	<10 - 10	20 - 43	<40 - 370	<40 - 60	<40	Rimkus u. Wolf, 1997
<b>Hummer, <i>Homarus americanus</i></b> Atlantik, Kanada	4	<1-3	110-190	10-120	<2-12	n.u.	Gatermann et al., 1999
<b>Flunder, <i>Pseudopleuronectes americanus</i></b> Mirachimi, Kanada	1	49	2700	<3	<2	n.u.	Gatermann et al., 1999

n = Zahl der Proben; n.u. = nicht untersucht; k.A. keine Angabe; NG = Nachweisgrenze

In Biotapproben aus verschiedenen kanadischen Gewässern war dagegen Moschus-Keton der dominierende synthetische Moschus-Duftstoff in aquatischen Organismen. Die Gehalte an HHCb und AHTN waren deutlich niedriger (Gatermann et al., 1999). Dieses Ergebnis spiegelte die unterschiedliche Menge der synthetischen Moschus-Duftstoffe in Produkten der beiden Erdteile wider. Während in Kanada Produkte überwiegend Nitromoschus-Duftstoffe enthielten, waren in Westeuropa infolge der öffentlichen Diskussion die polycyclischen Moschus-Duftstoffe vorherrschend.

### 2.3.5 Gehalte in Humanproben

Auch in Humanmilch und Humanfett wurden in einigen Studien synthetische Moschus-Duftstoffe nachgewiesen (Tab. 10). Bei der Diskussion der Belastung von Humanmilch und Humanfett mit Organhalogen-Verbindungen wie DDT, PCB und polychlorierten Dibenzo-p-dioxinen und Dibenzofuranen wird im Allgemeinen davon ausgegangen, dass die Aufnahme dieser persistenten und lipophilen Substanzen in erster Linie über die Nahrung, insbesondere mit tierischen Lebensmitteln, erfolgt. Moschus-Duftstoffe wurden, wie bereits unter 2.3.4 erwähnt, nur in Lebensmitteln aus dem aquatischen Bereich nachgewiesen, einer Lebensmittelgruppe mit niedrigem Anteil an der Gesamternährung. 1991 wurden in Deutschland 14,2 kg Fisch/Person/Jahr verzehrt, davon 12,9 kg See- und 1,3 kg Süßwasserfisch (Rimkus und Wolf, 1993). Aus der in Humanfett bestimmten Gesamtkörperbelastung des Menschen ergab sich rechnerisch eine durchschnittliche tägliche Moschus-Xylol-Aufnahme von 160 ng/kg Körpergewicht. Bei täglichem Verzehr von 150 g Fisch müsste dieser einen Gehalt von 75 µg Moschus-Xylol/kg FG aufweisen, um die gemessene Gesamtkörperbelastung des Menschen zu ergeben. Da Moschus-Xylol-Gehalte dieser Größenordnung nur vereinzelt in Süßwasserfischen nachgewiesen wurden, ist unter Berücksichtigung des niedrigen pro-Kopf-Verbrauchs

ein möglicher Verzehr von hochbelasteten Fischen keine plausible Erklärung für die Gesamtkörperbelastung des Menschen. Daher mussten andere Eintragswege als über die Nahrung in den menschlichen Körper diskutiert und untersucht werden.

In Betracht kam hierfür die Aufnahme synthetischer Moschus-Duftstoffe über kosmetische Produkte sowie über Textilien, welche mit moschus-duftstoffhaltigen Waschmitteln, bzw. Weichspülpräparaten behandelt worden waren. In-vitro-Experimente mit Moschus-Xylol hatten gezeigt, dass von einer guten Resorption (Ratte: 15 %; Mensch: 4 %) der vergleichsweise unpolaren und lipophilen Moschus-Duftstoffe über die Haut auszugehen ist (Hood et al., 1996; Rimkus, 1998). Ford (1998) berechnete, dass pro Tag maximal 45,8 mg HHCB bzw. 18,4 mg AHTN mit verschiedenen Produkten auf die Haut gelangen können. Bei Annahme einer Resorption von 15 % („worst-case“-Betrachtung) können demnach bis zu 6,9 mg/kg HHCB und 2,9 mg/kg AHTN pro Tag über die Haut aufgenommen werden. Geht man bei der Berechnung von einem Körpergewicht des Menschen von 70 kg aus, so beträgt die maximale tägliche Aufnahme von HHCB über die Haut 99 µg/kg Körpergewicht und Tag, von AHTN 41 µg/kg Körpergewicht und Tag. Das lässt vermuten, dass die Aufnahme dieser Duftstoffe in den menschlichen Körper vor allem dermal erfolgen dürfte.

**Tab. 10** Gehalte verschiedener Moschus-Duftstoffe in Humanproben (Angaben in µg/kg Fett)

Probe	n	Moschus-Xylol	Moschus-Keton	HHCB	AHTN	ADBI	Autor(en)
		X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	X <sub>min</sub> -X <sub>max</sub>	
Humanmilch	391	10-1220 Median: 70	<10-240 Median: 30	n.u.	n.u.	n.u.	Liebl u. Ehrenstorfer, 1993
	23	20 – 190 Median: 50	10 – 90 Median: 20	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus et al., 1994
	2	56 ; 29	7 ; 21	310; 360	290; 250	24; 20	Eschke et al., 1995b
	55	11-252 x̄ =57	<1-102 x̄ =20	n.u.	n.u.	n.u.	Ott et al., 1999
Humanfett	32	20-220 Median: 50	10-220 Median: 20	n.u.	n.u.	n.u.	Rimkus et al., 1994
	2	26; 80	5; 4	149; 145	56; 72	3; 9	Eschke et al., 1995b
	15	6,7-288 Median: 30	<1-173 Median:5,6	12-171 Median: 48	1-23 Median:6,2	0,22-3,5 Median:0,6	Müller et al., 1996
Humanblut	11	12-49	n.u.	n.u.	n.u.	n.u.	Helbig et al., 1994

n = Zahl der untersuchten Proben; n.u. = nicht untersucht

## 2.4 Bioakkumulation

Aufgrund der hohen Produktionsmengen und der ubiquitären Verbreitung synthetischer Moschus-Duftstoffe, verbunden mit ihrer Lipophilie (log K<sub>OW</sub>-Werte > 3, vgl. Kap.2.1.4.2) und ihrer geringen Abbaubarkeit in der Umwelt (vgl. Kap. 2.1.4.3 und Kap. 2.1.4.4) kann von einer relativ hohen Bioakkumulation dieser Verbindungen ausgegangen werden. Die in Kapitel 2.3.4 dokumentierten hohen Gehalte der Duftstoffe im Muskelfleisch von Fischen und anderen aquatischen Organismen weisen bereits auf eine hohe Bioakkumulation dieser Stoffe im Lipidanteil der Fische hin.

Die Aufnahme und Akkumulation organischer Chemikalien durch die Doppellipidschicht der Zellmembran wird in entscheidendem Maß von den hydrophoben Eigenschaften der diffun-

dierenden Stoffe bestimmt. Die direkte Anreicherung einer Chemikalie aus der abiotischen Umwelt (Wasser, Sediment) in den Organismus wird als Biokonzentration bezeichnet. Der Biokonzentrationsfaktor (bioconcentration factor = BCF [l/kg]) beschreibt das Verhältnis der Konzentration einer Chemikalie im Organismus im Vergleich zum umgebenden Medium. Für aquatische Organismen wird der BCF meist experimentell durch Hälterungsversuche mit definierten Konzentrationen der Chemikalie im Wasser bestimmt. Unterschiede um etwa den Faktor 2 sind bei der experimentellen Bestimmung nicht ungewöhnlich. Die Akkumulation organischer Chemikalien ist direkt proportional zum Lipid/Wasser-Verteilungskoeffizienten ( $\log K_{OW}$ ). Zwischen dem BCF und dem  $\log K_{OW}$  der Chemikalien existiert damit eine direkte Proportionalität, so dass der BCF-Wert aus dem  $\log K_{OW}$ -Wert berechnet werden kann (Nagel und Loskil, 1991; Geyer et al., 1999). Die BCF-Werte verschiedener, synthetischer Moschus-Duftstoffe sind in Tab. 11 zusammengestellt.

**Tab. 11** Biokonzentrationsfaktoren (BCF) synthetischer Moschus-Duftstoffe

Verbindung	BCF [l/kg]	Organismus	Autor
<b>Nitromoschus-Duftstoffe</b>			
Moschus-Xylol	4100 1300 3800	R.	Yamagishi et al., 1983 Schramm et al., 1996 Rimkus et al., 1997
	1600 4200-5100 4000	Sonnenbarsch ( <i>Lepomis macrochirus</i> ) Regenbogenforelle ( <i>Onchorynchus mykiss</i> ) Fische	Rimkus et al., 1994 Rimkus et al., 1997 MITI, 1992
Moschus-Keton	1100 455 760	R.	Yamagishi et al., 1983 Schramm et al., 1996 Rimkus et al., 1997
	1380	Regenbogenforelle ( <i>Onchorynchus mykiss</i> )	van Dijk u.Burry, 1995
M.-Ambrette	646	R.	Schramm et al., 1996
M.-Mosken	1300	R.	Schramm et al., 1996
M.-Tibeten	1090	R.	Schramm et al., 1996
<b>Polycyclische Moschus-Duftstoffe</b>			
HHCB	20654 30000-38000	R.	v.d Plassche, Balk, 1997 Geyer et al., 1994
	1584 620 1700 2600 56000 44400	Sonnenbarsch ( <i>Lepomis macrochirus</i> ) Zebrabärbling ( <i>Brachydanio rerio</i> ) Aal ( <i>Anguilla anguilla</i> ) Rotfeder ( <i>Scardinius erythrophthalmus</i> ) Schleie ( <i>Tinca tinca</i> ) Muschel ( <i>Dreissenia polymorpha</i> )	van Dijk, 1996a Ewald, 1998 Gatermann, 1998
AHTN	13964 30000-38000	R.	van de Plassche und Balk, 1997 Geyer et al., 1994
	597 600 2400 5100 31600 40100	Sonnenbarsch ( <i>Lepomis macrochirus</i> ) Zebrabärbling ( <i>Brachydanio rerio</i> ) Aal ( <i>Anguilla anguilla</i> ) Rotfeder ( <i>Scardinius erythrophthalmus</i> ) Schleie ( <i>Tinca tinca</i> ) Muschel ( <i>Dreissenia polymorpha</i> )	Van Dijk, 1996b Ewald, 1998 Gatermann, 1998

R. = errechnet aus  $\log K_{OW}$

Aufgrund der höheren  $\log K_{OW}$ -Werte der polycyclischen Moschus-Duftstoffe gegenüber den Nitromoschus-Duftstoffen sind auch die berechneten BCF-Werte der Polycyclen höher als die der Nitromoschus-Duftstoffe. Für Nitromoschus-Duftstoffe konnten die errechneten Werte im Experiment in der Größenordnung bestätigt werden. Für polycyclische Moschus-Duftstoffe wurden dagegen im Experiment meist BCF-Werte ermittelt, die deutlich niedriger lagen als die berechneten Werte. In den Untersuchungen von van Dijk (1996a,b) wurde außerdem das Auftreten von nicht näher charakterisierten, wasserlöslichen Metaboliten im Hälterungswasser und auch im Fischgewebe beobachtet.

Gatermann et al. (1998) untersuchten die Biokonzentrationsfaktoren für HHCB und AHTN in verschiedenen Organismen aus dem Schönungsteich einer Kläranlage. Sie fanden gut übereinstimmende Ergebnisse zwischen verschiedenen Individuen einer Art, aber große Unterschiede zwischen den Arten (von 1.700 l/kg bei Aalen bis 44.000 l/kg bei Muscheln). Die unterschiedlichen BCF-Werte weisen auf einen artspezifischen Metabolismus von HHCB und AHTN hin (Gatermann et al., 1998; Rimkus, 1999). Die beiden polycyclischen Moschus-Duftstoffe wurden vermutlich schnell zu einem oder mehreren polaren Metaboliten umgesetzt und diese ins Wasser ausgeschieden (van Dijk, 1996 a,b).

## **2.5 Toxizität**

Zur Toxizität der synthetischen Moschus-Duftstoffe liegen bisher erst wenige Daten vor. Die meisten Untersuchungen wurden mit Moschus-Xylol durchgeführt. Erst in den letzten Jahren wurde auch die Toxizität der polycyclischen Moschus-Duftstoffe untersucht.

### **2.5.1 Aquatische Toxizität**

Die aquatische Toxizität synthetischer Moschus-Duftstoffe wurde im Rahmen von Umweltrisikooanalysen nach dem EU-TGD (= EU Technical Guidance Document) durch das niederländische RIVM-Institut (Rijksinstituut voor Volksgezondheid en Milieu) untersucht. Die akute Toxizität (EC50-Werte und LC50-Werte) war mit Konzentrationen zwischen 0,1 mg/l und >5,6 mg/l gering (Tab. 12). Die ermittelten Werte lagen nicht selten im Bereich der maximalen Wasserlöslichkeit der Substanzen und in der Regel zumeist deutlich über den in Abwasserproben gemessenen Konzentrationen. Auch bei kurzfristiger hoher Belastung (z. B. Abwassereinträge) ist eine akute toxische Wirkung von synthetischen Moschus-Duftstoffen auf die in Tab. 12 aufgeführten Organismen unwahrscheinlich.

Die chronische Toxizität wird u. a. durch den NOEC-Wert (= No Observed Effect Concentration) beschrieben, der in Langzeitversuchen ermittelt wird. Im Rahmen von Umweltrisikooanalysen wurde aus unabhängigen Versuchsreihen der PNEC-Wert (= Predicted No Observed Effect Concentration) errechnet, der bei den untersuchten Wasserorganismen zu keinen Effekten führen soll. Der PNEC-Wert errechnet sich aus dem niedrigsten NOEC-Wert dividiert durch einen Sicherheitsfaktor von 10 bzw. 50 (wenn zur Ermittlung der NOEC weniger als drei Versuchsreihen durchgeführt wurden).

Danach wurden für die untersuchten Substanzen folgende Konzentrationen errechnet:

PNEC (Moschus-Xylol)	= 1,1 µg/l
PNEC (Moschus-Keton)	= 6,3 µg/l
PNEC (AHTN)	= 3,5 µg/l
PNEC (HHCB)	= 6,8 µg/l

Die PNEC-Werte liegen um Größenordnungen über den in größeren Flüssen wie der Elbe und der Ruhr analysierten Konzentrationen. Nur in Berliner Gewässern mit hohem Abwasseranteil wurden die PNEC-Werte von HHCB und AHTN gelegentlich überschritten (vgl. Tab. 7). Synthetische Moschus-Duftstoffe stellen nach diesen Ergebnissen für die untersuchten aquatischen Organismen in den meisten Gewässern wahrscheinlich kein chronisch toxisches Risiko dar (van de Plassche und Balk, 1997).

**Tab. 12** Aquatische Toxizität synthetischer Moschus-Duftstoffe

Verbindung	Algen [mg/l] <i>Pseudokichneriella subcapita</i>	Daphnien [mg/l] <i>Daphnia magna</i>	Fische [mg/l] 1) <i>Onchorynchus mykiss</i> 2) <i>Lepomis macrochirus</i> 3) <i>Brachydanio rerio</i> 4) <i>Pimephales promelas</i>
<b>Nitromoschus-Duftstoffe</b> (Tas et al., 1997)			
Moschus-Xylol	NOEC > 5,6	EC50 > 5,6 NOEC = 0,32	1) LC50 > 1000 2) LC50 = 1,2 3) LC50 = 0,4 NOEC < 0,1
Moschus-Keton	EC50 = 0,118 NOEC = 0,088	EC50 = 0,338 – 0,675 NOEC = 0,169	1) LC50 > 0,5 NOEC = 0,125
<b>Polycyclische Moschus-Duftstoffe</b> (van de Plassche und Balk, 1997)			
HHCB	EC50 = 0,723 NOEC = 0,201	EC50 = 0,282 NOEC = 0,111	2) LC50 = 0,452 NOEC = 0,093 4) LC50 > 0,14 NOEC = 0,068
AHTN	EC50 = 0,468 – 0,835 NOEC = 0,276	EC50 = 0,244 NOEC = 0,196	2) LC50 = 0,314 NOEC = 0,089 4) LC 50 = 0,100 NOEC = 0,035

- EC50 (Effect Concentration) = Konzentration, bei der der gemessene Effekt 50 % beträgt  
 LC50 (Lethal Concentration) = Konzentration, bei der nach einmaliger Verabreichung 50 % der Tiere sterben  
 NOEC (No Observed Effect Concentration) = höchste Konzentration, bei der auch nach längerer Expositionszeit keine signifikanten Effekte zu beobachten sind.

Bei der Beurteilung des toxischen Risikos synthetischer Moschus-Duftstoffe für aquatische Ökosysteme müssen nach neueren Forschungsergebnissen auch die Abbauprodukte einbezogen werden, die während der Abwasserreinigung entstehen. Das in para-Stellung reduzierte Moschus-Xylol-Derivat (4-Amino-Moschus-Xylol) wurde beispielsweise im Ablauf von Kläranlagen in 4-40fach höherer Konzentration als Moschus-Xylol nachgewiesen (Gatermann et al., 1998). Auch in Wasser-, Sediment- und Biotaprobe wurde diese Verbindung in hohen Konzentrationen gefunden (Rimkus et al., 1999).

4-Amino-Moschus-Xylol ist hochtoxisch und mit einem EC50-Wert von 0,00025 mg/l im Daphnientest etwa 100fach toxischer als Moschus-Xylol (Behechti et al., 1998). Dies Ergebnis konnte allerdings in neueren Untersuchungen nicht bestätigt werden. Salvito (2000) ermittelte für 4-Amino-Moschus-Xylol lediglich einen EC50-Wert von 0,82- $<$ 0,93 mg/l. Auch Schramm (2000) war nicht in der Lage, das Ergebnis von Behechti et al. (1998) zu reproduzieren. Daher ist zu vermuten, dass die zunächst beschriebene hohe Toxizität von 4-Amino-Moschus-Xylol auf eine chemische Verunreinigung der Testsubstanz zurückzuführen war (Putt, 1999; Salvito, 2000; Schramm, 2000). Weitere Untersuchungen zur Toxizität der Aminoderivate sind daher notwendig, um das Risiko durch synthetische Moschus-Duftstoffe und deren Metaboliten abschätzen zu können.

## 2.5.2 Humantoxizität

Die akute Toxizität der Moschus-Duftstoffe bei Aufnahme über die Nahrung und die Haut ist gering. Sie liegt für Ratte und Maus im Bereich von einigen Gramm pro kg Körpergewicht (Ford, 1998).

Subakute und chronische Toxizität: Für viele synthetische Moschusverbindungen liegen derzeit noch keine vollständigen Bewertungen ihrer Toxizität für den Menschen vor. Einzelne Verbindungen können zu allergischen Reaktionen führen. Hierzu zählen Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Moschus-Ambrette. Für HHCB und AHTN wurden beim Menschen bislang keine allergischen Reaktionen beobachtet (Ford, 1998). Bei Meerschweinchen bzw. Kaninchen führten HHCB und AHTN unter Lichteinwirkung zu Hautschädigungen (Ford, 1998).

Für HHCB, AHTN und ADBI wurden bislang keine neurotoxischen Wirkungen beschrieben. Moschus-Ambrette und AHTN führten dagegen bei Ratten zu Schädigungen des Nervensystems (Spencer et al., 1979; Ford et al., 1990). Moschus-Ambrette bewirkte bei männlichen Ratten außerdem krankhafte Veränderungen der Hoden (Hodenatropie: krankhafte Veränderung der Hodenkanälchen, die zu Störungen bei der Reifung der Samenzellen führen können), wobei noch nicht untersucht wurde, ob Moschus-Ambrette auch Hormonwirkung hat.

Untersuchungen zur Mutagenität (Ames-Test) von Moschus-Keton und Moschus-Xylol ergaben, dass diese Substanzen keine Mutagenität zeigten (Api et al., 1995; Mersch-Sundermann et al., 1996; Api et al., 1996). Moschus-Ambrette schädigte dagegen die Erbsubstanz. HHCB und AHTN hatten in verschiedenen Testsystemen keine mutagenen Eigenschaften (Ford, 1998; Mersch-Sundermann, 1998). Von den untersuchten synthetischen Moschus-Duftstoffen muss daher lediglich Moschus-Ambrette als mutagen bewertet werden.

Die Kanzerogenität synthetischer Moschus-Duftstoffe wurde bislang noch nicht hinreichend untersucht. Moschus-Xylol konnte bei der Ratte verschiedene Enzymsysteme aktivieren (Monooxygenasen), die Prägenotoxine wie Benzo(-a-)pyren oder 2-Aminoanthracen toxisieren (Mersch-Sundermann et al., 1996). Außerdem ist derzeit noch unklar, ob die durch partielle Metabolisierung von Moschus-Xylol gebildeten aromatischen Amine eine krebserzeugende Wirkung ausüben können.

Maekawa et al. (1990) führten Fütterungsversuche mit Mäusen durch. Über einen Zeitraum von 80 Tagen wurden den Tieren mit dem Futter täglich hohe Dosen Moschus-Xylol (90 bzw.



170 mg/kg Körpergewicht und Tag) verabreicht. Nach Versuchsende konnten die Autoren bei den Mäusen ein erhöhtes Auftreten von Lebertumoren im Vergleich zu einer Kontrollgruppe nachweisen. Moschus-Xylol kann somit als potenzielles Karzinogen eingestuft werden. Aus diesen Ergebnissen wurde eine Virtuell Sichere Dosis (VSD) von 300 ng/kg Körpergewicht (Maus) errechnet (Kokot-Helbig et al., 1995). Die VSD beschreibt dabei die Menge eines Stoffes, die bei täglicher Aufnahme zu einem Risiko von  $1:10^6$  für das Auftreten von Lebertumoren führt. Die biologische Halbwertszeit von Moschus-Xylol beträgt bei der Maus etwa einen Tag. Versuche mit menschlichen Probanden zeigten, dass die Halbwertszeit beim Menschen für Moschus-Xylol etwa 70-100 Tage beträgt (Kokot-Helbig et al., 1995; Riedel und Dekant, 1999). Daher kann für den Menschen von einer VSD von 3 ng/kg Körpergewicht ausgegangen werden.

Für andere synthetische Moschus-Duftstoffe liegen bislang keine Ergebnisse vor, um das Verbraucherrisiko abzuschätzen oder sogar eine VSD bzw. eine ADI (Acceptable Daily Intake, d. h. diejenige Menge einer Substanz, deren tägliche Aufnahme über die gesamte Lebenszeit eines Menschen als unbedenklich angesehen wird) anzugeben.

### 2.5.3 Gesetzliche Bestimmungen und Richtwerte

Bislang gibt es nur wenige gesetzliche Bestimmungen für die Verwendung synthetischer Moschus-Duftstoffe. Das ist vor allem darauf zurückzuführen, dass die ubiquitäre Verbreitung und das Bioakkumulationspotenzial dieser Stoffklasse erst in den letzten Jahren durch eine Reihe von Untersuchungen aufgezeigt werden konnten. Daher liegen bisher auch nur wenige toxikologische Untersuchungen vor (Brunn und Rimkus, 1997).

#### 2.5.3.1 Synthetische Nitromoschus-Duftstoffe

**Moschus-Ambrette** wurde aufgrund seiner nachgewiesenen phototoxischen, neurotoxischen und mutagenen Eigenschaften 1994 von der IFRA (International Fragrance Association), einer von der Riechstoffindustrie getragenen Institution, aus der Liste der zu verwendenden Duftstoffe gestrichen (Gebauer und Bouter, 1997). Die EU-Kommission verfügte in der Achtzehnten Richtlinie (95/34/EG) vom 10. Juli 1995 ein Verbot dieses Stoffes. In der Bundesrepublik Deutschland wurde daraufhin in der „Vierundzwanzigsten Verordnung zur Änderung der Kosmetik-Verordnung“ (BGBl I, 1995) ein Produktionsverbot für Moschus-Ambrettehaltige Kosmetika zum 30. 06. 1996 mit anschließendem Verkaufsverbot nach dem 30. 06. 1997 erlassen. Seit dem 1. Juli 1997 ist Moschus-Ambrette in der Bundesrepublik Deutschland verboten.

Auch die Verwendung von **Moschus-Mosken** und **Moschus-Tibeten** wurde inzwischen durch die EU-Kommission verboten (23. Richtlinie 98/62/EG vom 3. September 1998). Daraufhin wurde in der Bundesrepublik Deutschland in der „Achtundzwanzigsten Verordnung zur Änderung der Kosmetik-Verordnung“ (BGBl I, 1998) ein Produktionsverbot für Moschus-Mosken- und Moschus-Tibetenhaltige Kosmetika zum 30. 06. 1999 mit anschließendem Verkaufsverbot nach dem 30. 06. 2000 erlassen. Seit dem 1. Juli 2000 sind auch Moschus-Mosken und Moschus-Tibeten in der Bundesrepublik Deutschland verboten.

**Moschus-Xylol** wurde in Japan bereits 1982 aufgrund seines Bioakkumulationspotenzials verboten (Mingishi et al., 1991). In Deutschland wurde nach der Analyse von Moschus-Xylol in verschiedenen Fischarten zunächst im Jahr 1992 in einer Bund-Länder-Vereinbarung ein Eingriffswert von 10 µg/kg Frischgewicht für Moschus-Xylol in Fischen festgelegt (Bundestagsdrucksache 13/487), der jedoch nicht rechtsverbindlich im Sinne einer Höchstmenge und auch nicht toxikologisch begründet war. Nachdem Untersuchungen gezeigt hatten, dass Moschus-Xylol sich in der Nahrungskette anreichert, hat der deutsche Industrieverband Körperpflege- und Waschmittel (IKW) seinen Mitgliedern am 27. 07. 1993 empfohlen, auf diese Substanz in Haushalts-, Wasch- und Reinigungsmitteln sowie bei der Neuentwicklung von Körperpflegemitteln zu verzichten. Bei auf dem Markt angebotenen Kosmetika sollte diese Substanz ausgetauscht werden. Die endgültige toxikologische Bewertung von Moschus-Xylol ist noch offen. Auf EU-Ebene ist Moschus-Xylol 1997 den prioritären Stoffen, die Maßnahmen zur Emissionsminderung erforderlich machen, zugeordnet worden. 1998 wurde Moschus-Xylol auch in die Liste der OSPARCOM für gefährliche Stoffe aufgenommen, für die besonders dringliche Maßnahmen zur Emissionsminderung ergriffen werden sollten. Zur Zeit wird noch geprüft, ob außer Moschus-Xylol noch weitere synthetische Moschus-Duftstoffe als prioritär im Sinne der OSPAR-Einordnung anzusehen sind.

### **2.5.3.2 Synthetische polycyclische Moschus-Duftstoffe**

**Versalide® (ATTN)** wird aufgrund der festgestellten stark neurotoxischen Wirkung seit 1980 nicht mehr produziert und gehandelt.

Für die anderen polycyclischen Moschus-Duftstoffe gibt es bisher keine Regelungen. Allerdings ergeben vorliegende toxikologische Daten keine Hinweise auf ein vorhandenes Verbraucherrisiko (Ford, 1998). Dennoch ist eine Verringerung des Einsatzes dieser Stoffe aufgrund des hohen Bioakkumulationspotenzials zu fordern.

### **2.5.3.3 Ausblick**

Als Maßnahmen für die Regelung des Einsatzes synthetischer Moschus-Duftstoffe werden heute keine Höchstmengen für diese Stoffe in Lebensmitteln mehr diskutiert. Statt dessen sollen Höchstmengen für Kosmetika festgelegt werden, um die Exposition des Menschen gegenüber diesen Stoffen zu begrenzen (Rimkus, persönl. Mitteilung). In der Schweiz wurden 1996 Höchstmengen für Nitromoschus-Duftstoffe in Kosmetika festgelegt, wobei folgende Mengen festgesetzt wurden: in Hautpflegeprodukten (Emulsion, Deodorant etc.) = 50 mg/kg Fertigprodukt, in wässrig alkoholischen Produkten (Rasierwasser etc.) = 200 mg/kg Fertigprodukt, in alkoholischen Produkten (Eau de Cologne, Eau de Parfüm etc.) = 500 mg/kg Fertigprodukt, für Parfüms wurden keine Höchstmengen benannt. Nach Informationen des Bundesgesundheitsamtes der Schweiz wird daran gearbeitet, bei den Höchstmengen für Nitromoschus-Duftstoffe zu differenzieren: Es ist geplant, die Höchstmengen für Moschus-Keton heraufzusetzen, während die bestehenden für Moschus-Xylol weiter Gültigkeit behalten sollen. Im Falle einer EU-Entscheidung bezüglich der Moschus-Duftstoffe plant die Schweiz, diese zu übernehmen (BAG Schweiz, persönl. Mitteilung).

Für Oberflächenwasser, Schwebstoffe und Sedimente gibt es bis heute keine Zielvorgaben, die eine Klassifizierung ermöglichen würden.

### **3 Synthetische Moschus-Duftstoffe in der Elbe**

In den letzten Jahren wurden verschiedene Untersuchungen durchgeführt, um das Vorkommen synthetischer Moschus-Duftstoffe im deutschen Abschnitt der Elbe zu charakterisieren. Zwischen 1994 und 1999 veranlasste die ARGE ELBE die Analyse der Gehalte von Nitromoschus-Duftstoffen in verschiedenen Fischarten von insgesamt 20 Fangorten. Außerdem wurden in den Jahren 1996-1999 von bis zu 12 Messstellen der ARGE ELBE Wasserproben (1996/1997) bzw. schwebstoffbürtige Sedimente (1998/1999) analysiert. Die einzelnen Messstellen bzw. Fangorte waren dabei über den gesamten Längsschnitt der Elbe verteilt, so dass sich gegebenenfalls der Einfluss von einmündenden Nebenflüssen auf die Moschus-Gehalte der Elbe erfassen ließ.

Zunächst erfolgte im Jahr 1994 im Rahmen einer großangelegten Untersuchung zur Schadstoffbelastung von Elbefischen die Analyse der Nitromoschus-Duftstoffe Moschus-Xylol und Moschus-Keton. Dabei wurde das Muskelfleisch von Brassen, Zandern und Aalen verschiedener Fangorte untersucht, die über das gesamte Längsprofil der Elbe verteilt waren. Die Ergebnisse dieser Bestimmungen wurden bereits 1996 zusammen mit den Gehalten von chlororganischen Verbindungen und Schwermetallen im Bericht der ARGE ELBE „Schadstoffe in Elbefischen – Belastung und Vermarktungsfähigkeit von der Grenze bis zur See“ veröffentlicht (Gaumert, 1996). Auch 1995, 1997 und 1998 wurden die Gehalte der Nitromoschus-Duftstoffe von Aalen einzelner Fangorte der Elbe bestimmt. Im Jahr 1999 wurden, analog zu den Analysen von 1994, über das gesamte Längsprofil der Elbe Aale und Zander untersucht, wobei im Jahr 1999 teilweise andere Fangorte gewählt wurden als 1994. Im vorliegenden Bericht werden die Gehalte synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe von Fischen aus dem Jahr 1994 mit den Ergebnissen der Jahre 1995-1999 verglichen und diskutiert.

Außerdem wurden von Januar 1996 bis Januar 1997 in Wasserproben die Konzentrationen zweier polycyclischer Moschus-Duftstoffe ermittelt. Aufgrund zahlreicher Positivbefunde in Fischen und Wasserproben aus den Jahren 1994-1997 ging man seit Januar 1998 dazu über, das Vorkommen synthetischer Nitromoschus- und polycyclischer Moschus-Duftstoffe auch in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe zu erfassen, weil wegen des relativ stark hydrophoben Charakters aller Moschus-Verbindungen ihre Bindung an Feststoffpartikel erwartet werden konnte. Der Vorteil dieser Untersuchungen lag zudem darin, dass Mischproben von einem längeren Probenahmezeitraum untersucht und damit Durchschnittswerte ermittelt wurden.

## **3.1 Material und Methoden**

### **3.1.1 Probenahme und Messstellen**

#### **3.1.1.1 Wasserproben**

Die Wasserproben wurden in der Regel vom Ufer als Einzelproben mittels eines Teflon-Wasserschöpfers mit eingespannter Zweiliterflasche oberflächennah (30-50 cm unter der Wasseroberfläche) entnommen. Sie wurden weder filtriert noch angesäuert und bis zur Bestimmung bei 4 °C gelagert.

Die Elbemesstellen waren: Schmilka (Strom-km 4,1), Magdeburg (Strom-km 318,1), Schnackenburg (Strom-km 475,5), Seemannshöft (Strom-km 628,8) und Grauerort (Strom-km 660,5). Außerdem wurden die Mündungsbereiche der Mulde an der Messstelle Dessau (7,6 km oberhalb der Einmündung in die Elbe) und der Saale an der Messstelle Rosenberg (4,5 km oberhalb der Einmündung in die Elbe) beprobt.

Im Raum Leipzig wurden im Rahmen von Sonderuntersuchungen aus den folgenden Gewässern Proben entnommen: Faule Pfütze, Neue Gösel, Pleiße (Gütepegel), Neue Luppe, Weiße Elster (Gütepegel), Lober, Vereinigte Mulde (Gütepegel), Buna: FA-Kanal, Buna: K+R-Kanal 2. Außerdem wurden die Abläufe der Kläranlagen MUE-GmbH, Leipzig-Rosenthal und Delitzsch beprobt.

#### **3.1.1.2 Schwebstoffbürtige Sedimente**

Zur Gewinnung der schwebstoffbürtigen Sedimente wurden an verschiedenen Messstellen der Elbe und im Mündungsbereich ausgewählter Nebenflüsse Sedimentationskammern aus Acrylglas installiert. Das Wasser tritt über eine Öffnung in die Sedimentationskammer ein und wird auf ca. 1 cm/s strömungsberuhigt. Dabei sedimentieren 20-30 % des Schwebstoffs und sammeln sich am Fuße einer schiefen Ebene. Das Absetzverhalten soll die Schwebstoffsedimentation in Hafenbecken und Bühnenfeldern simulieren (Stachel et al., 1995). Aus der Sedimentationskammer wurden monatlich Proben entnommen und bis zur Analyse bei 4 °C gelagert. Proben von zwei aufeinanderfolgenden Monaten wurden vereinigt und als Zwei-monatsmischprobe analysiert.

Die Messstellen waren: Schmilka (Strom-km 4,1), Domnitzsch (Strom-km 172,6), Gorsdorf (Schwarze Elster, 3,8 km oberhalb der Einmündung in die Elbe); Dessau (Mulde, 7,6 km oberhalb der Einmündung in die Elbe), Rosenberg (Saale, 4,5 km oberhalb der Einmündung in die Elbe), Magdeburg (Strom-km 318,1), Schnackenburg (Strom-km 475,5), Bunthaus (Strom-km 609,8), Seemannshöft (Strom-km 628,8) und Grauerort (Strom-km 660,5).

#### **3.1.1.3 Oberflächennahe Sedimente**

Im Rahmen von Sonderuntersuchungen wurden Sedimente der Saale beprobt. Die Sedimentproben wurden mittels eines Van-Veen-Greifens oberflächennah entnommen (0-10 cm Tiefe). Nach Transport in Kühlbehältern wurden sie bis zur Analyse tiefgefroren.

Die Beprobungsstellen der Saale waren: Meuscha, Planea, Ammendorf und Trotha.

### 3.1.1.4 Fische

#### 3.1.1.4.1 Brassen (*Abramis brama*)

Für ein passives Biomonitoring werden durch die ARGE ELBE seit 1979 Brassen (*Abramis brama*) untersucht. Der Brassen dient als Monitoringfisch, da er an fast jedem Ort in großen Mengen gefangen werden kann und sich zudem durch eine hohe Standorttreue auszeichnet (geschätzter Aktionsradius etwa 15 km). Die Schadstoffgehalte im Fisch stellen somit ein relatives Maß der Schadstoffkonzentrationen am Fangort dar (Gaumert, 1996). Im Jahr 1994 wurden im Längsprofil der Elbe Brassen im Hafen Prossen (Strom-km 13) und bei Wahrenberg (Strom-km 458) mit einem Elektrofischfanggerät, im Winterhafen Meißen (Strom-km 83) und bei Klöden/Gallin (Strom-km 205,5) mit Stellnetzen oder einer Angel und bei Gorleben (Strom-km 492) mit Scherbretthamen gefangen. Bei Moorburg (Strom-km 618), im Mühlenberger Loch (Strom-km 634), bei Fähmannssand (Strom-km 645), in der Haseldorfer Binnenelbe (Strom-km 655) und bei Glückstadt (Strom-km 675) wurden die Brassen mittels Grundschleppnetz gefangen. Zur Ermittlung eines Hintergrundwertes wurden 1996 Brassen aus dem Belauer See (Schleswig Holstein) und 1999 aus dem Flögelner See (Niedersachsen) entnommen. Analysiert wurde jeweils der essbare Anteil (Muskulaturhomogenate) von 15 in Größe, Gewicht und Alter möglichst gut übereinstimmenden Individuen.

Die Fische wurden einzeln und ungeschlachtet in Polyethylenbeuteln verpackt und bis zur Analyse tiefgefroren.

#### 3.1.1.4.2 Zander (*Stizostedion lucioperca*) und Aal (*Anguilla anguilla*)

Die beiden wirtschaftlich bedeutenden Fischarten Zander (*Stizostedion lucioperca*) und Aal (*Anguilla anguilla*) wurden mehrfach auf ihren Schadstoffgehalt und ihre Vermarktungsfähigkeit untersucht. In den Jahren 1994-1999 wurden Aale und Zander an den nachstehend aufgeführten Fangorten mit folgenden Methoden gefangen: Im Hafen Prossen (Strom-km 13) und Winterhafen Meißen (Strom-km 83) mit einem Elektrofischfanggerät und Stellnetzen, bei Klöden/Gallin (Strom-km 205,5) und Wahrenberg (Strom-km 458) mit einem Elektrofischfanggerät und Stellnetzen bzw. mit einem Elektrofischfanggerät und Reusen, bei Gorleben (Strom-km 492) mit Scherbretthamen und einem Elektrofischfanggerät, bei Boizenburg/Barförde (Strom-km 562) mit einem Elektrofischfanggerät und Reusen, im Hamburger Hafen (Dradenauhafen, Strom-km 626) und in der Pagensander Nebanelbe (Strom-km 663) mit einem Grundschleppnetz, bei Moorburg (Strom-km 618) und Hohnstorf (Strom-km 567) mit Reusen, sowie bei Brunsbüttel (Strom-km 692) mit einem Hamenkutter.

Die Fische wurden einzeln und ungeschlachtet in Polyethylen-Beuteln verpackt und bis zur Analyse tiefgefroren.

## **3.1.2 Analytik**

### **3.1.2.1 Wasserproben**

Aus einem Liter Wasser wurden die synthetischen Moschus-Duftstoffe zweimal mit jeweils 50 ml n-Hexan extrahiert. Die organischen Phasen wurden vereinigt, über wasserfreiem Natriumsulfat getrocknet und bei 250 mbar auf 50-100 µl eingeengt. Der Extrakt wurde gaschromatografisch (SE 54 Kapillartrennsäule mit Flammenionisationsdetektor = GC/FID) und massenspektrometrisch analysiert (GC/MSD).

### **3.1.2.2 Schwebstoffbürtige und oberflächennahe Sedimente**

30-50 g der luftgetrockneten Probe wurden mit ca. 2 g wasserfreiem Natriumsulfat verrieben. Die anschließende Soxhlet-Extraktion wurde mit 200 ml Toluol für 8 Stunden durchgeführt. Der abgekühlte Toluolextrakt wurde anschließend durch Glaswatte filtriert. Die Aufreinigung erfolgte durch Adsorptionschromatografie mit Kieselgelsäulen (Toluol wurde zuvor durch Iso-Octan ersetzt).

Die Trennung erfolgte gaschromatografisch (30 m HP 5 MS Kapillartrennsäule mit Flammenionisationsdetektor). Das Injektionsvolumen betrug 2 µl. Die massenspektrometrische Detektion erfolgte im SIM-Mode (Selected Ion Monitoring-Modus) mit den substanzspezifischen Fragmentationen (Lach und Steffen, 1997).

### **3.1.2.3 Fische**

Die Fische wurden filetiert und bis zur weiteren Aufarbeitung in flüssigem Stickstoff gelagert. Die Entnahme der Muskulaturproben, das Mahlen und Homogenisieren der Proben mittels Kryomühle wurden gemäß den Anforderungen der Umweltprobenbank des Bundes (vgl. Klein und Paulus, 1995) durchgeführt. 5 g der homogenisierten Fischprobe wurden mit 30 g wasserfreiem Natriumsulfat verrieben und mit 100 ml einer Mischung von n-Hexan und Aceton (9:1) für 2,5 Stunden in einer Soxhlet-Apparatur extrahiert. Die Aufreinigung mit n-Hexan/Ethylacetat (1:1) (Entfernung der hochmolekularen Lipid-Matrix) erfolgte mittels Gelpermeationschromatografie mit integrierter UV-Detektion bei 254 nm.

Die weitere Aufreinigung mit Kieselgelsäulen, die Trennung mit Hilfe der Gaschromatografie und die massenspektrometrische Detektion erfolgten analog zu 3.1.2.2.

## **3.1.3 Berechnungen**

Im Rahmen des vorliegenden Untersuchungsberichtes wurden die Analysenergebnisse nach Fooker et al. (1997) statistisch ausgewertet. Bei weniger als 11 Proben wurde der arithmetische Mittelwert errechnet. Dabei wurden Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze mit dem halben Wert der Bestimmungsgrenze in die Berechnungen einbezogen. Wenn mehr als die Hälfte der Werte unterhalb der Bestimmungsgrenze lagen, wurde kein Mittelwert berechnet. Bei höheren Probenzahlen von  $n \geq 11$  wurde der Medianwert gebildet.

## 3.2 Ergebnisse: Synthetische Nitromoschus-Duftstoffe

### 3.2.1 Schwebstoffbürtige Sedimente

Aus dem Routinemessprogramm der ARGE ELBE liegen aus den Jahren 1998 und 1999 erste orientierende Ergebnisse über die Gehalte verschiedener Nitromoschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten vor. Dabei wurden Zweimonatsmischproben der Elbemesststellen Schmilka, Domnitzsch, Bunthaus, Schnackenburg, Seemannshöft und Grauerort sowie der Messstellen Gorsdorf an der Schwarzen Elster, Rosenburg an der Saale und Dessau an der Mulde untersucht. Die analytische Bestimmungsgrenze lag für alle untersuchten Nitromoschus-Duftstoffe bei 0,5 µg/kg TM. Die Einzelergebnisse der Analysen sind im Anhang, Tab. A 4 zusammengestellt. Moschus-Xylol wies in 44 % und Moschus-Keton in 64 % der untersuchten Feststoffproben Positivbefunde auf. Moschus-Ambrette, Moschus-Tibeten und Moschus-Mosken waren in keiner Probe nachweisbar. Daher werden diese Verbindungen nachfolgend nicht aufgeführt.

#### 3.2.1.1 Moschus-Xylol

Moschus-Xylol wurde im Elbeabschnitt von der tschechischen Grenze bis zur Messstelle Magdeburg in etwa zwei Drittel der untersuchten Feststoffproben bestimmt. Die höchsten Gehalte wurden jeweils in den Wintermonaten ermittelt (Probe Nov./Dez. bzw. Jan./Feb.). Im tidebeeinflussten Bereich der Elbe wurde Moschus-Xylol noch vereinzelt und nur in den Wintermonaten nachgewiesen (Tab. 13, Tab. A 4).

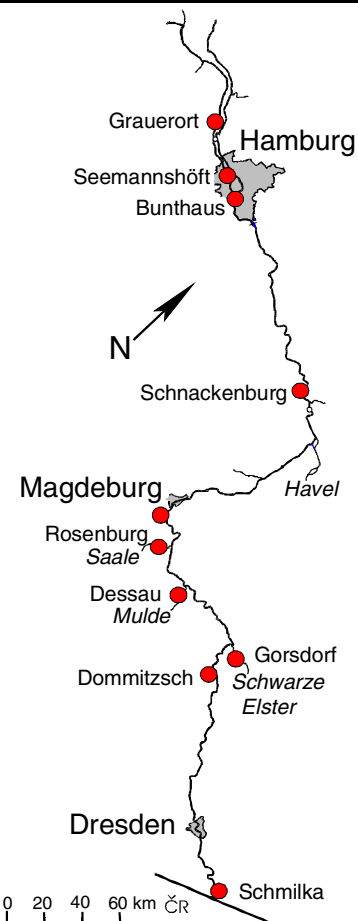
Die Jahresmittelwerte von 1998 und 1999 zeigten an allen Messstellen nur geringe Unterschiede. Daher wird die Verteilung von Moschus-Xylol im Längsverlauf der Elbe anhand der Mittelwerte für 1999 beschrieben. Außerdem werden die Maximalwerte diskutiert.

Im Längsprofil der Elbe wurde der höchste Moschus-Xylol-Gehalt an der Messstelle Schmilka mit einem Maximalwert von 4,8 µg/kg TM bestimmt, der Jahresmittelwert betrug 2,3 µg/kg TM. In der Probe von Nov./Dez. 1999 wurde an dieser Messstelle ein Moschus-Xylol-Gehalt von 16 µg/kg TM analysiert, der als „Ausreißerwert“ eingestuft wurde und nicht in die Mittelwertberechnung einging. Aus den vorliegenden Befunden wird deutlich, dass die Schwebstoffe der Elbe bereits beim Übertritt aus der Tschechischen Republik einen hohen Gehalt an Moschus-Xylol enthielten, der vermutlich auf Abwassereinleitungen im tschechischen Elbeabschnitt zurückzuführen war. An der stromab von Schmilka gelegenen Messstelle Domnitzsch war der Gehalt von Moschus-Xylol in den schwebstoffbürtigen Sedimenten mit einem Maximalwert von 1,9 µg/kg TM und einem Jahresmittelwert von 1,2 µg/kg TM deutlich geringer als an der Messstelle Schmilka.

Im Mündungsbereich der Schwarzen Elster (Messstelle Gorsdorf) wurde Moschus-Xylol in den meisten Proben nachgewiesen. Der Maximalwert betrug 3,5 µg/kg TM, als Jahresmittelwert wurden 1,2 µg/kg TM ermittelt. Auch im Mündungsbereich der Mulde (Messstelle Dessau) war Moschus-Xylol regelmäßig nachweisbar. Der Maximalgehalt betrug hier 2,5 µg/kg TM, der Jahresmittelwert wurde mit 1,1 µg/kg TM errechnet. Diese Positivbefunde zeigen, dass mit den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Schwarzen Elster und der Mulde Moschus-

Xylol in die Elbe transportiert wurde. An der Messstelle Rosenberg (Saale) wurde diese Verbindung in den schwebstoffbürtigen Sedimenten dagegen nur vereinzelt nachgewiesen.

**Tab. 13** Gehalt von Moschus-Xylol [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ] in schwebstoffbürtigen Sedimenten verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale von Januar 1998 bis Dezember 1999 (Zweimonatsmischproben)

Elbe/ Nebenflüsse	Messstellen (Strom-km)	Anzahl der Werte <sup>1</sup> >BG <sup>2</sup>		Maximum [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ]		Mittelwert [ $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ]		
		1998	1999	1998	1999	1998	1999	
	Grauerort (660,5)	1	0	0,8	<BG	-	-	
	Seemannshöft (628,8)	1	0	0,9	<BG	-	-	
	Bunthaus (609,8)	1	1 <sup>4</sup>	0,4	1,1	-	-	
	Schnackenburg (475,5)	2	2	0,9	2,9	-	-	
	Magdeburg (318,1)	4	3	1,1	1,4	0,7	0,6	
	Rosenburg, Saale (4,5) <sup>3</sup>	2	2	1,0	0,8	-	-	
	Dessau, Mulde (7,6) <sup>3</sup>	4	4	1,5	2,5	0,8	1,1	
	Gorsdorf, Schwarze Elster (3,8) <sup>3</sup>	3	4	4,5	3,5	1,4	1,2	
	Dommitzsch (172,6)	4	5	5,3	1,9	1,6	1,2	
	Schmilka (4,1)	5	4 <sup>4</sup>	2,6	4,8	1,5	2,3	
					Ausreißer: 16			

<sup>1</sup>Sechs Untersuchungen pro Jahr; <sup>2</sup>BG = Bestimmungsgrenze = 0,5  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$ ; TM = Trockenmasse; <sup>3</sup>km oberhalb der Einmündung ; <sup>4</sup>Ergebnisse von 5 Untersuchungen; - = mehr als 50% der Werte <BG, daher kein Mittelwert berechnet

Nach der Einmündung der Nebenflüsse Schwarze Elster, Mulde und Saale war der Moschus-Xylol-Gehalt in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe (Messstelle Magdeburg) mit einem maximalen Gehalt von 1,4  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$  und einem Jahresmittelwert von 0,6  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$  deutlich geringer als an der Messstelle Dommitzsch. Nach diesen Ergebnissen führte das aus den Nebenflüssen in die Elbe eingetragene Moschus-Xylol zu keiner messbaren Erhöhung des Moschus-Xylol-Gehaltes in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe. An den Messstellen Schnackenburg und Bunthaus wurde nur vereinzelt Moschus-Xylol nachgewiesen, wobei der maximale Gehalt bei Schnackenburg 2,9  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$  und bei Bunthaus 1,1  $\mu\text{g}/\text{kg TM}$  betrug. Aufgrund der geringen Zahl an Positivbefunden wurde für diese Messstellen kein Mittelwert errechnet. An den Messstellen Seemannshöft und Grauerort war Moschus-Xylol im Jahre 1999 in keiner Probe vorhanden.



Diese Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen. Das Moschus-Xylol der schwebstoffbürtigen Sedimente wurde zu einem hohen Anteil bereits in der Tschechischen Republik in die Elbe eingetragen. Die im tschechischen Elbeabschnitt erfolgten Abwassereinleitungen stellten damit die bedeutendste Eintragsquelle für Moschus-Xylol in die Elbe dar. Die Gehalte im Mündungsbereich der Nebenflüsse belegen, dass auch auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gewisse Mengen an Moschus-Xylol in die Elbe eingebracht wurden. Die in den Jahren 1998 und 1999 gefundenen geringen Moschus-Xylol-Gehalte der schwebstoffbürtigen Sedimente im Mündungsabschnitt von Mulde, Saale und Schwarze Elster sind vermutlich auf einen niedrigeren Moschus-Xylol-Gehalt der Produkte in der Bundesrepublik Deutschland gegenüber dem von Produkten in der Tschechischen Republik zurückzuführen. Dies ist eine Folge der Empfehlung des deutschen Industrieverbandes Körperpflege und Waschmittel von 1993, auf die Verwendung von Moschus-Xylol in Produkten künftig zu verzichten. Für die Tschechische Republik gibt es bislang keine derartige Empfehlung, so dass davon auszugehen ist, dass Moschus-Xylol unverändert Waschmitteln und anderen Produkten zugesetzt wurde. Daher war vermutlich der Gehalt dieser Verbindung in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Messstelle Schmilka relativ hoch. Stromab der Messstelle Schmilka nahm der Moschus-Xylol-Gehalt in den schwebstoffbürtigen Sedimenten ab. Die geringen Gehalte in der Untereibe waren vermutlich auf den zusätzlichen Einfluss der Tide zurückzuführen.

### **3.2.1.2 Moschus-Keton**

Moschus-Keton wurde im Elbeabschnitt von der tschechischen Grenze bis zur Messstelle Magdeburg in etwa drei Viertel der Proben schwebstoffbürtiger Sedimente nachgewiesen, wobei der Gehalt in der Regel höher lag als der von Moschus-Xylol (Tab. 14). Der höchste Gehalt an Moschus-Keton wurde wie bei Moschus-Xylol jeweils in den Wintermonaten ermittelt (Probe Nov./Dez. bzw. Jan./Feb., vgl. Tab. A 4).

Die Jahresmittelwerte für Moschus-Keton waren 1999 an allen Messstellen mit Ausnahme von Magdeburg geringer als 1998. Dies dürfte eine Folge der fortschreitenden Substitution der Nitromoschus-Duftstoffe in Produkten des täglichen Bedarfs sein (Gebauer und Bouter, 1997, Bester et al., 1998). Untersuchungen der Zeitschrift ÖKO-TEST zeigten, dass im Jahr 1999 ein deutlich geringerer Anteil der Produkte des deutschen Marktes Nitromoschus-Duftstoffe enthielt als noch 1994 (Tab. 4). Auch der Rückgang der europäischen Produktionsmengen von Moschus-Keton von 124 t im Jahr 1992 auf 61 t im Jahr 1995 und 40 t im Jahr 1998 (Muermann, pers. Mitt.) belegt die rückläufige Verwendung von Verbindungen dieser Duftstoffklasse.

Im Längsverlauf der Elbe wurden die höchsten Moschus-Keton-Gehalte analog zu Moschus-Xylol an der Messstelle Schmilka ermittelt. Die Jahresmittelwerte betragen für Moschus-Keton 2,3 µg/kg TM (1998) bzw. 1,4 µg/kg TM (1999). Weiter stromab, an der Messstelle Dommitzsch, wurde gegenüber Schmilka eine Abnahme des Moschus-Keton-Gehaltes gefunden (Mittelwerte: 1,4 µg/kg TM (1998) und 0,98 µg/kg TM (1999)).

**Tab. 14** Gehalt von Moschus-Keton [ $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM] in schwebstoffbürtigen Sedimenten verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale von Januar 1998 bis Dezember 1999 (Zweimonatsmischproben)

Elbe/ Nebenflüsse		Anzahl der Werte <sup>1</sup> >BG <sup>2</sup>		Maximum [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM]		Mittelwert [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ TM]	
		1998	1999	1998	1999	1998	1999
	Messstellen (Strom-km)						
	Grauerort (660,5)	5	1	1,1	0,6	0,7	-
	Seemannshöft (628,8)	2	0	0,5	<BG	-	-
	Bunthaus (609,8)	4	2 <sup>4</sup>	2,7	1,2	0,8	-
	Schnackenburg (475,5)	4	3	3,9	2,5	1,5	1,0
	Magdeburg (318,1)	4	5	1,7	5,0	0,9	1,4
	Rosenburg, Saale (4,5) <sup>3</sup>	4	3	3,1	1,2	1,1	0,6
	Dessau, Mulde (7,6) <sup>3</sup>	6	5	8,3	3,2	3,1	1,7
	Gorsdorf, Schwarze Elster (3,8) <sup>3</sup>	5	5	4,7	2,1	1,9	1,5
	Dommitzsch (172,6)	5	5	4,5	1,7	1,4	1,0
Schmilka (4,1)	5	3 <sup>4</sup>	5,2	3,3	2,3	1,4	

<sup>1</sup>Sechs Untersuchungen pro Jahr; <sup>2</sup>BG = Bestimmungsgrenze = 0,5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM; TM = Trockenmasse; <sup>3</sup>km oberhalb der Einmündung; <sup>4</sup>Ergebnisse für 5 Untersuchungen; - mehr als 50% der Werte <BG, daher kein Mittelwert berechnet

Im Mündungsbereich der Nebenflüsse wurden ebenfalls hohe Gehalte an Moschus-Keton festgestellt, wobei die schwebstoffbürtigen Sedimente der Mulde an der Messstelle Dessau mit Jahresmittelwerten von 3,1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM (1998) bzw. 1,7  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM (1999) die höchsten Gehalte aufwiesen. In der Schwarzen Elster (Messstelle Gorsdorf) wurden im Jahresmittelwert Moschus-Keton-Gehalte von 1,9  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM (1998) bzw. 1,5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM (1999) bestimmt. In der Saale (Messstelle Rosenberg) betragen die mittleren Gehalte 1,1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM (1998) bzw. 0,6  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM (1999).

Nach Einmündung dieser Nebenflüsse in die Elbe war 1998 an der Messstelle Magdeburg der Gehalt an Moschus-Keton in den schwebstoffbürtigen Sedimenten mit einem Jahresmittelwert von 0,9  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM geringer als an der Messstelle Dommitzsch (Mittelwert: 1,4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM), während der Mittelwert 1999 mit 1,4  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM gegenüber Dommitzsch (Mittelwert: 1,0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM) erhöht war. An der Messstelle Schnackenburg wurden mit Jahresmittelwerten von 1,5  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM (1998) und 1,0  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM (1999) ähnliche Moschus-Keton-Gehalte wie an der Messstelle Magdeburg bestimmt. Die tidebeeinflussten Messstellen Bunthaus, Seemannshöft und Grauerort zeigten mit Jahresmittelwerten <1  $\mu\text{g}/\text{kg}$  TM (1998) deutlich geringere Gehalte

an Moschus-Keton als die Messstelle Schnackenburg. 1999 wiesen die schwebstoffbürtigen Sedimente im tidebeeinflussten Elbeabschnitt nur noch vereinzelt Positivbefunde auf, so dass kein Mittelwert berechnet wurde.

Die vorliegenden Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen. Der Gehalt an Moschus-Keton in den schwebstoffbürtigen Sedimenten war im Vergleich der Jahre 1998 und 1999 rückläufig, was vermutlich eine Folge der sinkenden Produktionsmengen und des verringerten Einsatzes von Moschus-Keton in Produkten war. Für den Eintrag von Moschus-Keton in die Elbe konnten zwei Quellen identifiziert werden. Ein wesentlicher Eintrag erfolgte, wie bereits für Moschus-Xylol festgestellt, im tschechischen Elbeabschnitt, was sich in hohen Moschus-Keton-Gehalten der schwebstoffbürtigen Sedimente der grenznahen Messstelle Schmilka dokumentierte. Der zweite wesentliche Eintrag erfolgte im deutschen Elbeabschnitt über die Elbenebenflüsse, was durch die hohen Moschus-Keton-Gehalte im Mündungsbereich der Nebenflüsse belegt wurde. Analog zu Moschus-Xylol waren die geringen Gehalte von Moschus-Keton in der Unterelbe vermutlich auf den Einfluss der Tide zurückzuführen.

### 3.2.1.3 Literaturdaten

Im Rahmen dieses Berichtes werden im Folgenden die Gehalte von Nitromoschus-Duftstoffen der schwebstoffbürtigen Sedimente der Elbe mit Duftstoff-Gehalten anderer Gewässer verglichen und diskutiert. Auf dieser Grundlage sollte versucht werden, das Vorkommen von Nitromoschus-Duftstoffen in der Elbe einzustufen und zu bewerten. Da in der Literatur keine Untersuchungsergebnisse für schwebstoffbürtige Sedimente anderer Gewässer zur Verfügung standen, konnten die Ergebnisse des vorliegenden Berichtes nur mit Gehalten von Schwebstoffen und Sedimenten anderer Gewässer verglichen werden (Tab. 8). Daher musste zunächst abgeschätzt werden, inwieweit die Nitromoschusgehalte von schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe mit Gehalten von Elbeschwebstoffen bzw. -sedimenten übereinstimmen.

Zunächst wurden Untersuchungsergebnisse von Elbeschwebstoffen vergleichend betrachtet. Winkler et al. (1998) fanden 1997 in Schwebstoffen bei Magdeburg Moschus-Keton-Gehalte von 4-22 µg/kg TM. Die von der ARGE ELBE im Jahre 1998 in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Messstelle Magdeburg nachgewiesenen Gehalte von <0,5-1,7 µg/kg TM waren deutlich geringer als diese Werte. Ein Grund dafür könnte der im Vergleich zu Schwebstoffen höhere Mineralkornanteil der schwebstoffbürtigen Sedimente sein. Schwebstoffbürtige Sedimente repräsentieren nur einen Teil der Gesamtschwebstoffe, der nur die Fraktion umfasst, die in einer Schwebstofffalle aufgrund ihres spezifischen Gewichtes nach Strömungsverringering sedimentiert (20-30 % der Gesamtschwebstoffe, Stachel et al., 1995). Die deutlich unterschiedlichen Moschus-Keton-Gehalte von Schwebstoffen und schwebstoffbürtigen Sedimenten desselben Standortes lassen den direkten Vergleich von Gehalten synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe dieser beiden Feststoffklassen als nicht sinnvoll erscheinen.

Daher wurden als nächstes Ergebnisse von Sedimentuntersuchungen mit denen der Analysen schwebstoffbürtiger Sedimente verglichen. Für den Schadstoffgehalt von Sedimenten sind der Organikanteil und auch die Korngrößenverteilung von Bedeutung, da lipophile Schadstoffe bevorzugt an die feinkörnige Sedimentfraktion der Korngröße <20 µm binden (Werther et al., 1984). Steffen (pers. Mitt.) untersuchte Proben feinkörniger, oberflächennaher Sedimente (0-5 cm) von vier Standorten aus dem Elbeabschnitt von Schnackenburg bis Cuxhaven. Die

untersuchten Sedimente bestanden zu durchschnittlich 7 % aus der Ton- und Feinsiltfraktion (<20 µm). Die schwebstoffbürtigen Sedimente der Elbe hatten dagegen einen Ton- und Feinsiltanteil von etwa 35 %. In den untersuchten Elbesedimenten wurden im November und Dezember 1998 Moschus-Xylol-Gehalte von 0,1-0,4 µg/kg TM und Moschus-Keton-Gehalte von 0,7-5,4 µg/kg TM ermittelt (Steffen, pers. Mitt.). Diese Gehalte sind in der Größenordnung übereinstimmend mit den in der Nov./Dez.-Probe von 1998 im selben Elbeabschnitt (zwischen Schnackenburg und Grauerort) ermittelten Werten in schwebstoffbürtigen Sedimenten: <0,5-0,9 µg/kg TM Moschus-Xylol und <0,5-3,9 µg/kg TM Moschus-Keton (vorliegender Bericht). Obwohl die Korngrößenverteilung in schwebstoffbürtigen Sedimenten eine höhere Anreicherung von Moschus-Duftstoffen als in Sedimenten erwarten ließ, zeigen die Ergebnisse eine gewisse Übereinstimmung des Nitromoschus-Gehaltes von schwebstoffbürtigen Sedimenten und oberflächennahen Sedimenten der Elbe. Daher erscheint ein Vergleich der Nitromoschus-Gehalte von schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe mit Gehalten von Sedimenten anderer Gewässer mit Einschränkungen sinnvoll.

In Sedimenten von Weser, Ems, Leine und Oker wurden 1995 bzw. 1996 Moschus-Xylol-Gehalte von 0,7-2,2 µg/kg TM und Moschus-Keton-Gehalte von 0,2-3,8 µg/kg TM bestimmt (Tab. 8). In Sedimenten der Luhe, Schwinge, Oste, Geeste, Jeetzel und weiterer kleiner Gewässer im Einzugsgebiet der Elbe wurden ähnliche Gehalte synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe gefunden (Moschus-Xylol: <0,1-1 µg/kg TM und Moschus-Keton: <0,1-2,6 µg/kg TM). In den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Mittel- und Unterelbe lagen die Gehalte in der gleichen Größenordnung wie in den Sedimenten der eben genannten niedersächsischen Flüsse, was ein vergleichbares Vorkommen von Nitromoschus-Duftstoffen in der Elbe und den oben genannten Flüssen vermuten lässt. Im Elbeabschnitt nahe der tschechischen Grenze und im Mündungsbereich der Elbenebenflüsse Mulde und Schwarze Elster war der Nitromoschus-Gehalt der schwebstoffbürtigen Sedimente (<0,5-8,3 µg/kg TM) mit dem der Sedimente von Ilmenau und Este nach Zufluss von Kläranlagenabläufen (4,9 und 5,2 µg/kg TM, Steffen, pers. Mitt.) vergleichbar. Nach Heberer et al. (1999) und Rimkus (1999) kann aus dem Gehalt synthetischer Moschus-Duftstoffe in einem Oberflächengewässer auf den Einfluss von Abwasser auf dieses Gewässer geschlossen werden, da Moschus-Duftstoffe nur mit gereinigtem Abwasser in die Flüsse eingetragen werden und daher als Indikatoren für Abwassereinfluss dienen können. Die Elbe wies demnach nahe der tschechischen Grenze und im Mündungsbereich von Schwarzer Elster und Mulde eine vergleichsweise hohe Abwassereinflussbelastung auf. In der Mittel- und Unterelbe war dagegen ein deutlich geringerer Abwassereinfluss feststellbar.

### 3.2.2 Fische

Untersuchungen von Fischen aus der Elbe sollten darüber Aufschluss geben, inwieweit synthetische Nitromoschus-Duftstoffe in Fischen verschiedener Fangorte angereichert wurden. Der Gehalt der synthetischen Nitromoschus-Duftstoffe Moschus-Xylol und Moschus-Keton wurde jeweils im verzehrbaren Anteil (Muskelfleisch) von Brassen, Zandern und Aalen bestimmt. Dabei wurden alle Brassenproben von demselben Labor (Staatliches Veterinäruntersuchungsamt für Fische und Fischwaren, Cuxhaven) analysiert, was eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse verschiedener Fangorte gewährleistet. Die Analysen der Duftstoffgehalte von Aalen und Zandern wurden dagegen von den Labors der jeweiligen Bundesländer durchgeführt. Nach Rimkus (pers. Mitt.) kann die Analyse synthetischer Moschus-Duftstoffe viele Fehlerquellen aufweisen, die eine Vergleichbarkeit der von verschiedenen Labors ermittelten Werte beeinträchtigen. Beispielsweise können unterschiedliche Analysemethoden bzw. -geräte zu verschiedenen Ergebnissen führen. Aufgrund der ubiquitären Verbreitung dieser Duftstoffe auch in der Laborluft, kann es zudem Probleme mit der Blindwertermittlung geben. Außerdem standen weder einheitliche Referenzmaterialien zur Verfügung noch wurden Ringversuche durchgeführt.

Zur Interpretation der Ergebnisse wurden die Medianwerte und nicht die Mittelwerte verwendet, um Ausreißer eliminieren zu können (Fooker et al., 1997). Bei nichtsymmetrischen Verteilungen und Verdacht auf Ausreißer ist der Median dem arithmetischen Mittelwert vorzuziehen.

#### 3.2.2.1 Brassen (*Abramis brama*)

Der Brassen ist ein hochrückiger Fisch aus der Familie der Karpfenartigen mit seitlich stark abgeflachtem Körper. Er wird 30-50 cm lang (bis max. 75 cm) und 2 kg (bis max. 9 kg) schwer. Die Oberseite des Fisches ist bleigrau bis schwärzlich, meist mit grünlichem Schimmer, die Körperseiten heller, der Bauch weißlich. Der Brassen ist ein Standfisch von großen stehenden oder langsam fließenden Gewässern (besonders im Unterlauf von Flüssen) mit weichgründigem, schlammigem Bodensubstrat. Er ist der Leitfisch der nach ihm benannten Brassenregion. Das Wasser der Brassenregion ist durch mineralische und organische Schwebstoffe stark getrübt, von zonal wechselndem Sauerstoffgehalt und an Oberfläche und Tiefe von verschiedener Temperatur. Während die Jungfische vorwiegend in Ufernähe zwischen Wasserpflanzen auf Nahrungssuche gehen, halten sich die erwachsenen Tiere tagsüber schwarmweise in größeren Tiefen auf und kommen erst nachts in flache Wasserbereiche. Hier weiden sie systematisch ganze Uferbereiche ab (Tubifex, Chironomiden, Schnecken und Muscheln). Die Vermehrung erfolgt von Mai bis Juli. Die Fische ziehen in Schwärmen zu flachen, pflanzenreichen Uferstellen. Unter heftigen Paarungsspielen werden 200.000-300.000 klebrige Eier von 1,6-2 mm Durchmesser an Pflanzenstängeln abgelegt. Da der Brassen zu praktisch jeder Zeit in beliebigen Mengen und Größen an allen Orten gefangen werden kann, gilt er als Monitoringfisch schlechthin. Er zeichnet sich ferner durch seine Standorttreue aus. Seit 1979 wird er von der ARGE ELBE bei Schadstoffanalysen regelmäßig untersucht (Gauert, 1996).

1994 wurden im Längsprofil der Elbe jeweils 15 Brassen der Fangorte Hafen Prossen und Winterhafen Meißen, dem Fangort Klöden/Gallin nach Zufluss der Schwarzen Elster, der

Fangorte Wahrenberg und Gorleben an der Mittel-elbe, dem Fangort Moorburg im Bereich des Hamburger Hafens, sowie der Fangorte Mühlenberger Loch, Fährmannssand, Haseldorfer Binnenelbe und Glückstadt unterhalb des Hamburger Hafens analysiert. Zur Ermittlung eines Hintergrundwertes wurden 1996 als Vergleichsprobe 15 Brassen aus dem Belauer See (Schleswig Holstein) und 1999 drei Mischproben mit jeweils 10 Individuen aus dem Flögeler See (Niedersachsen) untersucht. In diese beiden Gewässer erfolgten – soweit bekannt – keine Einleitungen kommunaler Kläranlagen.

Der Fettgehalt der Muskulatur der untersuchten Elbefische lag zwischen 0,75 % und 12 % (Mittelwert 2,6 %). Die Fische aus den beiden Seen hatten einen deutlich geringeren Fettgehalt (0,31 % - 1,0 %, Mittelwert: 0,66 %). Die Einzelergebnisse der Analysen sind im Anhang in Tab. A 5 und Tab. A 6 aufgeführt.

### 3.2.2.1.1 Moschus-Xylol

In der Elbe wurde Moschus-Xylol an allen Fangorten in mehr als 50 % der Brassen mit Gehalten oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/kg Frischgewicht (FG) nachgewiesen (Tab. 15). Die höchsten Gehalte wurden in Fischen der Fangorte Hafen Prossen (Median: 8,4 µg/kg FG) und Winterhafen Meißen (Median: 10 µg/kg FG) und damit im Elbeabschnitt nahe der tschechischen Grenze gefunden.

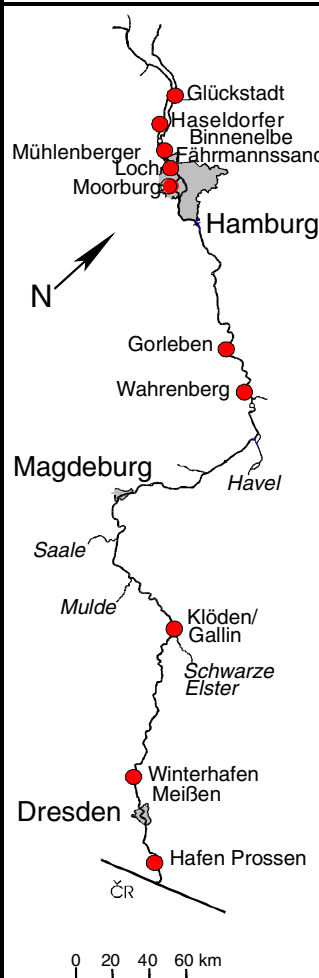
Von Klöden/Gallin an der Mittel-elbe (Median: 3,6 µg/kg FG) bis zum Fangort Moorburg im Bereich des Hamburger Hafens (Median: 0,5 µg/kg FG) nahmen die Gehalte in den Brassen deutlich ab. Im Mühlenberger Loch dagegen war der Gehalt an Moschus-Xylol mit einem Medianwert von 3,3 µg/kg FG gegenüber dem Fangort Moorburg deutlich erhöht. Dies könnte auf die Einleitung großer Mengen gereinigten Abwassers durch die Hamburger Klärwerke Köhlbrandhöft/Dradenau und Stelling Moor zurückzuführen sein. Im Bereich der Unterelbe bis Glückstadt (Median: 0,5 µg/kg FG) nahmen die Gehalte dann wieder ab.

Für eine Bewertung der Gehalte von Fischen kann die Bund-Länder-Vereinbarung von 1992 herangezogen werden (Gatermann et al., 1999), in der ein Eingriffswert von 10 µg/kg FG Moschus-Xylol in Fischen festgelegt wurde (Bundestagsdrucksache 14/387), der aber keinerlei toxikologische oder rechtliche Relevanz hat. Dieser Wert wurde von Brassen aus der Elbe der Fangorte Winterhafen Meißen (8 von 15 Fische) und Hafen Prossen (5 von 15 Fische) häufig überschritten. Einzelne Fische mit Moschus-Xylol-Gehalten >10 µg/kg FG wurden außerdem an den Fangorten Klöden/Gallin, Moorburg und Mühlenberger Loch gefangen.

In 2 der 15 untersuchten Brassen aus dem Belauer See wurde Moschus-Xylol nachgewiesen (0,15 µg/kg FG und 0,57 µg/kg FG). Dies stellte ein unerwartetes Ergebnis dar, weil Fische Moschus-Duftstoffe aus dem Wasser aufnehmen (Rimkus et al., 1995; van Dijk 1996a,b). Synthetische Moschus-Duftstoffe sind anthropogenen Ursprungs und gelangen nach heutigem Wissensstand, wie in Kapitel 2.3.4. ausführlich dargelegt wurde, ausschließlich über Abwässer in Oberflächengewässer. Der Belauer See gilt als nicht durch Abwässer beeinflusst. Möglicherweise wurde das Moschus-Xylol durch einen bislang unbekanntem, kleineren Abwasserleiter (einzelnes Gehöft o. ä.) in den See eingetragen. Nach Kruse (1993) muss auch damit gerechnet werden, dass die synthetischen Moschus-Duftstoffe über die Atmosphäre in Gewässer eingetragen werden können. Möglich wäre ebenfalls ein Eintrag durch Badende, da syn-

thetische Moschus-Duftstoffe Bestandteil vieler Sonnenschutzmittel sind (vgl. Tab. 4). In Brassens aus dem Flögelner See war kein Moschus-Xylol nachweisbar.

**Tab. 15** Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von jeweils 15 Brassens verschiedener Fangorte der Elbe von 1994, von Brassens aus dem Belauer See von 1996 (15 Exemplare) und von Brassens aus dem Flögelner See von 1999 (3 Mischproben von jeweils 10 Exemplaren)

Elbe Fangorte (Strom-km)	Fettgehalt der Muskulatur [%]	Moschus-Xylol		Moschus-Keton	
		Anzahl Werte [%] >BG <sup>1</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>2</sup> ]	Anzahl Werte [%] >BG	Gehalt [µg/kg FG <sup>2</sup> ]
	Glückstadt (675)	0,96 – 3,1	60 <0,1 – 3,8 Median: 0,5	27 <BG – 3 50 %<BG	
	Haseldorfer Binnenelebe (655)	0,87 – 3,4	60 <BG – 5,8 Median: 1,2	100 0,5 – 8,2 Median: 2,4	
	Fährmannssand (645)	1,2 – 5,9	53 <BG – 8,1 Median: 2,1	20 <BG – 4,1 Median<BG	
	Mühlenberger Loch (634)	0,75 – 12	87 <BG – 19,0 Median: 3,3	73 <BG – 9,3 Median: 0,7	
	Moorburg (618, Süderelbe)	0,77 – 9,5	60 <BG – 15,5 Median: 0,5	40 <BG – 3,1 50 %<BG	
	Gorleben (492)	0,93 – 5,0	67 <BG – 10,0 Median: 1,5	47 <BG – 6,1 50 %<BG	
	Wahrenberg (458)	1,3 – 4,7	80 <BG – 4,1 Median: 1,9	60 <BG – 3,7 Median: 1,3	
	Klöden/Gallin (205,5)	1,5 – 4,7	100 0,1 – 14,2 Median: 3,6	0 <BG 50 %<BG	
	Winterhafen Meißen (83)	0,82 – 5,5	100 0,4 – 46,9 Median: 10	7 <BG 1 Wert = 0,8	
	Hafen Prossen (13)	1,0 – 3,3	100 2,7 – 22,8 Median: 8,4	0 <BG 50 %<BG	
Hintergrundwerte (Binnenseen)	Belauer See	0,31 – 1,0	13 <BG – 0,57	0 <BG	
	Flögelner See	0,4 – 0,5	0 <BG	0 <BG	

<sup>1</sup>BG = Bestimmungsgrenze = 0,1 µg/kg FG; <sup>2</sup>FG = Frischgewicht

### 3.2.2.1.2 Moschus-Keton

Moschus-Keton wurde 1994 in Fischen von acht Fangorten der Elbe nachgewiesen (Tab. 15). Die Moschus-Keton-Gehalte von den Brassern waren im Längsschnitt der Elbe anders verteilt als die Moschus-Xylol-Gehalte. Von der tschechischen Grenze bis zum Fangort Klöden/Gallin war diese Verbindung nur in einem Fisch mit einem Gehalt von 0,8 µg/kg FG nachweisbar. Von Wahrenberg bis in den Hamburger Hafen konnte Moschus-Keton in durchschnittlich der Hälfte der Fische mit Gehalten bis zu 6,1 µg/kg FG nachgewiesen werden. Am Fangort Mühlenberger Loch wurde die Verbindung in 73 % der untersuchten Fische gefunden. Am Fangort Haseldorfer Binnenelbe wiesen alle Fische Positivbefunde auf. An den letzteren beiden Fangorten wurden auch die höchsten Gehalte von bis zu 9,3 µg/kg FG (Mühlenberger Loch) bzw. bis zu 8,2 µg/kg FG (Haseldorfer Binnenelbe) ermittelt. Dieses dürfte auf die Abwassereinleitungen im Hamburger Elbeabschnitt zurückzuführen sein. Am Unterelbe-Fangort Glückstadt wurde dagegen in keinem Fisch Moschus-Keton gefunden (BG = 0,1 µg/kg FG).

In den Brassern aus dem Belauer See und dem Flögelner See konnte kein Moschus-Keton nachgewiesen werden (BG = 0,1 µg/kg FG).

### 3.2.2.2 Zander (*Stizostedion lucioperca*)

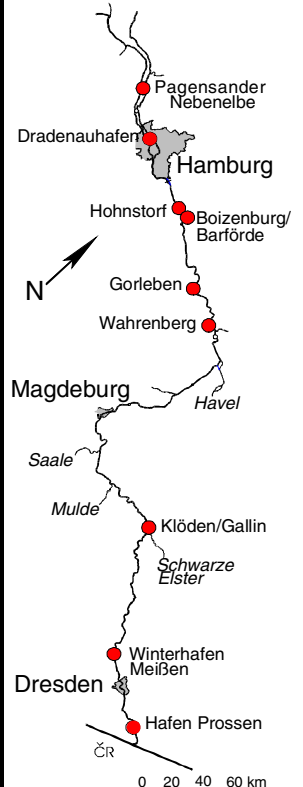
Der Zander hat einen langgestreckten, hechtähnlichen Körper und einen schlanken Kopf mit einer weiten, mit Fangzähnen besetzten Mundspalte. Er gehört zur Familie der Barsche, wird 40-70 cm lang (bis max. 120 cm) und 12-15 kg schwer (bis max. 19 kg). Die Ober- und Körperseiten des Fisches sind graugrün bis bleigrau, meist mit dunklen Querbinden. Die Rückenflosse ist in Vorder- und Hinterflosse geteilt. Der Zander bevorzugt große Flüsse und Seen mit planktontrübem Wasser und ist auch in den salzarmen Gebieten der Ostsee zu finden. Der Zander ist ein Fisch der Freiwasserzone, der sich nur selten in ufernahen Flachwasserbereichen oder pflanzenreichen Regionen aufhält. Er ist ein dämmerungs- und nachtaktiver Fisch, der sich tagsüber in größeren Wassertiefen versteckt. Der Zander ist ein ausgesprochener Raubfisch, der sich vorwiegend von Ukelei, kleinen Rotaugen und Barschen ernährt. Die Laichzeit fällt in die Zeit von April bis Juni bei Wassertemperaturen von 12–15 °C. In 0,5-3m Wassertiefe mit hartem Untergrund und Wurzelwerk wird eine Art „Nest“ angelegt (Säubern des Laichplatzes), das gegenüber Artgenossen verteidigt wird. Hier werden die ca. 1,5 mm großen, klebrigen Eier (150.000-200.000/kg Körpergewicht) abgelegt. Das Gelege wird bis zum Schlupf der Jungen vom Männchen bewacht.

#### 3.2.2.2.1 Untersuchungen 1994

Im Längsprofil der Elbe wurden 1994 an den Fangorten Winterhafen Meißen, Hafen Prossen, Klöden/Gallin, Wahrenberg, Gorleben und Hohnstorf, dem Fangort Dradenauhafen im Hamburger Hafen sowie dem Fangort Pagensander Nebenelbe unterhalb des Hamburger Hafens jeweils 1-20 Zander gefangen. In Proben der Fischmuskulatur wurden die Gehalte der synthetischen Nitromoschus-Duftstoffe bestimmt. Die Einzelergebnisse der Analysen sind im Anhang in Tab. A 7 aufgeführt.



**Tab. 16** Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Zandern verschiedener Fangorte der Elbe aus dem Fangjahr 1994

Elbe Fangorte (Strom-km)	n <sup>1</sup>	Fettgehalt der Muskulatur [%]	Moschus-Xylol		Moschus-Keton		
			Anzahl Werte [%] >BG <sup>3</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>2</sup> ]	Anzahl Werte [%] >BG <sup>3</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>2</sup> ]	
	Pagensander Nebelbe (663)	13	0,6 – 0,8	100 <sup>4</sup>	0,1 – 0,6 Median: 0,4	100 <sup>4</sup>	0,1 – 0,5 Median: 0,2
	Dradenauhafen (626)	5	n.a.	0	<BG	0	<BG
	Hohnstorf (567)	12	0,3 – 0,8	67	<BG <sup>4</sup> – 0,2 Median: 0,1	92	<BG <sup>4</sup> – 0,2 Median: 0,1
	Boizenburg/ Barförde (559)	11	0,3 – 0,5	0	<BG	0	<BG
	Gorleben (492)	10	0,4 – 1,1	0	<BG	10	9Werte<BG 1 Wert: 15
	Wahrenberg (448)	1	0,7	0	<BG	100	1
	Klöden/Gallin (205,5)	14	0,2 – 1,5	50	<BG – 5	29	<BG – 3
	Winterhafen Meißen (83)	20	0,17 – 0,46	0	<BG <sup>4</sup>	0	<BG <sup>4</sup>
	Hafen Prossen (13)	20	0,08-0,5	0	<BG <sup>4</sup>	0	<BG <sup>4</sup>

<sup>1</sup>n = Zahl der analysierten Proben, <sup>2</sup>FG = Frischgewicht; <sup>3</sup>BG = Bestimmungsgrenze = 1 µg/kg FG; <sup>4</sup>BG = 0,1 µg/kg FG ; n.a. = nicht analysiert

Zander werden zu den fettarmen Fischen gerechnet. Der Fettgehalt der Muskulatur der untersuchten Fische lag zwischen 0,08 % und 1,5 % (Mittelwert: 0,45 %). Synthetische Moschus-Duftstoffe lagern sich aufgrund ihres lipophilen Charakters vor allem im Fettgewebe ab (Geyer et al., 1994). Hauptsächlich wegen des geringen Fettgehaltes waren daher die Gehalte an Moschus-Xylol und Moschus-Keton im Muskelfleisch der Zander deutlich niedriger als im Muskelfleisch der Brassen. Sie lagen meist unterhalb von 1 µg/kg FG (Tab. 16). Bei Analysen mit einer Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg FG war an den Fangorten Wahrenberg, Gorleben, Boizenburg/Barförde und Dradenauhafen in keinem Fisch Moschus-Xylol und nur vereinzelt Moschus-Keton gefunden worden. Bei der niedrigeren Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/kg FG wäre die Anzahl der Positivbefunde an diesen Fangorten vermutlich höher gewesen (vgl. Probenkollektive Pagensander Nebelbe und Hohnstorf).

Die Verteilung der Gehalte im Längsprofil der Elbe zeigt, dass die höchsten Moschus-Xylol-Gehalte in Fischen des Fangortes Klöden/Gallin ermittelt wurden. An den Fangorten Winterhafen Meißen und Hafen Prossen konnten keine synthetischen Nitromoschus-Duftstoffe nachgewiesen werden. Dies stellt ein unerwartetes Ergebnis dar, da bei den Brassenanalysen desselben Fangjahres an diesen Fangorten die höchsten Gehalte ermittelt worden waren.

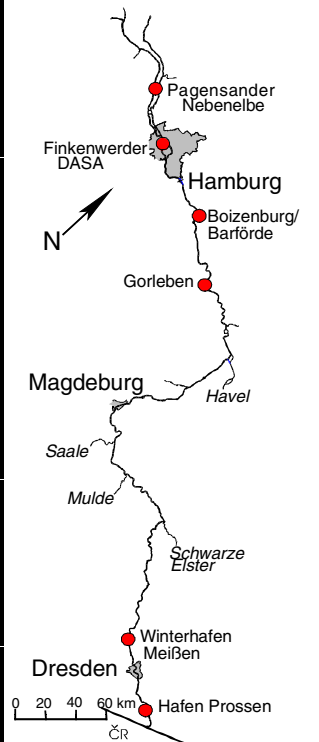
Möglicherweise waren die Negativbefunde auf unterschiedliche Analyseverfahren zurückzuführen. Für die Zanderanalysen waren unterschiedliche Untersuchungslabors beauftragt worden, während alle Brassen in demselben Labor analysiert wurden.

### 3.2.2.2 Untersuchungen 1999

Im Frühjahr 1999 wurden jeweils 15 Zander verschiedener Fangorte im Längsverlauf der Elbe untersucht. Für diese Untersuchungen wurden Fische an den Fangorten Hafen Prossen, Winterhafen Meißen, Gorleben, Boizenburg/Barförde, Finkenwerder und der Pagensander Nebenelbe gefangen. In Proben der Fischmuskulatur wurden die Gehalte der synthetischen Nitromoschus-Duftstoffe bestimmt. Die Einzelergebnisse der Analysen sind im Anhang in Tab. A 8 aufgeführt.

Der Fettgehalt der Fische betrug 0,08 %-2,25 % (Mittelwert: 0,62 %) und war vergleichbar mit dem Fettgehalt der Fische aus dem Jahr 1994. Auch die Gehalte an Nitromoschus-Duftstoffen lagen wie 1994 meist unterhalb von 1 µg/kg FG.

**Tab. 17** Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von jeweils 15 Zandern verschiedener Fangorte der Elbe aus dem Fangjahr 1999

Elbe		Fettgehalt der Muskulatur [%]	Moschus-Xylol		Moschus-Keton	
	Fangorte (Strom-km)		Anzahl Werte [%] >BG <sup>2</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>1</sup> ]	Anzahl Werte [%] >BG <sup>2</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>1</sup> ]
		Pagensander Nebenelbe (663)	0,54 – 2,28	0	<BG <sup>3</sup>	0
	Finkenwerder/DaimlerChrysler Aerospace Airbus GmbH (631)	0,28 – 1,70	100	0,1 – 0,3 Median: 0,1	100	0,5 – 2,3 Median: 1,4
	Boizenburg/Barförde (559)	0,32 – 0,61	20	<BG – 1	0	<BG
	Gorleben (492)	0,08 – 0,22	0	<BG <sup>4</sup>	0	<BG <sup>4</sup>
	Winterhafen Meißen (83)	0,38 – 0,84	93	<BG – 8,4 Median: 0,3	0	<BG
	Hafen Prossen (13)	0,45 – 0,96	100	0,3 – 1,2 Median: 0,4	0	<BG

<sup>1</sup>FG = Frischgewicht, <sup>2</sup>BG = Bestimmungsgrenze = 1 µg/kg FG; <sup>3</sup>BG = 0,1 µg/kg FG; <sup>4</sup>BG = 5 µg/kg FG

Die Verteilung der Moschus-Xylol-Gehalte im Längsprofil der Elbe zeigt, dass die höchsten Gehalte in Fischen der Fangorte Hafen Prossen und Winterhafen Meißen ermittelt wurden und damit, wie bei den Brassen, an den Fangorten, die der tschechischen Grenze am nächsten lagen (Tab. 17). Dies dürfte auf Abwassereinleitungen im tschechischen Elbeabschnitt zurückzuführen sein. Möglicherweise hatten aber auch die Abwässer der Kläranlage Kaditz unterhalb von Dresden einen Einfluss auf die Duftstoffgehalte der Fische in der Oberelbe. In

Proben vom Fangort Finkenwerder im Bereich der DaimlerChrysler Aerospace Airbus GmbH (DASA) wurde in allen Fischen Moschus-Xylol und Moschus-Keton gefunden, wobei in den Fischen vor allem Moschus-Keton angereichert war (Medianwert: 1,4 µg/kg FG), während Moschus-Xylol (Medianwert: 0,1 µg/kg FG) in deutlich geringeren Gehalten gefunden wurde. Diese Positivbefunde waren vermutlich auf den Abwassereintrag des Hamburger Klärwerks Köhlbrandhöft/Dradenau zurückzuführen. Mit dem gereinigten Abwasser wurde nach diesen Ergebnissen im Jahr 1999 vor allem Moschus-Keton in die Elbe transportiert. In der Pagensander Nebenelbe waren dagegen in keinem Fisch Nitromoschus-Duftstoffe nachweisbar.

Außerdem zeigen die Ergebnisse, dass die Nitromoschus-Duftstoff-Gehalte in Zandern im Vergleich der beiden Fangjahre 1994 und 1999 zumeist abnahmen. Am Fangort Pagensander Nebenelbe beispielsweise wurden Moschus-Xylol und Moschus-Keton 1994 in allen Individuen gefunden, während 1999 an diesem Fangort für keinen Fisch ein Positivbefund erhalten wurde (vgl. Tab. 16 und Tab. 17). Außerdem war 1999 - mit Ausnahme des Fangortes Finkenwerder - in keinem Fisch Moschus-Keton nachweisbar (Tab. 17), während diese Verbindung 1994 noch in fast der Hälfte der untersuchten Zander vorhanden war (Tab. 16). Lediglich an den Fangorten Hafen Prossen und Winterhafen Meißen war 1999 Moschus-Xylol in den meisten Fischen nachweisbar, während diese Verbindung 1994 möglicherweise aufgrund von unterschiedlichen Analyseverfahren in keinem Fisch detektiert wurde.

Die Untersuchungen von Brassens und Zandern können wie folgt zusammengefasst werden: Der Nitromoschus-Gehalt im Muskelfleisch von Fischen ist in der Regel abhängig von der Duftstoffkonzentration im Umgebungswasser. Bei den standorttreuen Brassens und Zandern dürfte daher der Nitromoschus-Gehalt der Fische die Konzentration des Wasserkörpers am Fangort widerspiegeln. Auf der Grundlage dieser direkten Abhängigkeit kann von den in Elbefischen ermittelten Gehalten der Nitromoschus-Duftstoffe auf die Konzentrationen dieser Verbindungen im Wasserkörper der Fangorte geschlossen werden. Nitromoschus-Gehalte von Fischen verschiedener Fangorte lassen somit Rückschlüsse auf Eintragsquellen dieser Substanzen in die Elbe zu. Auf der Grundlage dieser Überlegungen konnte aus den Moschus-Xylol- und Moschus-Keton-Gehalten der Brassens und Zander auf zwei wesentliche Eintragsquellen dieser Nitromoschus-Duftstoffe in die Elbe geschlossen werden.

Der erste wesentliche Eintrag erfolgte auf dem Gebiet der Tschechischen Republik. In diesem Elbeabschnitt wurde vor allem Moschus-Xylol in die Elbe eingebracht, was anhand der hohen Anreicherung dieses Duftstoffes in den Fischen der grenznahen Fangorte Schmilka, Hafen Prossen und Winterhafen Meißen abgeleitet werden konnte. Moschus-Keton wurde in diesem Elbeabschnitt dagegen nur in einem kleinen Teil der untersuchten Fische mit geringen Gehalten nachgewiesen. Als weitere wesentliche Eintragsquelle von Nitromoschus-Duftstoffen konnten die Abwassereinleitungen im Hamburger Elbeabschnitt angesehen werden, die ebenfalls zu einer deutlichen Anreicherung dieser Substanzen in Fischen der Fangorte im Hamburger Hafen und der limnischen Unterelbe führten.

### 3.2.2.3 Stint (*Osmerus eperlanus*)

Der Stint zählt zu den lachsartigen Fischen. Er ist saisonaler Gast in der Tideelbe, der im Frühjahr zum Laichen stromauf wandert. Die erwachsenen Stinte sind vorwiegend im Elbemündungsbereich und im Wattenmeer anzutreffen. Im Rahmen eines Sonderuntersuchungsprogramms wurden 1996 neunzehn Stinte aus der oberen Tideelbe bei Hamburg (Fangort Fliegenberg, Strom-km 602) auf das Vorkommen von synthetischen Nitromoschus-Duftstoffen untersucht. Die Ergebnisse der Analysen sind im Anhang in Tab. A 12 aufgeführt. Da die Gehalte synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe in der Nordsee mit maximal 0,17 ng/l äußerst gering waren (Tab. 7), war zu vermuten, dass sich in diesen Fischen keine Moschus-Duftstoffe angereichert hatten.

Moschus-Keton konnte in keinem der untersuchten Stinte gefunden werden (BG = 2 µg/kg FG). Dagegen wurde in fünf Stinten Moschus-Xylol mit Gehalten von 2-9 µg/kg FG gefunden. Die Stinte haben den Duftstoff vermutlich während ihres mehrwöchigen Aufenthalts in der Tideelbe aufgenommen.

### 3.2.2.4 Aal (*Anguilla anguilla*)

Der Aal ist ein Fisch mit schlangenartiger Körperform. Rücken-, Schwanz- und Afterflosse bilden einen Flossensaum. Männliche Aale werden bis 50 cm lang und bis zu ca. 0,2 kg schwer, während weibliche Aale eine Länge von bis zu 150 cm und ein Gewicht von bis zu 6 kg erreichen können. Aale sind lichtscheu und halten sich tagsüber in Verstecken (Schlammbanken, Wurzelwerk) auf, um bei Einbruch der Dunkelheit auf Nahrungssuche zu gehen. Zur Nahrung gehören Insekten, Schnecken, Muscheln, Flusskrebse, kleine Fische, Frösche und Mäuse. Außerdem sind Aale Brut- und Laichräuber.

Der Aal ist ein katadromer (zum Laichen ins Meer ziehender) Wanderfisch, der als sogenannte Weidenblattlarve von den Laichplätzen im Sargassomeer (Westatlantik) mit dem Golfstrom zum europäischen Kontinentalschelf verdriftet wird. In Küstennähe findet eine Metamorphose der abgeplatteten Weidenblattlarve zum sogenannten Glasaal statt, der aktiv auf die Küste zuschwimmt und mit dem Flutstrom in Flüsse einwandert. Gleichzeitig werden die Glasaale durch Einlagerung von Farbpigmenten dunkler und gehen zum Leben in Bodennähe über. Die jungen Grundfische werden als Gelbaale bezeichnet, die mehrere Jahre im Süßwasser verbleiben. Nach etwa 10 Jahren findet eine erneute Veränderung statt. Der Rücken der Fische färbt sich zunehmend dunkler, wohingegen die Unterseite silbrig weiß wird. Der Verdauungstrakt bildet sich zugunsten der Geschlechtsorgane zurück, die Nahrungsaufnahme wird eingestellt. Die Augen treten deutlich vergrößert hervor. Die in diesem Stadium Blankaaale genannten Fische verlassen die Flüsse und treten unter Verbrauch eingelagerter Reservestoffe den Rückweg ins Sargassomeer an, wo sich nach Paarung und Ablachen der Lebenskreislauf schließt.

Aale bilden aufgrund der Wanderungen in ihrem Lebenszyklus nur bedingt die Schadstoffkonzentration des Fangortes ab. Daher können aus dem Duftstoffgehalt der Aale nur sehr eingeschränkt Aussagen über die Verteilung der Stoffe im Längsverlauf der Elbe getroffen werden. Aale zählen zu den fettreichen Fischen, wobei der Fettgehalt der Muskulatur abhängig vom Entwicklungsstadium und Alter des Fisches ist. Während Gelbaale in der Regel einen

Fettgehalt von weniger als 10 % haben, weist die Muskulatur von Blankaalen meist Fettgehalte von mehr als 30 % auf. Da sich synthetische Moschus-Duftstoffe aufgrund ihres lipophilen Charakters vor allem im Fettgewebe anreichern (Geyer et al., 1994), waren die höchsten Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in Blankaalen zu erwarten.

#### 3.2.2.4.1 Untersuchungen 1994

Im Längsprofil der Elbe wurden 1994 an den Fangorten Hafen Prossen, Klöden/Gallin, Warenberg, Gorleben, Boizenburg/Barförde und Hohnstorf an der Mittelelbe, dem Fangort Moorburg im Hamburger Hafen sowie am Fangort Pagensander Nebenelbe und Brunsbüttel unterhalb des Hamburger Hafens jeweils 13-56 Aale gefangen. Die Aalkontingente setzten sich aufgrund verschiedener eingesetzter Fangmethoden zu unterschiedlichen Anteilen aus Gelbaalen, Jungtieren und Blankaalen zusammen (Gaumert, 1996). Die Aale wurden jeweils im Sommer (Juni/Juli) gefangen. Am Fangort Gorleben wurden zusätzlich auch im Oktober Aale gefangen.

In Proben der Fischmuskulatur wurden die Gehalte der synthetischen Moschus-Duftstoffe bestimmt (Tab. 18). Die Einzelergebnisse der Analysen sind im Anhang in Tab. A 8 aufgeführt. Der prozentuale Fettgehalt der untersuchten Aale lag zwischen 3,9 % und 40 % (Mittelwert: 18 %) und war damit deutlich höher als der Fettgehalt von Brassens und Zandern. Auch die Gehalte von Moschus-Xylol und Moschus-Keton waren im Muskelfleisch der Aale deutlich höher als in dem von Brassens und Zandern. Die Einzelergebnisse wiesen an den Fangorten eine große Spannbreite auf. In 61 der 209 insgesamt untersuchten Proben wurde der im Rahmen einer Bund-Länder-Verordnung von 1992 festgelegte Eingriffswert von 10 µg/kg FG Moschus-Xylol überschritten. Die hohen Gehalte an Moschus-Duftstoffen stehen unter anderem mit dem hohen Fettgehalt der Aale in Zusammenhang.

An den einzelnen Fangorten wurden folgende Gehalte bestimmt:

Am Fangort Hafen Prossen wurde für den Moschus-Xylol-Gehalt ein vergleichsweise niedriger Medianwert von 8,9 µg/kg FG ermittelt, außerdem war Moschus-Keton nur in einem Fisch mit 6,7 µg/kg FG nachweisbar. Dies ist wahrscheinlich darauf zurückzuführen, dass sich das Aalkontingent dieses Fangortes überwiegend aus Jungtieren und Gelbaalen zusammensetzte (Gaumert, 1996).

Am weiter stromab gelegenen Fangort Klöden/Gallin wurden dagegen höhere Gehalte mit Medianwerten von 29 µg/kg FG Moschus-Xylol und 4 µg/kg FG Moschus-Keton analysiert. Von diesem Fangort wurden Jungtiere, Gelbaale und abwandernde Blankaale untersucht (Gaumert, 1996).

Am Fangort Gorleben wurden Aale mit sehr hohen Gehalten synthetischer Moschus-Duftstoffe gefangen (Medianwerte: 28 µg/kg FG Moschus-Xylol und 18 µg/kg FG Moschus-Keton). In 50 Individuen von 56 insgesamt untersuchten Fischen dieses Fangortes lag der Gehalt an Moschus-Xylol oberhalb des Eingriffswertes von 10 µg/kg FG Moschus-Xylol (Bundestagsdrucksache 13/487). Die Aale wurden überwiegend im Oktober gefangen. Da Aale im Herbst zu ihren Laichplätzen ziehen, setzte sich das untersuchte Aalkontingent hauptsächlich aus abwandernden Blankaalen der stromauf gelegenen Elbeeinzugsgebiete zusammen (Gaumert, 1996).

**Tab. 18** Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen verschiedener Fangorte der Elbe aus dem Fangjahr 1994

Elbe Fangorte (Strom-km)	n <sup>1</sup>	Fettgehalt der Muskulatur [%]	Moschus-Xylol		Moschus-Keton		
			Anzahl Werte [%] >BG <sup>2</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>5</sup> ]	Anzahl Werte [%] >BG <sup>2</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>5</sup> ]	
	Brunsbüttel (692)	7	7,3 – 25	95	<BG – 3,1 Median 1,8	100	1 – 4,6 Median 1,4
	Pagensander Nebenelbe (663)	7	11,3 – 35	100	2,5 – 15,2 Median: 3,5	100	2,4 – 12,1 Median: 5,8
	Moorburg (618 SE <sup>6</sup> )	6	9,8 – 20	100	17 – 22 Median: 19	100	8 – 24 Median: 15
	Hohnstorf (567)	21	6,5 – 32	97	<BG <sup>3</sup> – 15,4 Median: 5,2	97	<BG <sup>3</sup> – 17,9 Median: 3,8
	Boizenburg/Barförde (559)	34	3,9 – 23	0	<BG	0	<BG
	Gorleben (492)	56	15 – 40	100	5 – 164 Median: 28,5	91	<BG <sup>5</sup> – 100 Median: 18
	Wahrenberg (448)	31	3,1 – 28	100	2 – 49 Median: 4	93	<BG – 11 Median: 3
	Klöden/Gallin (205,5)	31	4 – 31	100	3 – 99 Median: 29	77	<BG – 24 Median: 4
	Hafen Prossen (13)	13	5,8 – 34	85	<BG – 87 Median: 8,9	9	<BG 1 Wert = 6,7

<sup>1</sup>n = Zahl der analysierten Proben; <sup>2</sup>BG = Bestimmungsgrenze = 1 µg/kg FG; <sup>3</sup>BG = 2,8 µg/kg FG; <sup>4</sup>BG = 5 µg/kg FG; <sup>5</sup>FG = Frischgewicht; SE = Süderelbe

Am Fangort Boizenburg konnten in den Aalen für Moschus-Xylol oder Moschus-Keton keine Positivbefunde erhalten werden (BG = 1 µg/kg FG), während diese Verbindungen am nur 8 km weiter stromab gelegenen Fangort Hohnstorf in einem vergleichbar zusammengesetzten Aalkontingent in nahezu allen Fischen (97 % der Werte > BG, BG = 1 µg/kg FG) gefunden wurden. Diese Ergebnisse wurden von zwei verschiedenen Laboratorien ermittelt. Möglicherweise sind die Ergebnisunterschiede auf unterschiedliche Analyseverfahren zurückzuführen. Eventuell führten auch die stromab von Boizenburg/Barförde in die Elbe geleiteten Abwässer der Stadt Lauenburg zur Anreicherung von Moschus-Duftstoffen in den Aalen.

Alle Aale der Fangorte Moorburg und Pagensander Nebenelbe wiesen Positivbefunde für Moschus-Xylol und Moschus-Keton auf. Die Gehalte in den bei Moorburg gefangenen Fischen (Median: 19 µg/kg FG Moschus-Xylol und 15 µg/kg FG Moschus-Keton) lagen deutlich über den Gehalten der in der Pagensander Nebenelbe gefangenen Aalgruppe (Median: 3,5 µg/kg FG Moschus-Xylol und 5,8 µg/kg FG Moschus-Keton). Dies dürfte auf die Abwässereinleitungen des Hamburger Klärwerks Köhlbrandhöft/Dradenau, die näher am Fangort

Moorburg erfolgen, und/oder auf unterschiedlich zusammengesetzte Aalkontingente zurückzuführen sein.

Zusammengefasst zeigen die vorliegenden Ergebnisse, dass in Blankaalen die höchsten Moschus-Gehalte angereichert werden und somit die für einen Fangort errechneten Medianwerte der Moschus-Duftstoff-Gehalte vom Anteil an Blankaalen des untersuchten Aalkontingents entscheidend abhängig waren. Außerdem lag der Gehalt an Moschus-Xylol in der Regel deutlich über dem von Moschus-Keton. Diese Verhältnis wurde 1994 auch in Brassern und Zandern analysiert.

#### 3.2.2.4.2 Untersuchungen 1999

Im Mai 1999 wurden jeweils 3-20 Aale verschiedener Fangorte im Längsverlauf der Elbe untersucht. Für diese Analysen wurden Aale der Fangorte Hafen Prossen, Winterhafen Meißen, Gorleben, Boizenburg/Barförde, Rethel/Kattwyk (Süderelbe, Hamburger Hafen), Pagensander Nebelbe und Brunsbüttel gefangen. Die Einzelergebnisse der Analysen sind im Anhang in Tab. A 9 aufgeführt.

Der Fettgehalt der untersuchten Fische lag zwischen 4 % und 38 % (Mittelwert: 22 %) und war damit dem 1994 ermittelten vergleichbar (Tab. 19). In 23 der 114 insgesamt untersuchten Aale wurde der Wert von 10 µg/kg FG Moschus-Xylol überschritten, wobei die Überschreitungen ausschließlich in Fischen der Fangorte Hafen Prossen und Winterhafen Meißen festgestellt wurden.

In Tab. 19 ist dokumentiert, dass die höchsten Moschus-Xylol-Gehalte an den Fangorten ermittelt wurden, die der tschechischen Grenze am nächsten lagen (Hafen Prossen, Median: 68 µg/kg FG und Winterhafen Meißen, Bereich: 16-35 µg/kg FG). Eine solche Verteilung der Moschus-Duftstoffe in der Elbe wurde für alle im Längsprofil untersuchten Fischarten gefunden und ist vermutlich auf Abwassereinleitungen im tschechischen Elbeabschnitt zurückzuführen. Auch die Abwässer der Kläranlage Kaditz unterhalb von Dresden könnten eine Rolle spielen.

Am Fangort Rethel/Kattwyk im Hamburger Hafen wurden ebenfalls hohe Gehalte an Nitromoschus-Duftstoffen gefunden. Dabei wurde mit einem Medianwert von 11,5 µg/kg FG der höchste Gehalt an Moschus-Keton analysiert. Auch die anderen untersuchten Fischarten von Fangorten im Bereich des Hamburger Hafens enthielten regelmäßig hohe Gehalte an Nitromoschus-Duftstoffen, insbesondere von Moschus-Keton. Dies sind deutliche Hinweise darauf, dass auch die Hamburger Abwassereinleitungen zu einer Anreicherung von Moschus-Duftstoffen in den Fischen führten.

Ein Vergleich der Ergebnisse der beiden Fangjahre 1994 und 1999 zeigt, dass der Gehalt synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe in Aalen der Elbe an einigen Fangorten abgenommen hat. Moschus-Xylol und Moschus-Keton wurden 1994 in fast allen Aalen der Fangorte Gorleben, Pagensander Nebelbe und Brunsbüttel nachgewiesen (Tab. 18), während 1999 in keinem Fisch Positivbefunde auftraten (BG = 0,4-2 µg/kg FG, Tab. 19). Auch der im Rahmen der Bund-Länder-Vereinbarung festgelegte Eingriffswert für Moschus-Xylol von 10 µg/kg FG wurde im Jahr 1994 noch an fast allen Fangorten überschritten, während 1999 Über-

schreitungen nur noch an den Fangorten Hafen Prossen und Winterhafen Meißen festgestellt wurden.

**Tab. 19** Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen verschiedener Fangorte der Elbe aus dem Fangjahr 1999

Elbe		n <sup>1</sup>	Fettgehalt der Muskulatur [%]	Moschus-Xylol		Moschus-Keton	
Fangorte (Strom-km)	n <sup>1</sup>			Anzahl Werte [%] >BG <sup>2</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>4</sup> ]	Anzahl Werte [%] >BG <sup>2</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>4</sup> ]
			Brunsbüttel (692)	15	6,6 – 29	0	<BG
Pagensander Nebenelbe (663)	20		4,9 – 26	0	<BG <sup>3</sup>	0	<BG <sup>3</sup>
Rethe/ Kattwyk (622 SE)	20		12 – 31	100	1,6 – 7,3 Median: 3,6	100	7,3 – 21 Median: 11,5
Boizenburg/ Barförde (559)	16		4 – 33	25	<NG – 1	81	<NG – 16 Median: 2,0
Gorleben (492)	20		21 – 38	0	<BG <sup>2</sup>	0	<BG <sup>2</sup>
Winterhafen Meißen (83)	3		12/ 26/ 29	100	35/ 16/ 22	100	7,5/ 4,4 /3,5
Hafen Prossen (13)	20		18 – 38	100	29 –90 Median: 68	100	1,8 – 7,5 Median: 5,1

<sup>1</sup>n = Zahl der analysierten Fische; <sup>2</sup>BG = Bestimmungsgrenze = 1-2 µg/kg FG; <sup>3</sup>BG = 0,1-0,5 µg/kg FG; <sup>4</sup>FG = Frischgewicht; SE = Süderelbe; NG = Nachweisgrenze

Zusammenfassend können auch aus den ermittelten Moschus-Xylol- und Moschus-Keton-Gehalten von Aalen die bereits aus Analysen von Brassen und Zandern beschriebenen beiden Eintragsquellen dieser Duftstoffe in die Elbe abgeleitet werden. Aus den hohen Moschus-Xylol-Gehalten von Aalen der Fangorte Winterhafen Meißen und Hafen Prossen wird deutlich, dass ein wesentlicher Eintrag dieser Verbindung in beiden Fangjahren (1994 und 1999) bereits auf dem Gebiet der Tschechischen Republik erfolgte. Auch Moschus-Keton wurde durch tschechische Abwassereinleitungen in die Elbe eingebracht. Die zweite wesentliche Eintragsquelle für die beiden Nitromoschus-Duftstoffe dürften Abwassereinleitungen des Hamburger Elbeabschnitts sein, durch die vor allem Moschus-Keton in die Elbe eingetragen wurde, wofür die hohen Moschus-Keton-Gehalte in den Aalen der Fangorte Moorburg (Fangjahr 1994) und Rethe/Kattwyk (Fangjahr 1999) sprechen.



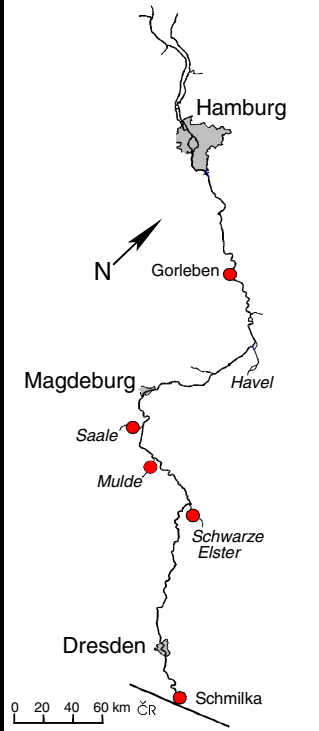
### 3.2.2.4.3 Untersuchungen im Unterlauf von Elbenebenflüssen

Die bisher vorgestellten Ergebnisse der Untersuchungen schwebstoffbürtiger Sedimente und verschiedener Fische hatten gezeigt, dass Abwassereinleitungen auf dem Gebiet der tschechischen Republik eine wesentliche Eintragsquelle für Nitromoschus-Duftstoffe in die Elbe darstellten, da sehr hohe Gehalte dieser Duftstoffe jeweils an Messstellen bzw. Fangorten nahe der tschechischen Grenze ermittelt worden waren.

Als zweite wesentliche Eintragsquelle von Moschus-Duftstoffen in die Elbe konnten bei den Untersuchungen schwebstoffbürtiger Sedimente (vgl. Kap. 3.2.1) die Elbenebenflüsse Mulde, Saale und Schwarze Elster identifiziert werden. Die Untersuchung von Fischen hatte keine Hinweise auf diese Eintragsquelle ergeben, da keine Fische aus den Elbenebenflüssen analysiert worden waren.

Im Rahmen einer Untersuchungskampagne vom Mai 1997 wurde der Gehalt der Nitromoschus-Duftstoffe von Aalen aus dem Unterlauf von Mulde, Saale und der Schwarzen Elster bestimmt (Tab. 20). Zum Vergleich wurden parallel Aalkontingente der Fangorte Schmilka und Gorleben untersucht. Durch diese Analysen sollte geprüft werden, inwieweit ein Eintrag von Moschus-Duftstoffen in die Elbe durch die Nebenflüsse vorhanden war. Aufgrund unterschiedlicher Zusammensetzung der Aalkontingente konnten die Ergebnisse nur erste Hinweise auf erhöhte Konzentrationen von Nitromoschus-Duftstoffen in Aalen aus den Elbenebenflüssen liefern. Die Einzelergebnisse der Analysen sind im Anhang in Tab. A 13 aufgeführt.

**Tab. 20** Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen verschiedener Fangorte der Elbe und von Elbenebenflüssen aus dem Fangjahr 1997

	Elbe/ Nebenflüsse	n <sup>1</sup>	Fettgehalt der Muskulatur [%]	Moschus-Xylol		Moschus-Keton	
	Fangorte (Strom-km)			Anzahl Werte [%] >BG <sup>2</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>3</sup> ]	Anzahl Werte [%] >BG <sup>2</sup>	Gehalt [µg/kg FG <sup>3</sup> ]
Gorleben (492,2)	30	12,2 – 26,4	60	<BG – 27 Median: 6	50	<BG – 9 Median: 3	
Saale (2,5-33,8) <sup>4</sup>	17	7,0 – 29	53	<BG – 12 Median: 3	65	<BG – 10 Median: 3	
Mulde (0,6-8) <sup>4</sup>	9	3,8 – 27,8	11	1 Wert: 4,7	11	1 Wert: 1,9	
Schwarze Elster (3,3-25,3) <sup>4</sup>	17	1,7 – 23	0	<BG	0	<BG	
Schmilka (4,1)	22	14 – 26	100	10 – 58 Median: 26	41	<BG – 5 50 %<BG	

<sup>1</sup>n = Zahl der analysierten Fische; <sup>2</sup>BG = Bestimmungsgrenze = 1 µg/kg FG; <sup>3</sup>FG = Frischgewicht, <sup>4</sup>km oberhalb der Einmündung in die Elbe

In mehr als der Hälfte der in der Saale gefangenen Aale wurden Nitromoschus-Duftstoffe in Gehalten oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 1 µg/kg FG nachgewiesen (Tab.

20). Moschus-Xylol wurde mit einem Gehalt bis maximal 12 µg/kg FG (Median: 3 µg/kg FG) und Moschus-Keton bis maximal 10 µg/kg FG (Median: 3 µg/kg FG) analysiert. Dagegen waren in keinem der in der Schwarzen Elster gefangenen Aale und lediglich in einem in der Mulde gefangenen Aal synthetische Nitromoschus-Duftstoffe nachweisbar. Eine Erklärung könnte der geringe Fettgehalt der Aale geben, da dieser auf einen hohen Anteil von Gelbaalen und Jungtieren in dem untersuchten Aalkontingent hinweist.

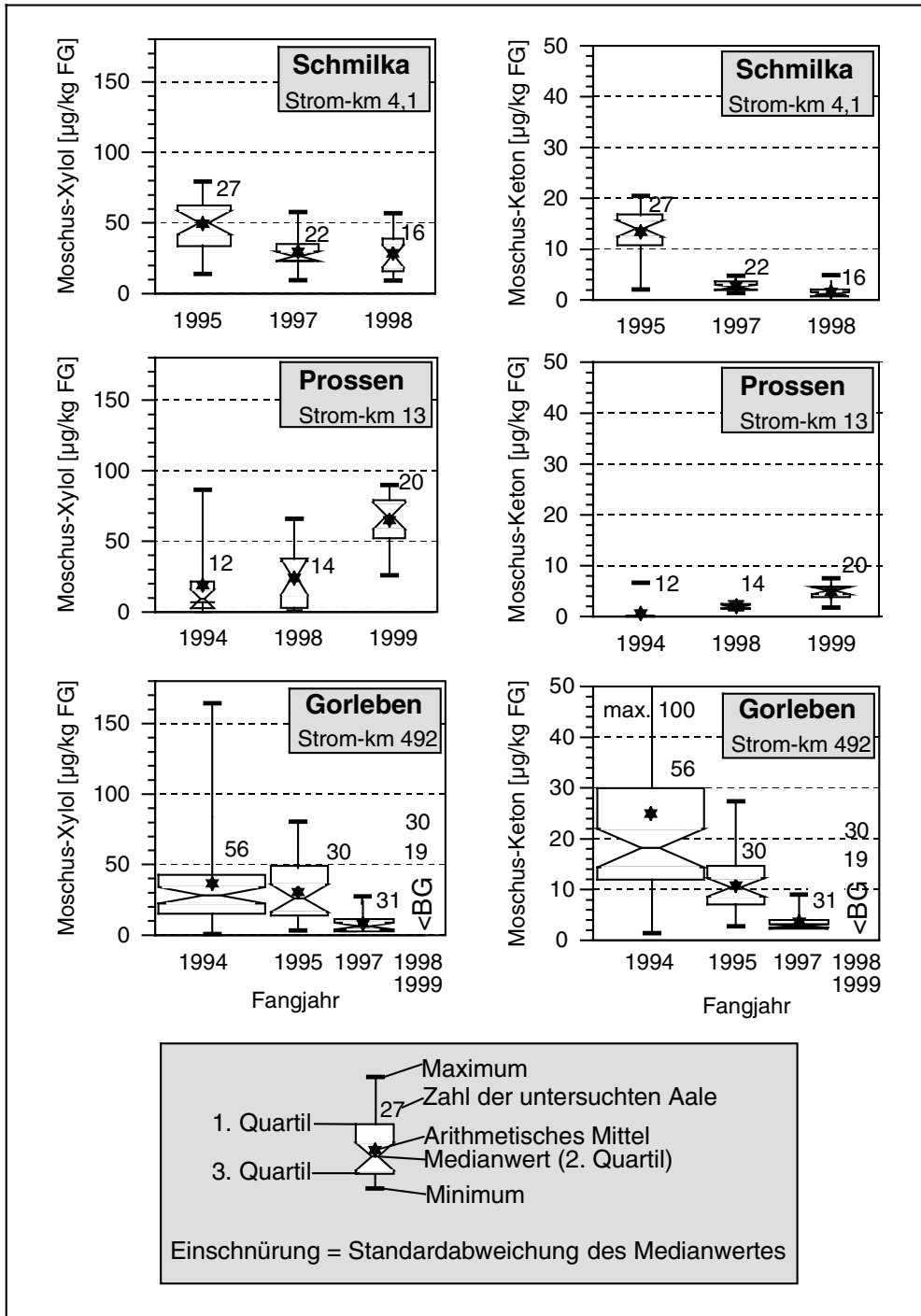
Am Fangort Schmilka wurde in allen Aalen Moschus-Xylol und in ungefähr der Hälfte der Fische Moschus-Keton bestimmt. Für den Moschus-Xylol-Gehalt wurde ein Medianwert von 26 µg/kg FG errechnet. Im Aalkontingent des Fangortes Schmilka war Moschus-Xylol in deutlich höheren Gehalten angereichert als in dem aus der Saale, während die Gehalte von Moschus-Keton an beiden Fangorten in derselben Größenordnung lagen. Aale vom Fangort Gorleben wiesen eine mit Aalen der Saale vergleichbare Anreicherung von Nitromoschus-Duftstoffen auf.

Die Ergebnisse lieferten aufgrund der hohen Moschus-Xylol-Gehalte des bei Schmilka gefangenen Aalkontingents eine Betätigung des Eintrags von Moschus-Xylol in der Tschechischen Republik. Für einen Eintrag von Nitromoschus-Duftstoffen durch die Nebenflüsse konnten keine eindeutigen Hinweise erhalten werden. In Zukunft sollten auch Untersuchungen von standorttreuen Fischen (Brassen oder Zander) aus dem Unterlauf der Nebenflüsse durchgeführt werden, um die Bedeutung als Eintragsquelle für Nitromoschus-Duftstoffe in die Elbe abschätzen zu können.

#### 3.2.2.4.4 Gehalte von 1994-1999

Seit Beginn der öffentlichen Diskussion über die Auswirkungen von Nitromoschus-Duftstoffen in aquatischen Ökosystemen und ihre mögliche Toxizität werden Anstrengungen unternommen, den Eintrag dieser synthetischen Substanzen in die Umwelt zu verringern. Hierzu ist der Neubau von Kläranlagen zu rechnen, aber auch die Empfehlung des deutschen Industrieverbandes Körperpflege und Waschmittel (IKW) an seine Mitgliedsunternehmen aus dem Jahr 1993, zukünftig auf die Verwendung von Moschus-Xylol in Körperpflege- und Reinigungsprodukten zu verzichten. Deshalb sollten im Rahmen dieses Berichtes die vorliegenden Analysenergebnisse aus verschiedenen Jahren dahingehend geprüft werden, inwieweit die angekündigten Maßnahmen zu einer Verringerung der Nitromoschus-Gehalte in Elbefischen geführt haben.

Für eine Beurteilung der Entwicklung der Nitromoschus-Gehalte in der Elbe standen folgende Ergebnisse zur Verfügung: Die im Rahmen von Elbelängsuntersuchungen ermittelten und bereits in Kap. 3.2.2.4.1 und 3.2.2.4.2 dargestellten Duftstoffgehalte von Aalkontingenten der Fangorte Hafen Prossen und Gorleben von 1994 (Tab. 18, Tab. A 9) und 1999 (Tab. 19, Tab. A 10). Außerdem lagen Ergebnisse der Gehalte von Aalen der Fangorte Schmilka, Hafen Prossen und Gorleben aus den Jahren 1995-1998 vor (Tab. A 11- Tab. A 14).



**Abb. 5** Zeitliche Entwicklung der Gehalte an Moschus-Xylol und Moschus-Keton in der Muskulatur von Elbeaalen zwischen 1994 und 1999

Um eine mögliche Änderung der Nitromoschus-Duftstoff-Gehalte in den Aalkontingenten der verschiedenen Fangorte deutlich zu machen, wurden die Ergebnisse als „Box and Whisker Plots“ dargestellt. Abb. 5 zeigt, dass sich der Moschus-Xylol-Gehalt in den Aalen des Fangortes Schmilka von 1995 bis 1997 um etwa die Hälfte verringerte (Median 1995: 51  $\mu\text{g/kg FG}$ , 1997: 26  $\mu\text{g/kg FG}$ ) und 1998 auf einem vergleichbaren Wert wie 1997 lag (Median: 26  $\mu\text{g/kg FG}$ ). Der Moschus-Keton-Gehalt verringerte sich zwischen 1995 und 1997 an diesem Fangort sogar noch stärker als der Moschus-Xylol-Gehalt (Median 1995: 13,9  $\mu\text{g/kg FG}$  und

1997: 2,6 µg/kg FG). Von 1997 bis 1998 ging der Moschus-Keton-Gehalt weiter auf 1,1 µg/kg FG zurück.

In Aalen des Fangortes Prossen dagegen stiegen die Gehalte der Nitromoschus-Duftstoffe zwischen 1994 und 1999 deutlich an. Die Medianwerte für Moschus-Xylol betragen 1994: 8,7 µg/kg FG; 1998: 25 µg/kg FG und 1999: 68 µg/kg FG. Damit war der Gehalt an Moschus-Xylol 1999 etwa achtfach höher als 1994. Analog dazu stiegen auch die Moschus-Keton-Gehalte (Median 1994: <1; 1998: 2 µg/kg FG und 1999: 5,1 µg/kg FG). Dieser Anstieg der Gehalte in den Fischen könnte möglicherweise auf einen 1998 und 1999 höheren Anteil an Blankaalen im untersuchten Aalkontingent als 1994 zurückzuführen sein. Einen ersten Hinweis darauf geben die Maximumwerte, die für Moschus-Xylol und Moschus-Keton 1994 und 1999 in der gleichen Größenordnung lagen.

Am Fangort Gorleben war von 1994 bis 1995 nur eine geringe Änderung des Moschus-Xylol-Gehaltes feststellbar (Median 1994: 28 µg/kg FG und 1995: 25 µg/kg FG), während der Gehalt an Moschus-Keton deutlich abnahm (Median 1994: 18 µg/kg FG und 1995: 10 µg/kg FG). Von 1995 bis 1997 dagegen sanken die Gehalte der Nitromoschus-Duftstoffe in den Fischen dieses Fangortes stark ab (Median 1997: 6 µg/kg FG Moschus-Xylol und 2,8 µg/kg FG Moschus-Keton). Von 1997 bis 1998 gingen die Gehalte soweit zurück, dass 1998 und 1999 keine Positivbefunde mehr erhalten wurden.

Zusammenfassend kann aus den vorliegenden Ergebnissen festgestellt werden, dass die Gehalte an Moschus-Xylol und Moschus-Keton in den Aalen der Fangorte Schmilka und Gorleben zwischen 1994 und 1999 deutlich abnahmen. Einschränkend muss allerdings erwähnt werden, dass Aale als Wanderfische nicht unbedingt die Verhältnisse des Fangortes abbilden. Die abnehmenden Duftstoffgehalte in Fischen der Fangorte Schmilka und Gorleben geben einen Hinweis darauf, dass auch die Duftstoffkonzentrationen im Elbewasser der untersuchten Jahre rückläufig waren, da Fische diese Duftstoffe aus dem Wasser über die Kiemen aufnehmen. Dem widersprechen die Ergebnisse des Fangortes Hafen Prossen, da in den Aalkontingenten dieses Fangortes steigende Gehalte ermittelt wurden. Für eine gesicherte Aussage über den zeitlichen Verlauf des Gehaltes von Nitromoschus-Duftstoffen in Elbefischen sollten in den nächsten Jahren weitere Untersuchungen durchgeführt werden, wobei auf eine vergleichbare Zusammensetzung der entsprechenden Aalkontingente unbedingt geachtet werden sollte.

### **3.2.2.5 Literaturdaten**

Durch die ARGE ELBE wurden von Fischen bislang ausschließlich die Gehalte der Nitromoschus-Duftstoffe Moschus-Xylol und Moschus-Keton untersucht. Die in Tab. 9 dargestellten Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in Fischen verschiedener Standorte und Arten zeigen, dass polycyclische Moschus-Duftstoffe an allen Standorten (darunter auch in der Elbe, Rimkus und Wolf 1997; Hajslova et al., 1998) jeweils in deutlich höherem Maße im Muskelfleisch angereichert waren als die Nitromoschus-Duftstoffe. Auch die durch Reduktion von Moschus-Xylol und Moschus-Keton gebildeten Aminometaboliten gelangen in deutlich höheren Konzentrationen als die Ausgangssubstanzen mit gereinigtem Abwasser in die Oberflächengewässer (Gatermann et al., 1998) und wurden bereits in verschiedenen Fischen nachgewiesen (Rimkus et al., 1999).

Wie bereits oben ausgeführt, dürfte bei standorttreuen Fischen der Nitromoschus-Gehalt des Muskelfleisches die Duftstoff-Konzentration des Wasserkörpers am Fangort widerspiegeln. Aufgrund dieser Abhängigkeit kann von den in Elbefischen ermittelten Gehalten der Nitromoschus-Duftstoffe auf die Konzentrationen dieser Verbindungen im Wasserkörper der Fangorte geschlossen werden. Da Moschus-Duftstoffe ausschließlich mit gereinigtem Abwasser in Oberflächengewässer eingetragen werden, sollte der Duftstoffgehalt der Fische unter Berücksichtigung dieser Zusammenhänge Hinweise zur Bewertung einzelner Elbeabschnitte hinsichtlich der Abwasserbelastung liefern.

Die in der Literatur aufgeführten Werte waren überwiegend auf den Lipidanteil der Muskulatur normiert. Daher wurden die Ergebnisse dieses Berichtes für Elbefische entsprechend umgerechnet und im Anhang in den Tab. A 5 - Tab. A 14 aufgeführt.

#### 3.2.2.5.1 Brassens

Für Brassens liegen einzelne Ergebnisse von 1993 vor (Rimkus und Wolf, 1993). Aus der Unterelbe wurden zwei Brassens untersucht, die Moschus-Xylol-Gehalte von 80-90 µg/kg Lipid und Moschus-Keton-Gehalte von ebenfalls 80-90 µg/kg Lipid aufwiesen. Die in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse von Brassensanalysen aus dem Jahr 1994 ergaben am Fangort Haseldorfer Binnenelbe Medianwerte von 73 µg/kg Lipid Moschus-Xylol und 113 µg/kg Lipid Moschus-Keton. Die Gehalte lagen somit in derselben Größenordnung wie die der Untersuchungen von Rimkus und Wolf (1993).

Rimkus und Wolf (1993) untersuchten außerdem Brassens aus den schleswig-holsteinischen Flüssen Trave, Schlei, Eider und Stör. Außerdem wurden Fische aus den Schönungsteichen kommunaler Kläranlagen analysiert, in denen ein sehr hoher Abwassereinfluss vorliegt. Da die Moschus-Xylol- und Moschus-Keton-Gehalte der Brassens im Längsverlauf der Elbe unterschiedlich verteilt waren, werden sie im Folgenden getrennt diskutiert.

Die Moschus-Xylol-Gehalte betragen in Brassens der schleswig-holsteinischen Flüsse 20-350 µg/kg Lipid (Rimkus und Wolf, 1993). In verschiedenen Fischen aus Schönungsteichen kommunaler Kläranlagen waren die Gehalte mit 21-753 µg/kg Lipid höher (Eschke et al., 1994). Die Moschus-Xylol-Gehalte der Elbefangorte Wahrenberg, Gorleben, Moorburg, Mühlenberger Loch, Fähmannsand, Haseldorfer Binnenelbe und Glückstadt (vorliegender Bericht) waren mit einem Maximalwert von 355 µg/kg Lipid (Median: 81 µg/kg Lipid) mit den in Flüssen Schleswig Holsteins bestimmten Gehalten vergleichbar. Im Elbeabschnitt zwischen dem Hafen Prossen und Klöden/Gallin wurden dagegen 1994 deutlich höhere Gehalte von bis zu 924 µg/kg Lipid ermittelt (Median: 336 µg/kg Lipid), die mit Gehalten aus Schönungsteichen in einer Größenordnung lagen und somit Hinweise auf einen hohen Abwassereinfluss für diesen Flussabschnitt gaben. Da die maximalen Gehalte am Fangort Hafen Prossen (Strom-km 13) bestimmt worden waren, ist zu vermuten, dass vor allem Abwassereinleitungen auf dem Gebiet der Tschechischen Republik für dieses Ergebnis verantwortlich waren.

Für Moschus-Keton stehen aus den oben genannten Untersuchungen von Rimkus und Wolf (1993) lediglich 3 Werte für die Stör zur Verfügung, die zwischen 70 und 210 µg/kg Lipid lagen. In Fischen aus Schönungsteichen wurden Gehalte von 74-1600 µg/kg Lipid Moschus-

Keton bestimmt (Eschke et al., 1994; Rimkus und Wolf, 1999). Im gesamten Längsverlauf der Elbe wurden bis auf die Fangorte Haseldorfer Binnenelbe und Mühlenberger Loch Moschus-Keton-Gehalte von bis zu 367 µg/kg Lipid (Median: 22 µg/kg Lipid) ermittelt, die größtenteils geringer waren als die in der Stör bestimmten Gehalte. An den Fangorten Haseldorfer Binnenelbe und Mühlenberger Loch wurden Moschus-Keton-Gehalte von maximal 699 µg/kg Lipid (Median: 79 µg/kg Lipid) analysiert. Diese Ergebnisse zeigen den Einfluss des Abwassers der Hamburger Klärwerke. Die Gehalte waren aber an diesen Fangorten deutlich niedriger als die von Fischen aus Schönungsteichen.

#### 3.2.2.5.2 Zander

Für Zander stehen zu den Gehalten des vorliegenden Berichtes Vergleichsergebnisse aus der Elbe bei Lauenburg und der Haseldorfer Binnenelbe zur Verfügung (Rimkus und Wolf, 1997). Die an den beiden Fangorten ermittelten Gehalte von <10-90 µg/kg Lipid Moschus-Xylol und 10-70 µg/kg Lipid Moschus-Keton sind nahezu identisch mit den 1994 im Elbeabschnitt von Boizenburg bis Pagensander Nebanelbe bestimmten Gehalten (Moschus-Xylol: <10-80 µg/kg Lipid; Moschus-Keton: <10-70 µg/kg Lipid). Die 1993 in der Stör und Trave ermittelten Gehalte von 130-170 µg/kg Lipid Moschus-Xylol und 70 µg/kg Lipid Moschus-Keton (Rimkus und Wolf, 1993) waren etwa doppelt so hoch wie die Gehalte im Unterlauf der Elbe und geben Hinweise auf einen im Vergleich zur Elbe höheren Abwassereinfluss in den beiden schleswig-holsteinischen Flüssen.

#### 3.2.2.5.3 Aale

Rimkus und Wolf (1993) untersuchten Aale der schleswig-holsteinischen Flüsse Trave, Schlei, Eider und Stör. Fromme et al. (1999) bestimmten die Nitromoschus-Duftstoff-Gehalte von Aalen aus abwasserbelasteten Standorten im Stadtgebiet von Berlin (13 Gewässer, u. a. Havel, Spree, Teltow-Kanal, Wuhle). Außerdem liegen Untersuchungsergebnisse von Fischen aus Schönungsteichen kommunaler Kläranlagen vor, die stark abwasserbeeinflusste Systeme repräsentieren. Da in Aalen der Elbe die Moschus-Xylol- und Moschus-Keton-Gehalte im Längsverlauf unterschiedlich verteilt waren, werden sie getrennt diskutiert.

Die Moschus-Xylol-Gehalte der 1993 aus Eider, Trave, Schlei und Stör untersuchten Aale betragen 10-70 µg/kg Lipid. In Schönungsteichen wurden dagegen Gehalte zwischen 205 und 265 µg/kg Lipid analysiert (Rimkus und Wolf, 1999). Die Moschus-Xylol-Gehalte der Aale aus abwasserbelasteten Berliner Gewässern wurden 1995-1996 mit maximal 170 µg/kg FG (Mittelwert: 39 µg/kg FG) angegeben (Fromme et al., 1999). Die im Rahmen dieses Berichtes vorgelegten Moschus-Xylol-Gehalte der Fangorte Boizenburg, Hohnstorf und Pagensander Nebanelbe waren mit <10-70 µg/kg Lipid mit den in Flüssen Schleswig Holsteins bestimmten Gehalten vergleichbar. Im Elbeabschnitt nahe der tschechischen Grenze wurden an den Fangorten Hafen Prossen und Klöden/Gallin dagegen im Fangjahr 1994 Gehalte bis zu 924 µg/kg Lipid Moschus-Xylol (Median: 141 µg/kg Lipid) bzw. bis zu 99 µg/kg FG Moschus-Xylol (Median 23 µg/kg FG) ermittelt. 1999 wurden am grenznahen Fangort Hafen Prossen (Strom-km 13) 93-329 µg/kg Lipid Moschus-Xylol (Median: 236 µg/kg Lipid) bzw. 16-87 µg/kg FG Moschus-Xylol (Median: 66 µg/kg FG) bestimmt. Diese Ergebnisse waren mit den Gehalten

der Aale aus Berliner Gewässern und aus Schönungsteichen vergleichbar und belegen einen hohen Abwassereinfluss auf die Elbe nahe der Grenze zur Tschechischen Republik.

Für Moschus-Keton liegen aus den oben genannten Untersuchungen von Rimkus und Wolf (1993) lediglich vier Werte für Aale aus der Stör vor, die zwischen 10 und 40 µg/kg Lipid betragen. In Schönungsteichen wurden in verschiedenen Fischen Gehalte von 74-1600 µg/kg Lipid Moschus-Keton bestimmt (Eschke et al., 1994; Rimkus und Wolf, 1999). In den Berliner Untersuchungen wurden Moschus-Keton-Gehalte von bis zu 260 µg/kg FG (1995) und bis zu 380 µg/kg FG (1996) gefunden. In der Elbe wurden über den gesamten Verlauf 1994 Gehalte von maximal 390 µg/kg Lipid (entspricht maximal 100 µg/kg FG) und 1999 Maximalgehalte von 76 µg/kg Lipid (entspricht maximal 21 µg/kg FG) ermittelt. Diese Gehalte sind deutlich niedriger als die in den Berliner Gewässern oder Schönungsteichen bestimmten und zeigen daher den im Vergleich zu diesen Standorten geringeren Abwassereinfluss auf die Elbe.

Außerdem belegen die Untersuchungen der letzten Jahre, dass der Gehalt an Moschus-Xylol deutlich rückläufig war. Aale des abwasserbelasteten Teltowkanals in Berlin wurden von 1991-1998 jährlich untersucht. Dabei wurde zwischen 1993 und 1994 ein starker Rückgang des Moschus-Xylol-Gehaltes in der Muskulatur gefunden (etwa 90 %), von 1995-1998 war ein weiterer geringfügiger Rückgang der Gehalte festzustellen (Heberer et al. 2000). Auch in den Elbeaalen wurde zwischen 1994 und 1999 an einigen Fangorten eine starke Abnahme der Moschus-Xylol-Gehalte analysiert (vgl. 3.2.2.4.4 Gehalte von 1994-1999). Diese abnehmenden Duftstoffgehalte von Aalen aus Berliner Gewässern und der Elbe sind auf einen verringerten Eintrag von Moschus-Xylol in die Oberflächengewässer zurückzuführen, als Folge der 1993 ausgesprochenen Empfehlung des Deutschen Industrieverbandes Körperpflege und Waschmittel, auf die Verwendung von Moschus-Xylol in Produkten künftig zu verzichten. Dieser Verzicht führte außerdem dazu, dass bei Untersuchungen im Jahr 1999 (siehe vorliegender Bericht und Tab. 9) Moschus-Keton der vorherrschende Nitromoschus-Duftstoff in Fischen war.

### 3.3 Ergebnisse: Synthetische polycyclische Moschus-Duftstoffe

Die Verteilung der polycyclischen Moschus-Duftstoffe HHCB (Galaxolide®) und AHTN (Tonalide®) im Längsprofil der Elbe wurde zunächst 1996/1997 in Wasserproben untersucht. In den Jahren 1998 und 1999 wurde außerdem die Verteilung verschiedener, häufig eingesetzter Verbindungen dieser Stoffklasse in schwebstoffbürtigen Sedimenten im Längsprofil der Elbe analysiert. Bestimmt wurden die Konzentrationen von HHCB, AHTN, ADBI (Celestolide®), AHDI (Phantolide®), ATII (Traseolide®) und DPMI (Cashmeran®). Die chemischen Bezeichnungen und Strukturformeln dieser Verbindungen sind im Anhang in Tab. A 2 aufgeführt.

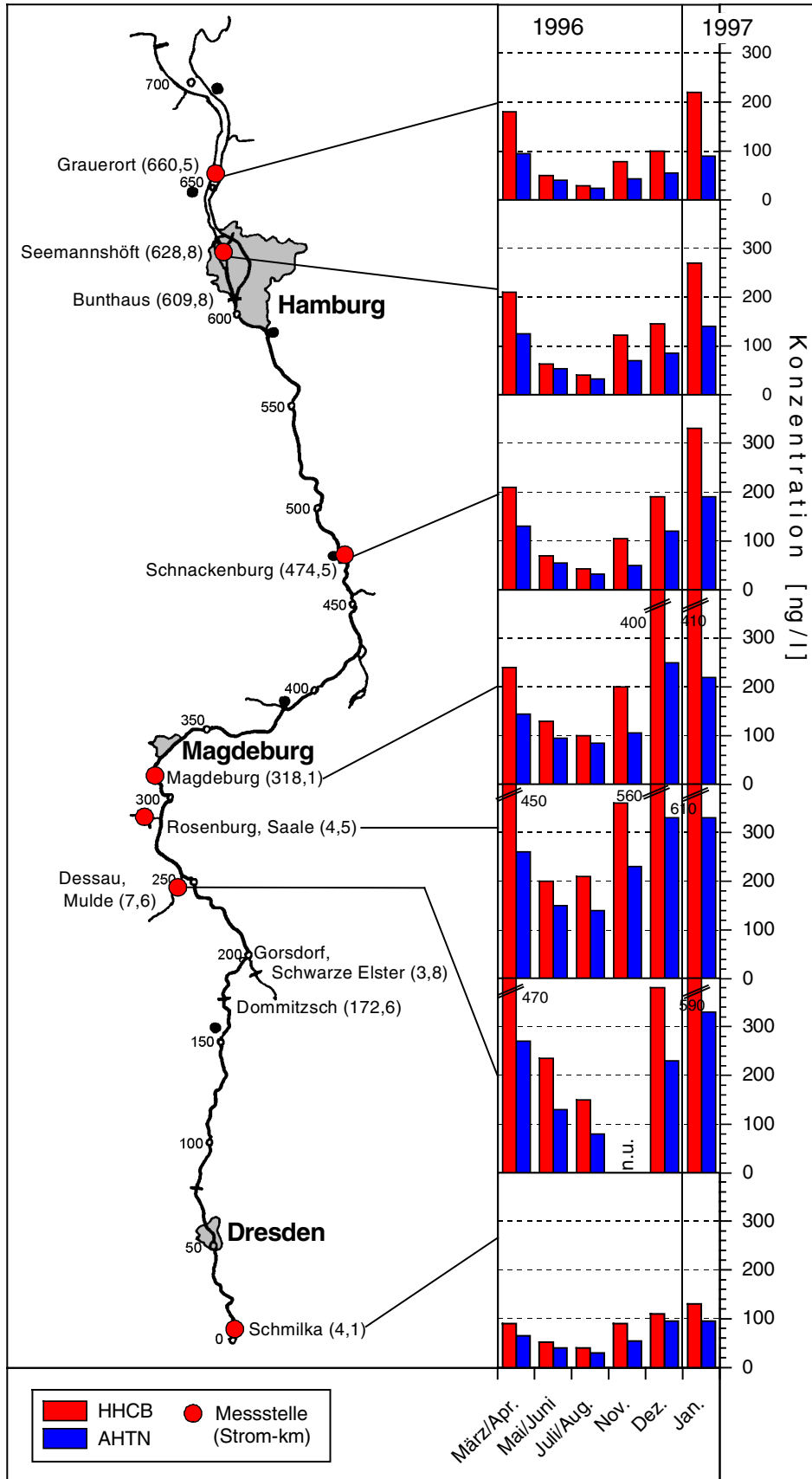
#### 3.3.1 Wasserproben

Für Wasserproben lagen Daten aus einem Sonderuntersuchungsprogramm von März 1996 bis Januar 1997 vor. Im Abstand von zwei Monaten wurden Probenserien der Messstellen Schmilka, Magdeburg, Schnackenburg, Seemannshöft und Grauerort, sowie Dessau (Mulde) und Rosenberg (Saale) analysiert. In den Proben wurden jeweils die Konzentrationen der polycyclischen Moschusverbindungen HHCB und AHTN bestimmt. Die Einzelergebnisse der Analysen sind im Anhang in Tab. A 15 aufgeführt.

HHCB und AHTN waren in allen Wasserproben in Konzentrationen oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 1 ng/l nachweisbar. Die Werte lagen im Bereich von 29-610 ng/l HHCB und 24-330 ng/l AHTN. Dabei wurden an allen Messstellen die niedrigsten Konzentrationen in der Probe vom Juli/August 1996 (29-210 ng/l HHCB) und die höchsten Werte in der Probe vom Januar 1997 (130-610 ng/l HHCB) bestimmt (Abb. 6). Die Konzentration betrug im Winter an allen Messstellen das 3-8fache des Sommerwertes. Dies weist auf einen jahreszeitlich beeinflussten Verlauf der Konzentration von HHCB und AHTN hin.

Außerdem war die Konzentration an HHCB in allen Proben höher als die AHTN-Konzentration. Das Konzentrationsverhältnis HHCB : AHTN war relativ konstant und betrug durchschnittlich 1,6 : 1. Dies war wahrscheinlich eine Folge der eingesetzten Mengen der beiden Duftstoffe. HHCB wurde in den Produkten gegenüber AHTN in der 2,5fachen Menge eingesetzt (van de Plassche und Balk, 1997). Die höheren Produktkonzentrationen fanden sich in der Konzentration der Oberflächengewässer wieder, wenn auch aufgrund unterschiedlicher Verteilungskoeffizienten nicht proportional zum Verhältnis der Konzentrationen in den Produkten. In der Literatur wird auch für andere Gewässer ein konstantes Konzentrationsverhältnis beschrieben. Eschke et al. (1995a) bestimmten in Abläufen kommunaler Kläranlagen ein Verhältnis HHCB : AHTN = 1,6 : 1. Winkler et al. (1998) fanden in der Elbe bei Magdeburg ein Verhältnis von HHCB : AHTN = 2 : 1. Dasselbe Verhältnis wurde auch in verschiedenen Berliner Gewässern (Havel, Spree, Teltow-Kanal u.a.) durch Heberer et al. (1999) gefunden.





**Abb. 6** Konzentration von HHCb und AHTN in Wasserproben verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale von März 1996 bis Januar 1997, n.u. = nicht untersucht

### 3.1.1.1 Verteilung im Längsprofil der Elbe

Im Längsverlauf der Elbe wurden an der Messstelle Schmilka mit Werten von 40-130 ng/l HHCB und 30-95 ng/l AHTN die niedrigsten Konzentrationen der polycyclischen Moschus-Duftstoffe des gesamten deutschen Elbeabschnitts bestimmt (Abb. 6).

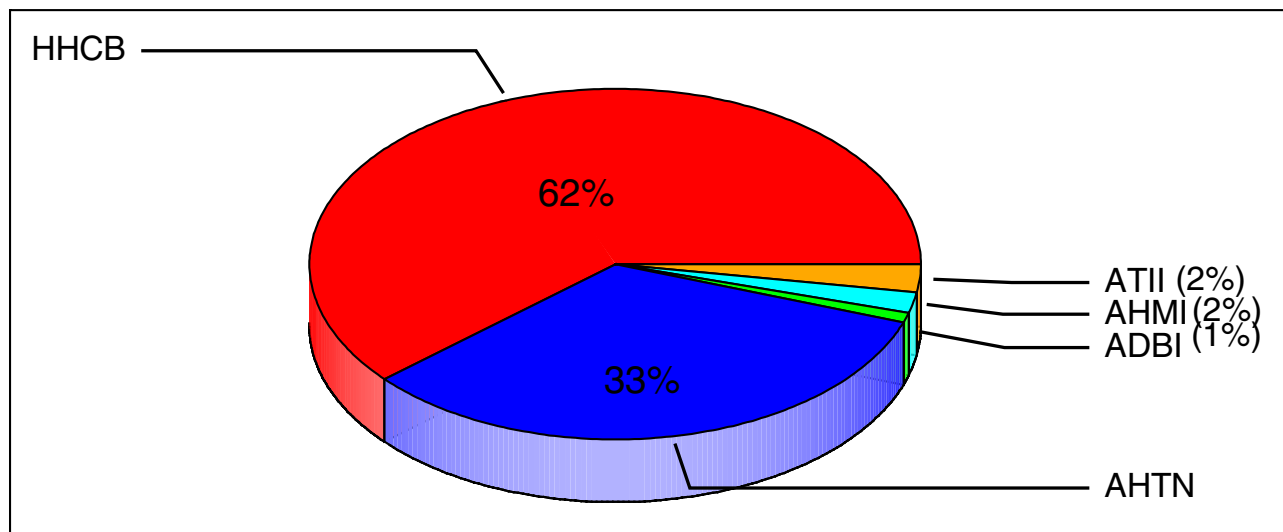
In Mulde und Saale wurden dagegen hohe Konzentrationen von bis zu 610 ng/l HHCB und 330 ng/l AHTN gefunden. Nach Einmündung dieser beiden Nebenflüsse waren die Konzentrationen von HHCB und AHTN in der Elbe bei Magdeburg (100-410 ng/l HHCB und 85-220 ng/l AHTN) gegenüber den bei Schmilka gemessenen Konzentrationen (s. o.) deutlich erhöht. Von Magdeburg bis zur Elbemündung nahmen die Konzentrationen dann stetig ab (Magdeburg: s. o.; Schnackenburg: 43-330 ng/l HHCB und 32-190 ng/l AHTN; Seemannshöft: 40-270 ng/l HHCB und 32-140 ng/l AHTN; Grauerort: 29-220 ng/l HHCB und 24-95 ng/l AHTN). Hierfür dürften die Verdünnung des Wasserkörpers infolge des zunehmenden Oberwasserabflusses und/oder der Tideinfluss verantwortlich sein.

Aus diesen Ergebnissen konnten Mulde und Saale als wesentliche Eintragsquellen von polycyclischen Moschus-Duftstoffen in die Elbe identifiziert werden. Aus den Ergebnissen der Wasseranalysen der Jahre 1996/97 konnte kein Eintrag von polycyclischen Moschus-Duftstoffen in der Tschechischen Republik abgeleitet werden.

### 3.3.2 Schwebstoffbürtige Sedimente

Aus dem Routinemessprogramm der ARGE ELBE liegen aus den Jahren 1998 und 1999 erste Ergebnisse für die Gehalte verschiedener polycyclischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten vor. Dabei wurden Zweimonatsmischproben der Elbemesststellen Schmilka, Domnitzsch, Bunthaus, Schnackenburg, Seemannshöft und Grauerort sowie der Messstellen Gorsdorf an der Schwarzen Elster, Rosenberg an der Saale und Dessau an der Mulde untersucht. Die analytische Bestimmungsgrenze lag für alle untersuchten polycyclischen Moschus-Duftstoffe bei 0,5 µg/kg TM. Die Einzelergebnisse der Analysen sind im Anhang in Tab. A 17 zusammengestellt.

Die Duftstoffe HHCB und AHTN waren in allen Proben vorhanden. ADBI, AHDI und ATII wurden in den meisten schwebstoffbürtigen Sedimenten nachgewiesen. DPMI wurde dagegen in keiner Probe gefunden (BG = 0,5 µg/kg TM). Das Verhältnis der Gehalte der verschiedenen Duftstoffe zueinander war relativ konstant. In den schwebstoffbürtigen Sedimenten machten HHCB und AHTN zusammen etwa 95 % des Gehaltes der polycyclischen Moschus-Duftstoffe aus. ADBI, ATII und AHMI stellten dagegen nur 5 % der Gesamtmenge (Abb. 7). Dieses Verhältnis gab den entsprechenden Anteil der mit den Produkten des privaten Bedarfs in die Gewässer eingetragenen Duftstoffe wieder. Nach van de Plassche und Balk (1997) hatten HHCB und AHTN bei den in Produkten eingesetzten polycyclischen Moschus-Duftstoffen in Europa zusammen einen Marktanteil von über 95 %. Die prozentualen Anteile für die einzelnen Messstellen sind im Anhang (Tab. A 18) aufgeführt.



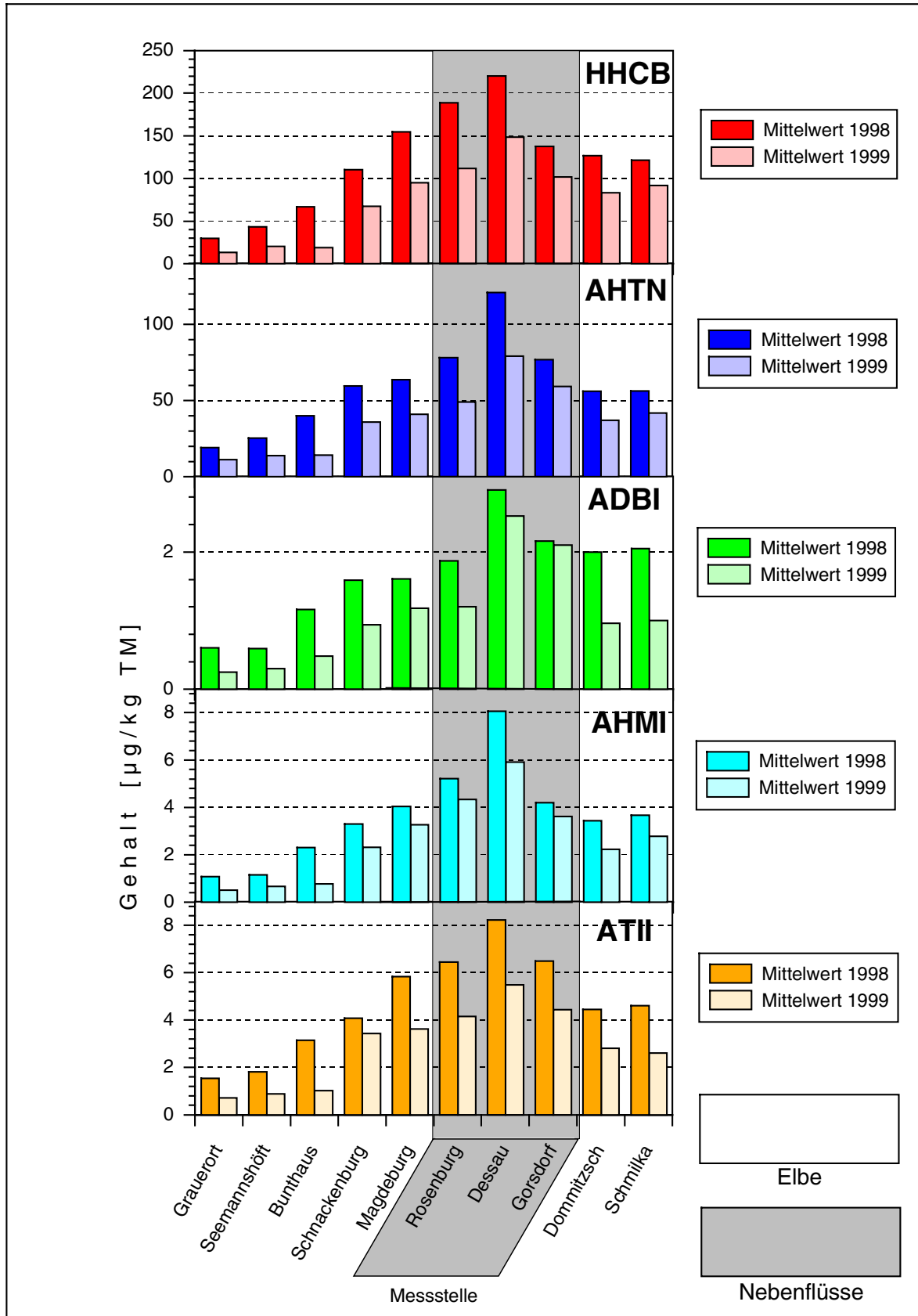
**Abb. 7** Verteilung polycyclischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten (Zweimonatsmischproben) der Elbe und aus dem Mündungsbereich von Saale, Mulde und Schwarze Elster von 1998 und 1999 (Mittelwerte)

### 3.1.1.2 Verteilung im Längsprofil der Elbe

Die Verteilung der polycyclischen Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten im Längsprofil der Elbe kann am anschaulichsten anhand der Jahresmittelwerte gezeigt werden. Alle Mittelwerte der verschiedenen Messstellen von 1998 und 1999 sind im Anhang in Tab. A 19 aufgeführt und in Abb. 8 dargestellt. Da die Verteilung dieser Duftstoffe im Längsverlauf der Elbe in den beiden untersuchten Jahren vergleichbar war, soll sie im Folgenden nur anhand der Jahresmittelwerte von 1998 für HHCB erläutert werden.

An den Messstellen Schmilka (122 µg/kg TM) und Dommitzsch (127 µg/kg TM) wurden hohe Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe in den schwebstoffbürtigen Sedimenten bestimmt. Die schwebstoffbürtigen Sedimente enthielten somit bereits beim Übertritt aus der Tschechischen Republik hohe Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe, die vermutlich auf Abwassereinleitungen im tschechischen Elbeabschnitt zurückzuführen waren. Das steht im Widerspruch zu den Duftstoffgehalten von Wasserproben der Messstelle Schmilka von 1996/97, die keinen Hinweis auf einen Eintrag polycyclischer Moschus-Duftstoffe in den tschechischen Elbeabschnitt gaben (vgl. 3.3.1). Die Ursache für diese unterschiedliche Verteilung der polycyclischen Moschus-Duftstoffe ist nicht bekannt.

In den Mündungsbereichen von Mulde, Saale und Schwarze Elster wurden hohe Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe bestimmt. Die höchsten Gehalte wurden dabei mit Werten von bis zu 400 µg/kg TM HHCB in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Mulde gefunden (Messstelle Dessau), die im Mittel fast doppelt so hoch mit Moschus-Duftstoffen beladen waren (Jahresmittelwert 1998: 220 µg/kg TM HHCB) wie die schwebstoffbürtigen Sedimente der Elbemesstelle Dommitzsch (127 µg/kg TM) vor Einmündung der Nebenflüsse. Auch die schwebstoffbürtigen Sedimente der Saale (Messstelle Rosenberg) wiesen deutlich höhere Gehalte als die der Elbe auf (Jahresmittelwert 1998: 189 µg/kg TM HHCB), während die schwebstoffbürtigen Sedimente der Schwarzen Elster (Messstelle Gorsdorf) im Vergleich zur Elbe nur geringfügig höher mit Moschus-Duftstoffen beladen waren.



**Abb. 8** Jahresmittelwerte der Gehalte von HHCB, AHTN, ADBI, AHMI und ATII in schwebstoffburtigen Sedimenten (Zweimonatsmischproben) verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und aus dem Mündungsbereich von Saale (Messstelle Rosenberg), Mulde (Messstelle Dessau) und Schwarze Elster (Messstelle Gorsdorf) von 1998 und 1999

Ein weiterer Eintrag von polycyclischen Moschus-Duftstoffen erfolgte somit vor allem durch die Mulde und die Saale. Nach Einmündung der Nebenflüsse Mulde, Saale und Schwarze Elster waren die Gehalte in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe deutlich erhöht. An der Messstelle Magdeburg (Jahresmittelwert 1998: 155 µg/kg TM HHCB) wurden für alle untersuchten Duftstoffe (mit Ausnahme von ADBI) die höchsten Gehalte gemessen, was auf einen wesentlichen Eintrag dieser Substanzen durch die Nebenflüsse schließen ließ. Im Elbeabschnitt von Magdeburg bis Grauerort nahmen die gemittelten Gehalte ab: Magdeburg 155 µg/kg TM; Schnackenburg 110 µg/kg TM; Bunthaus 67 µg/kg TM; Seemannshöft 43 µg/kg TM und Grauerort 30 µg/kg TM. Diese Verteilung zeigt, dass im Elbeabschnitt unterhalb von Magdeburg keine für das Gesamtsystem relevanten Mengen an Moschus-Duftstoffen in die Elbe eingetragen wurden.

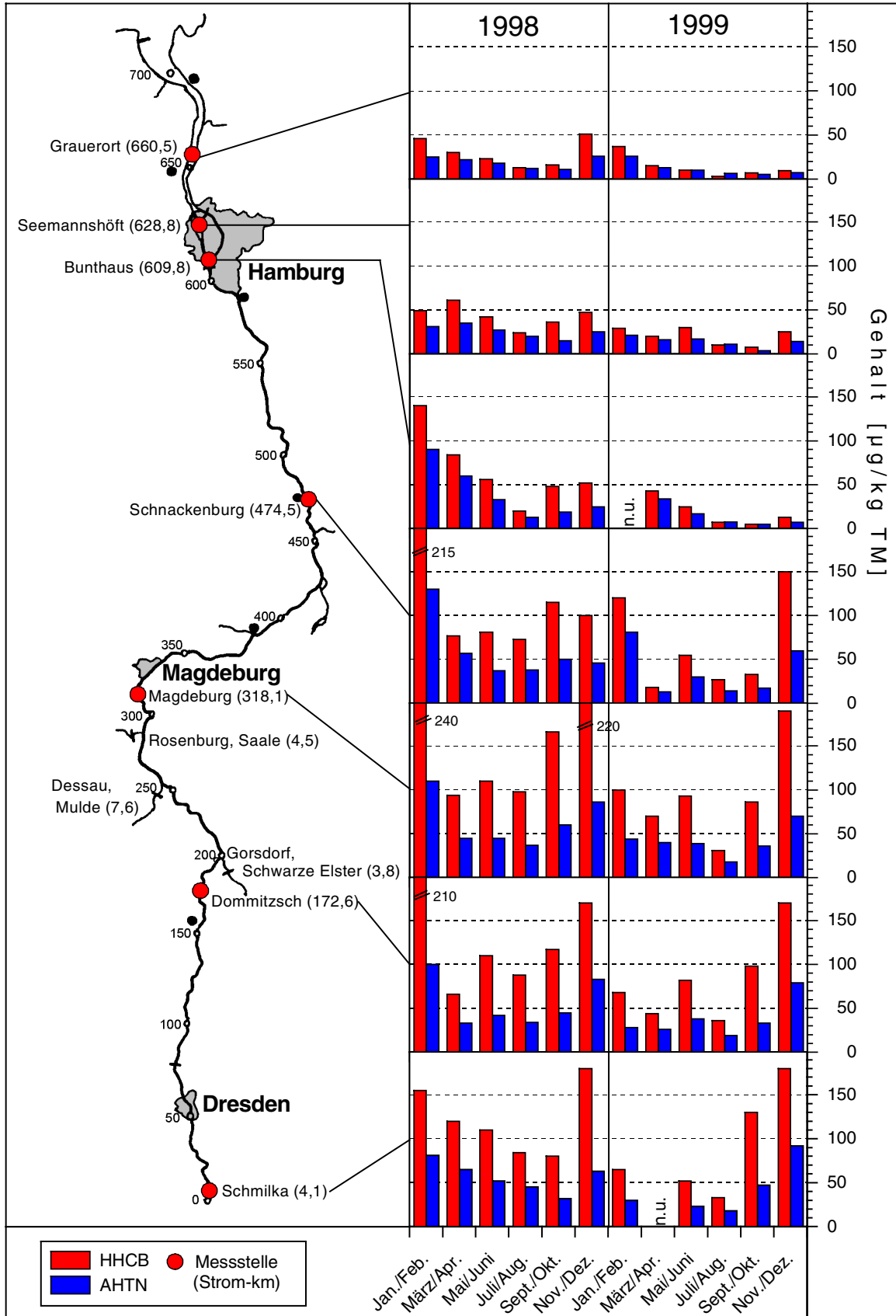
Die Rangfolge der Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten an den 1998 und 1999 untersuchten Messstellen der Elbe und der untersuchten Nebenflüsse betrug nach diesen Untersuchungen bis auf wenige Ausnahmen:

**Grauerort < Seemannshöft < Bunthaus < Schnackenburg < Domnitzsch < Schmilka < Magdeburg < Gorsdorf (Schwarze Elster) < Rosenberg (Saale) < Dessau (Mulde)**

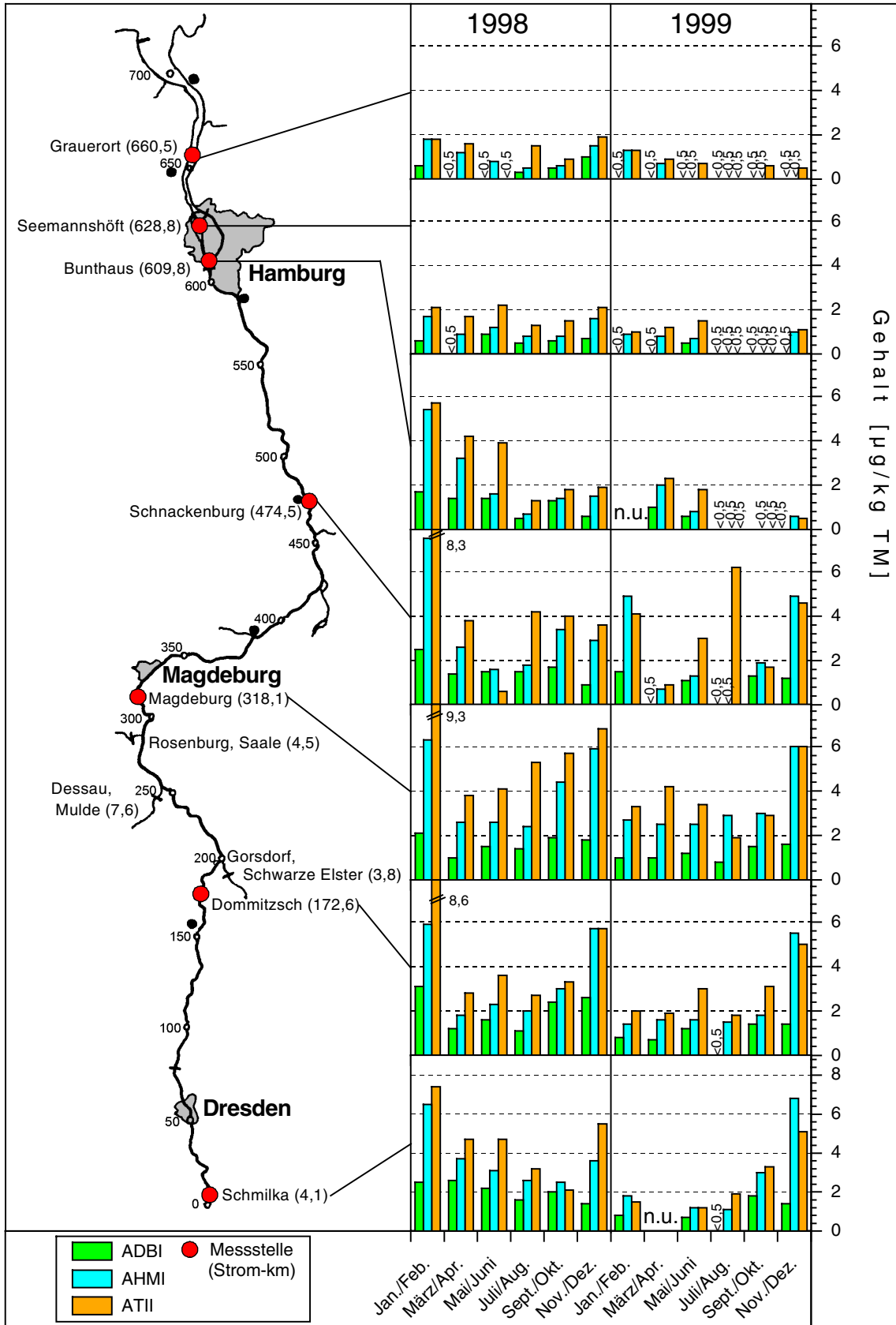
Zusammenfassend kann aus der Verteilung der Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe von schwebstoffbürtigen Sedimenten im Längsverlauf der Elbe abgeleitet werden, dass polycyclische Moschus-Duftstoffe vor allem durch zwei Quellen in die Elbe eingetragen wurden. Ein wesentlicher Eintrag erfolgte durch Abwassereinträge in der Tschechischen Republik, was sich in hohen Duftstoff-Gehalten in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der grenznahen Messstelle Schmilka dokumentierte. Der zweite wesentliche Eintrag polycyclischer Moschus-Duftstoffe in die Elbe erfolgte über die Elbenebenflüsse, insbesondere Mulde und Saale, der zum erhöhten Gehalt in den Schwebstoffen der Messstelle Magdeburg führte. Für die polycyclischen Moschus-Duftstoffe konnten somit die gleichen Eintragsquellen identifiziert werden wie für den Nitromoschus-Duftstoff Moschus-Keton.

### **3.3.2.1 Saisonaler Verlauf**

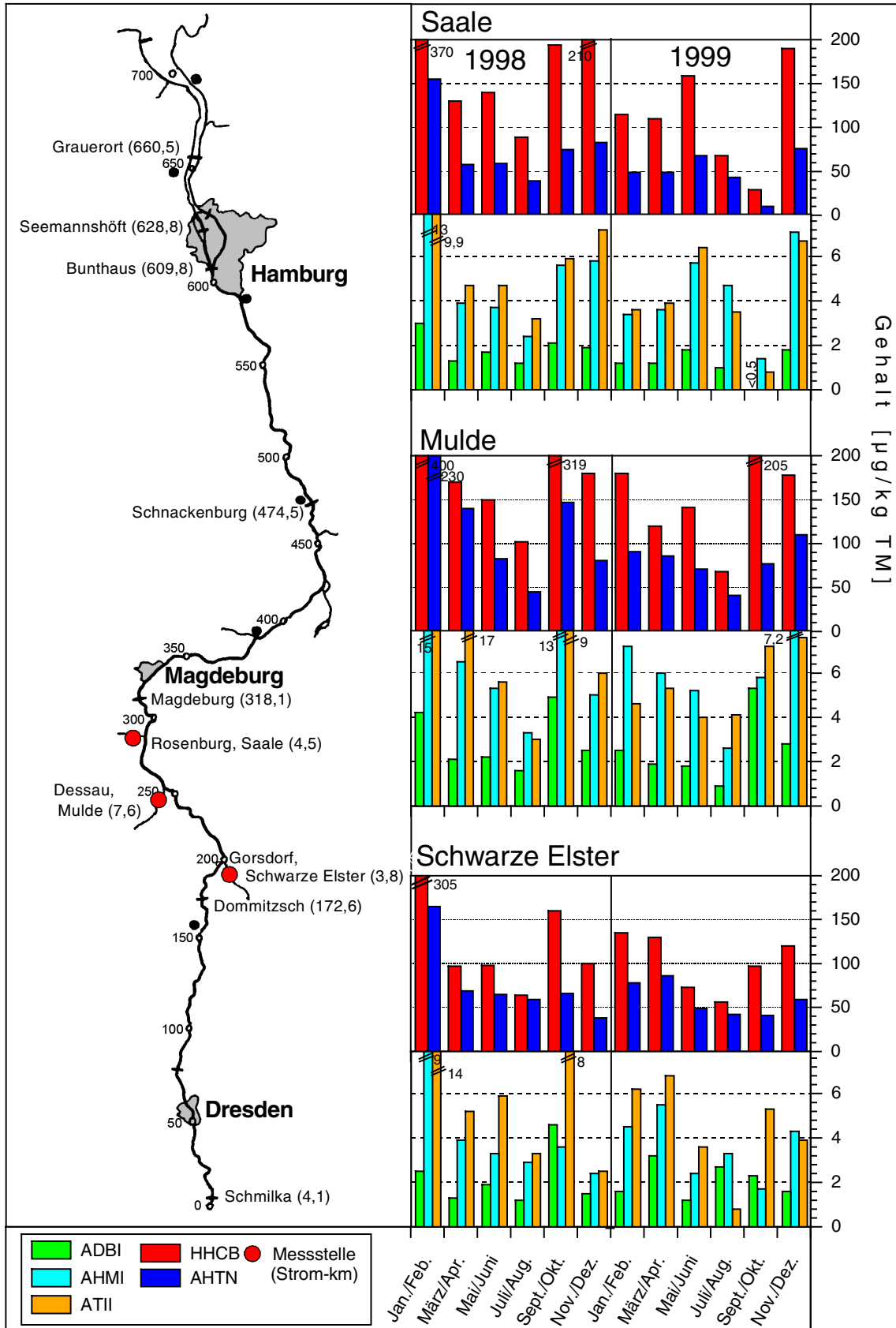
Die Ergebnisse der Analysen von synthetischen, polycyclischen Moschusduftstoffen sind in den Abb. 9-11 und außerdem im Anhang in Tab. A 17 dargestellt. Die Gehalte von HHCB und AHTN zeigten an nahezu allen Messstellen einen deutlichen saisonalen Verlauf, für den bereits die Untersuchungen von Wasserproben in den Jahre 1996/1997 Hinweise geliefert hatten. Dabei wurde im Sommer jeweils der niedrigste HHCB-Gehalt ermittelt, der zumeist in der Probe vom Juli/August analysiert wurde. In den Wintermonaten wurden 3-5fach höhere Werte ermittelt. Der höchste Wert trat 1998 an 7 der 10 untersuchten Messstellen in der Probe vom Januar/Februar auf. 1999 wurde der höchste HHCB-Gehalt überwiegend in der Probe vom November/Dezember analysiert. Diese Ergebnisse belegen einen jahreszeitlich beeinflussten Verlauf des HHCB-Gehaltes. Der AHTN-Gehalt folgte dem HHCB-Gehalt weitgehend (Abb. 9).



**Abb. 9** Gehalte von HHCB und AHTN in schwebstoffbürtigen Sedimenten (Zweimonats-mischproben) verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe von Januar 1998 bis Dezember 1999, n.u. = nicht untersucht



**Abb. 10** Gehalte von ADBI, AHMI und ATII in schwebstoffbürtigen Sedimenten (Zweimonatsmischproben) verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe von Januar 1998 bis Dezember 1999, n.u. = nicht untersucht



**Abb. 11** Gehalte von HHCb, AHTN, ADBI, AHMI und ATII in schwebstoffbürtigen Sedimenten (Zweimonatsmischproben) aus dem Mündungsbereich der Nebenflüsse Mulde, Saale und Schwarze Elster von Januar 1998 bis Dezember 1999



ADBI wurde in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe nur in sehr geringen Gehalten von maximal 3,1 µg/kg TM bestimmt. Bei durchschnittlichen Gehalten von  $\leq 2$  µg/kg TM war kein jahreszeitlicher Verlauf mehr feststellbar. AHMI und ATII wurden in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe in Gehalten von bis zu 9,3 µg/kg TM nachgewiesen, bei Jahresmittelwerten von 3-6 µg/kg TM war ein saisonaler Verlauf zumeist vorhanden. Lediglich im Bereich der Tideelbe waren die Gehalte von AHMI und ATII in den schwebstoffbürtigen Sedimenten mit Jahresmittelwerten von  $< 2$  µg/kg TM so gering, dass sich kein saisonaler Verlauf nachweisen ließ.

In den schwebstoffbürtigen Sedimenten von Mulde, Saale und Schwarzer Elster wurden dagegen höhere Gehalte von bis zu 5,3 µg/kg TM ADBI, bis zu 15 µg/kg TM AHMI und bis zu 17 µg/kg ATII gefunden. Die Jahresmittelwerte betragen 1,2-2,9 µg/kg TM ADBI, 3,6-8,1 µg/kg AHMI und 4,2-8,2 µg/kg ATII. Für diese drei polycyclischen Moschus-Duftstoffe wurde in den Nebenflüssen jeweils ein jahreszeitlicher Verlauf der Duftstoff-Gehalte gefunden (Abb. 11).

### **3.3.2.2 Jahresmittelwerte von 1998 und 1999**

Die Jahresmittelwerte aller polycyclischen Moschus-Duftstoffe waren 1999 deutlich niedriger als 1998 (Abb. 8). Von Schmilka bis Schnackenburg war der Jahresmittelwert 1999 um 25-40 % niedriger als der Jahresmittelwert 1998. Im Bereich der Tideelbe betrug der Rückgang sogar 50-70 %. Dies weist auf eine verringerte Verwendung dieser Substanzen in den Produkten des täglichen Bedarfs hin. Die Produktionsmenge synthetischer, polycyclischer Moschus-Duftstoffe der europäischen Duftstoffindustrie ging in den letzten Jahren deutlich zurück (Jahresmengen 1992: 3285 t, 1995: 2191 t; 1998: 1897 t, Muermann, pers. Mitt.). Auch Ergebnisse der Zeitschrift ÖKO-TEST zeigen (Tab. 5 und Abb. 4), dass der Anteil von moschus-duftstoffhaltigen Produkten am Markt aufgrund der öffentlichen Diskussion seit Jahren rückläufig ist. Daraus kann geschlossen werden, dass auch die in die Oberflächengewässer eingetragene Menge synthetischer Moschus-Duftstoffe in den letzten Jahren zurückgegangen ist, was vermutlich zur beobachteten Abnahme der Gehalte in den schwebstoffbürtigen Sedimenten führte.

### **3.3.3 Literaturdaten**

#### **3.1.1.3 Jahreszeitliche Dynamik**

In den bisherigen Veröffentlichungen ist kein jahreszeitlicher Verlauf der Konzentrationen von Moschus-Duftstoffen in Gewässern beschrieben worden. Winkler et al. (1998) analysierten über den Zeitraum von einem Jahr mit zweiwöchentlicher Probenahme Schwebstoffproben aus der Elbe bei Magdeburg. Dabei fanden die Autoren keinerlei saisonalen Verlauf der Gehalte, was sie auf einen jahreszeitlich unabhängigen Eintrag synthetischer Moschus-Duftstoffe über die Abläufe kommunaler Kläranlagen zurückführten.

Im Rahmen der hier vorgestellten Untersuchungen wurden von März 1996 bis Januar 1997 in Zweimonatsintervallen die Konzentrationen synthetischer Moschus-Duftstoffe in Wasserproben erfasst. Für Gehalte der schwebstoffbürtigen Sedimente standen Analyseergebnisse von Zweimonatsmischproben der Jahre 1998 und 1999 zur Verfügung. Untersuchungen mit

einer vergleichbar hohen Zahl von Messergebnissen aus einem Flusssystem sind in der Literatur bisher nicht bekannt. Die Untersuchungen der ARGE ELBE ermöglichen daher erste orientierende Aussagen über die Verteilung von Moschus-Duftstoffen im Längsprofil der Elbe und über den saisonalen Verlauf der Konzentrationen.

Die in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse zeigten sowohl in Wasserproben als auch in schwebstoffbürtigen Sedimenten einen saisonalen Verlauf der Gehalte von allen analysierten Verbindungen mit niedrigen Konzentrationen im Sommer und höheren im Winter. Da sich der Verbrauch von Produkten, die synthetische Moschus-Duftstoffe enthalten, im Jahresverlauf nicht signifikant ändern dürfte, sind vermutlich Umsetzungen für den saisonalen Verlauf verantwortlich. Ein mikrobieller oder chemischer Abbau synthetischer Moschus-Duftstoffe dürfte durch die Temperatur beeinflusst werden. Das würde dazu führen, dass im Sommer aufgrund der hohen Wassertemperaturen ein deutlich größerer Teil der synthetischen Moschus-Duftstoffe umgesetzt wird als bei niedrigen Temperaturen im Winter. Dies wäre eine plausible Erklärung für die gegenüber den Sommerproben höheren Konzentrationen in Winterproben. Eine Reduktion von Nitromoschus-Duftstoffen zu korrespondierenden Aminen durch Mikroorganismen wurde unter anaeroben Bedingungen in kommunalen Kläranlagen nachgewiesen (Fooker et al., 1997; Gatermann et al., 1998; Rimkus et al., 1999). Für den polycyclischen Moschus-Duftstoff HHCB wurde in Belebtschlamm eine Oxidation zu HHCB-Lacton beschrieben (Itrich et al., 1998). Diese bisher bekannten Metaboliten von Nitromoschus- und polycyclischen Moschus-Duftstoffen wurden auch bereits in Oberflächengewässern nachgewiesen (Rimkus et al., 1999; Franke et al., 1999). Das sind deutliche Indizien dafür, dass eine chemisch und/oder mikrobiell katalysierte Oxidation polycyclischer Moschus-Duftstoffe in Gewässern bzw. Kläranlagen abläuft.

#### **3.1.1.4 Verhältnis der Moschus-Duftstoffe**

Bei den vorliegenden Analysen wurde im Elbematerial ein relativ konstantes Verhältnis der Konzentrationen verschiedener Moschus-Duftstoffe zueinander ermittelt. In den Wasserproben betrug das durchschnittliche Verhältnis von HHCB : AHTN = 16 : 10. In den schwebstoffbürtigen Sedimenten wurde im Mittel ein Verhältnis von HHCB : AHTN : ADBI : Moschus-Keton = 20 : 10 : 0,3 : 0,2 errechnet.

Die Ergebnisse mehrerer Arbeitsgruppen ergaben auch für andere Untersuchungen relativ konstante Relationen zwischen den verschiedenen synthetischen Moschus-Duftstoffen. In Elbewasserproben wurde von Winkler et al. (1998) ein Verhältnis von HHCB : AHTN = 20 : 10, in Abwasserproben von Eschke et al. (1995) ein Verhältnis von HHCB : AHTN = 16 : 10 ermittelt. In Berliner Oberflächengewässern wurde ein mittleres Verhältnis von HHCB : AHTN : ADBI : Moschus-Keton = 20 : 10 : 1 : 1 gefunden (Heberer et al., 1999).

Die Autoren vermuteten, dass die häufige Verwendung von Duftstoffgemischen die Ursache für das konstante Verhältnis der Moschus-Duftstoffe zueinander ist (Eschke et al., 1995; Winkler et al., 1998; Heberer et al., 1999).

### 3.1.1.5 Wasserproben

Bei Untersuchungen von Wasserproben der Messstelle Magdeburg von März/April 1996 bis Januar 1997 wurden HHCB-Konzentrationen von 100-410 ng/l und AHTN-Konzentrationen von 95-220 ng/l bestimmt (Abb. 6). Die Konzentrationen dieser polycyclischen Duftstoffe lagen deutlich höher als die von Winkler et al. (1998) im selben Zeitraum auch bei Magdeburg bestimmten Werte (36-152 ng/l HHCB, bzw. 24-88 ng/l AHTN). Dies könnte auf einen unterschiedlichen Gehalt abfiltrierbarer Stoffe in den Proben oder die Anwendung unterschiedlicher Analysemethoden zurückzuführen sein.

Die mittleren Konzentrationen von HHCB und AHTN im Elbewasser (Median: 116 ng/l HHCB und 85 ng/l AHTN) lagen etwa in der gleichen Größenordnung wie die in Tab. 7 aufgeführten Duftstoffkonzentrationen in Meuse (Median: 80 ng/l HHCB und 70 ng/l AHTN, Breukel und Balk 1996) und Glatt (136 ng/l HHCB und 75 ng/l AHTN, Müller et al., 1996). In verschiedenen niederländischen Gewässern (Median: 51 ng/l HHCB und 28 ng/l AHTN, Verbruggen, 1997) und im Rhein (Median: 60 ng/l HHCB und 50 ng/l AHTN, Breukel und Balk, 1996) waren die Konzentrationen dagegen niedriger als in der Elbe. In der Ruhr waren die Konzentrationen höher als in der Elbe (Median: 370 ng/l HHCB und 200 ng/l AHTN), was auf einen hohen Anteil gereinigten Abwassers (bis zu 35 %) in diesem Fluss zurückzuführen sein dürfte (Eschke et al., 1994). In Berliner Gewässern, die durch einen hohen Abwasseranteil von bis zu 90 % (Wuhle) geprägt sind, waren die Konzentrationen mit Medianwerten von 800 ng/l HHCB und 390 ng/l AHTN am höchsten (Heberer et al., 1999).

### 3.3.3.1 Schwebstoffbürtige Sedimente

Außerdem sollten die Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe mit Gehalten anderer Standorte verglichen und diskutiert werden. Auf dieser Grundlage sollte - wie bereits für die Nitromoschus-Duftstoffe ausgeführt (vgl. 3.2.1.3) - versucht werden, das Vorkommen von polycyclischen Moschus-Duftstoffen in der Elbe einzustufen und zu bewerten. Da in der Literatur keine Untersuchungsergebnisse für schwebstoffbürtige Sedimente anderer Gewässer zur Verfügung standen, konnten die Ergebnisse des vorliegenden Berichtes nur mit Gehalten von Schwebstoffen bzw. Sedimenten anderer Gewässer verglichen werden (Tab. 8). Daher musste zunächst abgeschätzt werden, inwieweit Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe der schwebstoffbürtigen Sedimente aus der Elbe mit Gehalten in Elbeschwebstoffen bzw. -sedimenten übereinstimmen.

Zunächst wurden Untersuchungsergebnisse von Elbeschwebstoffen am Beispiel von HHCB vergleichend betrachtet. Winkler et al. (1998) fanden 1997 in Schwebstoffen bei Magdeburg HHCB-Gehalte von 148-736 µg/kg TM (Median: 442 µg/kg TM). Diese waren deutlich höher als die von der ARGE ELBE in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Messstelle Magdeburg nachgewiesenen Gehalte (31-240 µg/kg TM, Median: 99 µg/kg TM). Auch für die polycyclischen Moschus-Duftstoffe AHTN, ADBI, AHMI und ATII wurden von Winkler et al. (1998) in Schwebstoffen 3-4fach höhere Gehalte bestimmt als von der ARGE ELBE in schwebstoffbürtigen Sedimenten. Ein Grund dafür könnte der im Vergleich zu Schwebstoffen höhere Mineralkornanteil der schwebstoffbürtigen Sedimente sein. Schwebstoffbürtige Sedimente re-präsentieren nur einen Teil der Gesamtschwebstoffe, der nur die Fraktion umfasst, die in einer Schwebstofffalle aufgrund ihres spezifischen Gewichtes nach Strömungsverringe-

rung sedimentiert (20-30 % der Gesamtschwebstoffe, Stachel et al., 1995). Die deutlich unterschiedlichen Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe in Schwebstoffen und schwebstoffbürtigen Sedimenten desselben Standortes lassen, wie bereits für die Nitromoschus-Duftstoffe ausgeführt, auch den direkten Vergleich von Gehalten polycyclischer Moschus-Duftstoffe dieser beiden Feststoffklassen als nicht sinnvoll erscheinen.

Daher wurden als nächstes Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe in Elbesedimenten mit denen in schwebstoffbürtigen Sedimenten verglichen. In Proben oberflächennaher, feinkörniger Sedimente (0-5 cm) von 4 Standorten aus dem Elbeabschnitt von Schnackenburg bis Cuxhaven vom November und Dezember 1998 wurden HHCB-Gehalte von 13-59 µg/kg TM und AHTN-Gehalte von 9,2-34 µg/kg TM ermittelt (Steffen, pers. Mitt.). Die im selben Zeitraum zwischen Schnackenburg und Grauerort in den schwebstoffbürtigen Sedimenten ermittelten Gehalte betragen: 47-100 µg/kg TM HHCB und 26-46 µg/kg TM AHTN (vorliegender Bericht). Die Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe waren demnach in schwebstoffbürtigen Sedimenten etwa doppelt so hoch wie in den untersuchten Sedimenten. Das dürfte auf den unterschiedlichen Anteil der Kornfraktion <20 µm in den untersuchten Sedimenten (durchschnittlich 7 %) und schwebstoffbürtigen Sedimenten (durchschnittlich 35 %) zurückzuführen sein, da organische Schadstoffe vor allem an die feinkörnige Sedimentfraktion adsorbiert werden (Werther et al., 1984). Nach den vorliegenden Ergebnissen zeigten die Duftstoff-Gehalte der schwebstoffbürtigen Sedimente eine höhere Übereinstimmung mit Gehalten von Sedimenten als mit Gehalten von Schwebstoffen.

In Sedimenten von Weser, Ems, Leine und Oker wurden 1995 bzw. 1996 HHCB-Gehalte von <0,5-9,7 µg/kg TM bestimmt, AHTN konnte in den Proben nicht nachgewiesen werden (Lach und Steffen, 1997). In der Leine wurden im Rahmen derselben Untersuchung Gehalte von 54 µg/kg TM HHCB und 3,9 µg/kg AHTN gefunden. Nach Heberer et al. (1999) und Rimkus (1999) kann aus dem Gehalt synthetischer Moschus-Duftstoffe in einem Oberflächengewässer auf den Einfluss von Abwasser auf dieses Gewässer geschlossen werden, da Moschus-Duftstoffe nur mit gereinigtem Abwasser in die Flüsse eingetragen werden und daher als Indikatoren für Abwassereinfluss dienen können. Die Leine wies demnach einen höheren Abwassereinfluss auf als Weser, Ems und Oker. In der Luhe, Schwinge, Oste, Geeste, Jeetzel und in weiteren kleinen Gewässern im Einzugsgebiet der Elbe wurden 1998 Gehalte von 1,3-42 µg/kg TM HHCB und 0,7-26 µg/kg TM AHTN ermittelt. In den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Mittel- und Unterelbe waren die Gehalte etwa doppelt so hoch wie in den Sedimenten der eben genannten niedersächsischen Flüsse. Im Elbeabschnitt von Schmilka bis Magdeburg und im Mündungsbereich der Elbenebenflüsse Mulde, Saale und Schwarze Elster war der HHCB-Gehalt der schwebstoffbürtigen Sedimente dagegen mit 100-220 µg/kg TM mit dem der Sedimente der Este nach dem Zufluss der Kläranlage Buxtehude (240 µg/kg TM, Steffen, pers. Mitt.) vergleichbar. Aus diesen Ergebnissen kann auf eine Abwasserbelastung der Elbe im Abschnitt von Schmilka bis Magdeburg und im Mündungsbereich der untersuchten Nebenflüsse geschlossen werden.

### 3.4 Sonderuntersuchungen

Im Oktober 1999 wurde in Sachsen im Raum Leipzig der Gehalt synthetischer Moschus-Duftstoffe in verschiedenen Nebenflüssen von Mulde und Saale sowie in den Kläranlagenabläufen im Untersuchungsgebiet bestimmt. Außerdem wurden in Sachsen-Anhalt Sedimentuntersuchungen der Saale durchgeführt. Abb. 12 zeigt die Lage der Probenahmestellen. Mit diesem Untersuchungsprogramm sollten die wichtigsten Einleiter synthetischer Moschus-Duftstoffe in dem genannten Gebiet identifiziert werden.

In den Proben wurde das Vorkommen folgender Verbindungen analysiert: Moschus-Xylol (M.-Xylol), Moschus-Keton (M.-Keton), Moschus-Ambrette, Moschus-Tibeten und Moschus-Mosken aus der Substanzklasse der synthetischen Nitromoschus-Duftstoffe und HHCB, AHTN, ADBI, AHMI, ATII und DPMI aus der Substanzklasse der polycyclischen Moschus-Duftstoffe. Die Ergebnisse sind in Tab. 21 aufgeführt. Für Moschus-Ambrette, Moschus-Tibeten, Moschus-Mosken und DPMI wurden ausschließlich Negativbefunde erhalten (Bestimmungsgrenze = 0,05 µg/l bzw. 0,5 µg/kg TM). Daher sind diese Verbindungen nicht in der Tabelle aufgeführt.

**Tab. 21** Konzentration synthetischer Moschus-Duftstoffe in den Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie in Wasserproben von Flüssen aus dem Einzugsgebiet von Mulde und Saale und Gehalte von Moschus-Duftstoffen in Sedimentproben aus der Saale vom Oktober 1999

Probe	Durchschnittl. Abflussmenge [m³/s]	Durchschnittl. Abwasseranteil [%]	Nitromoschus-Duftstoffe		Polycyclische Moschus-Duftstoffe					
			M.-Xylol	M.-Keton	HHCB	AHTN	ADBI	AHMI	ATII	
<b>Wasserproben [µg/l]</b>										
Faule Pfütze	k.A.	>90	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
KA MUE GmbH	0,12	100	<0,05	<0,05	2,5	0,59	<0,05	0,12	<0,05	<0,05
Neue Gösel	0,19	65	<0,05	<0,05	1,0	0,25	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Pleiße (Gütepegel)	7,04	2	<0,05	<0,05	0,45	0,08	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
KA Leipzig-Rosenthal	4,76	100	0,16	<0,05	5,7	0,61	0,06	0,12	0,06	0,06
Neue Luppe	8	59	0,06	<0,05	1,1	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Weißer Elster (Gütepegel)	16,1	30	<0,05	<0,05	0,33	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
KA Delitzsch	0,02	100	<0,05	<0,05	2,7	0,53	0,05	0,12	<0,05	<0,05
Lober	0,18	11	<0,05	<0,05	0,98	0,16	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Vereinigte Mulde (Gütepegel)	k.A.	k.A.	<0,05	<0,05	2,7	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
Buna: FA-Kanal	k.A.	100	<0,05	<0,05	2,6	0,13	<0,05	0,12	<0,05	<0,05
K+R-Kanal 2	k.A.	100	<0,05	<0,05	2,5	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05	<0,05
<b>Sedimentproben [µg/kg TM]</b>										
Saale Meuschau	k.A.	k.A.	<0,5	<0,5	210	60	1,1	3,9	4,9	4,9
S.- Trotha	k.A.	k.A.	0,6	1,3	720	380	6,4	24	26	26
S.- Ammendorf	k.A.	k.A.	<0,5	<0,5	140	19	<0,5	12	2,1	2,1
S.- Planea	k.A.	k.A.	<0,5	<0,5	45	13	<0,5	1,2	2,5	2,5

KA = Kläranlage; k.A. = keine Angabe; <0,05 bzw. <0,5 = unterhalb der Bestimmungsgrenze; M.- = Moschus; S.- = Saale

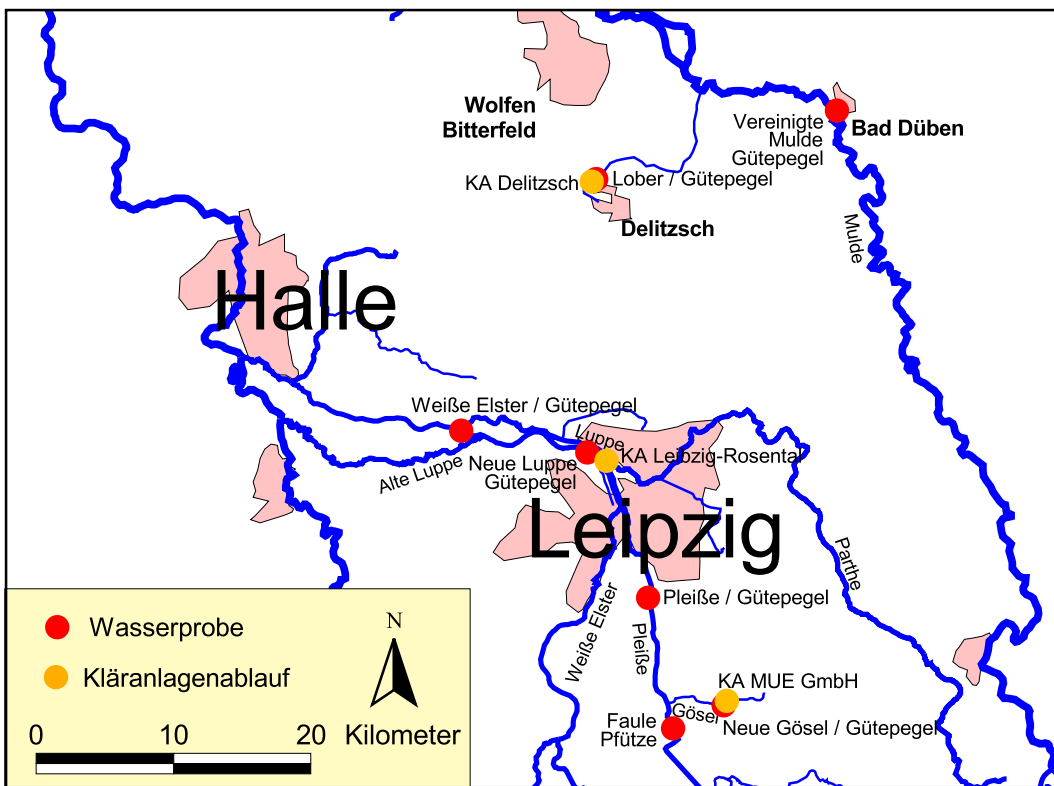
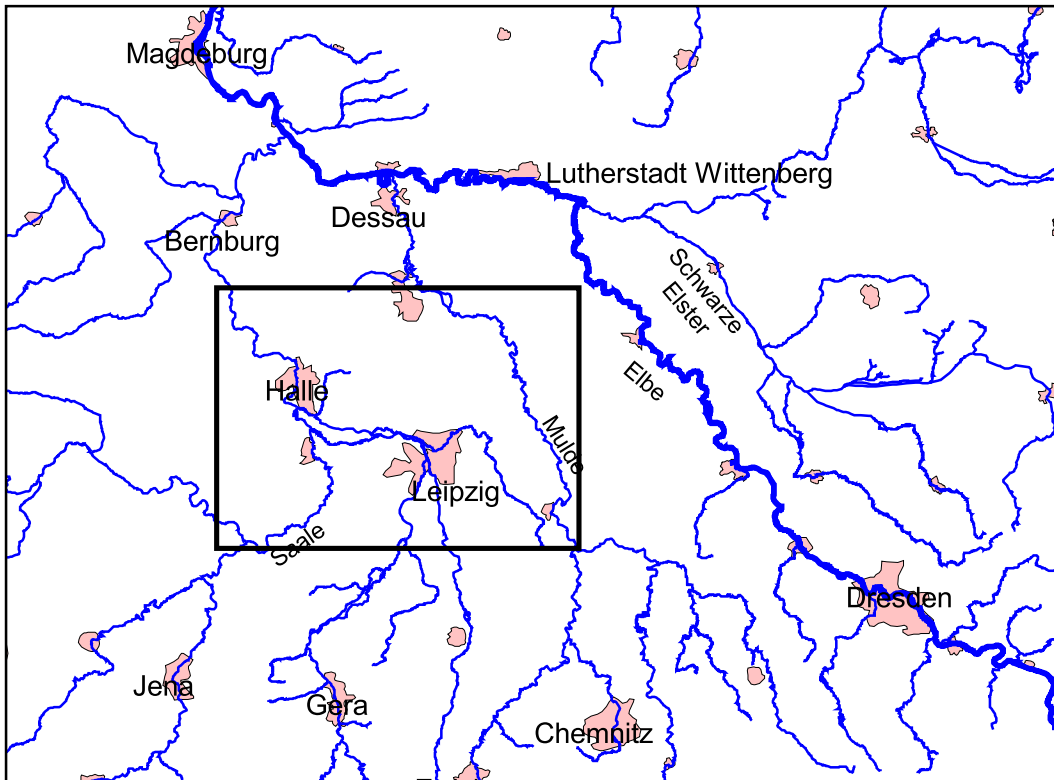


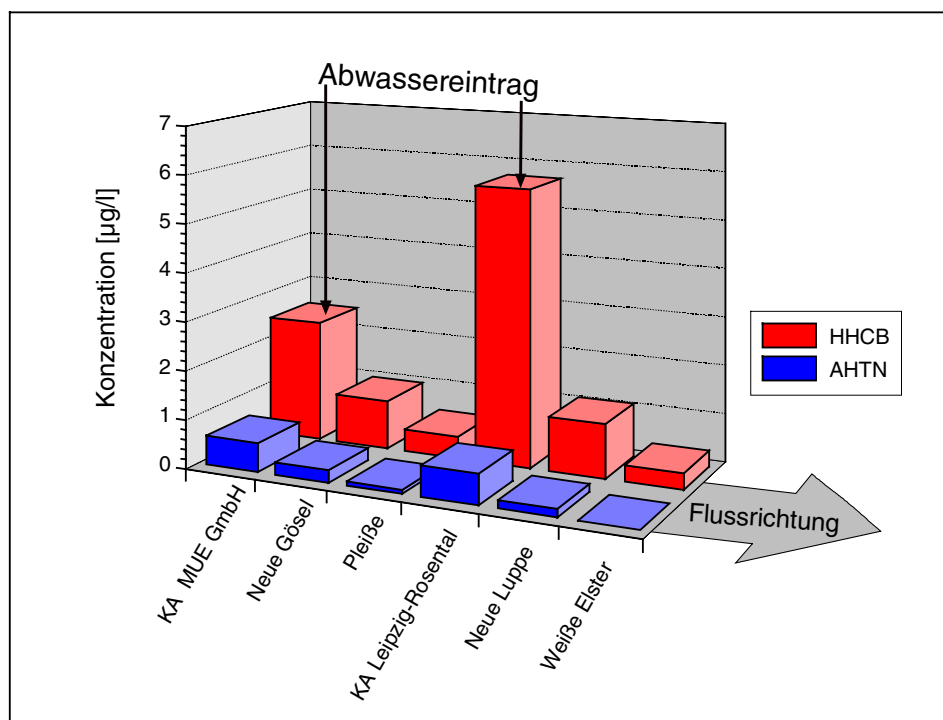
Abb. 12 Lage der Probenahmestellen für Sonderuntersuchungen im Raum Leipzig

In den Untersuchungen von Gewässern und Kläranlagen im Einzugsgebiet von Leipzig war Moschus-Xylol die einzig nachweisbare Substanz aus der Klasse der Nitromoschus-Duftstoffe. Moschus-Xylol wurde lediglich in der Kläranlage Leipzig-Rosenthal und dem zugehörigen Vorfluter, der Neuen Luppe, sowie im Sediment der Saale (Probe Saale-Trotha) gefunden. Damit zeigen diese Untersuchungen, dass die synthetischen Nitromoschus-Verbindungen 1999, zumindest in dieser Region, bereits weitgehend aus den Produkten des privaten Verbrauchs eliminiert worden waren, während Nitromoschus-Duftstoffe zwischen 1990 und 1994 noch in Konzentrationen von 0,9-53 µg/l in Klärwerksabläufen nachgewiesen wurden (Hahn, 1993; Eschke et al., 1994a; Paxéus, 1996).

Die polycyclischen Moschus-Duftstoffe HHCB und AHTN waren in fast allen untersuchten Proben vorhanden. Lediglich in der Faulen Pfütze, deren Wasserkörper sich zu etwa 90 % aus den Abläufen industrieller Kläranlagen speist, waren keine synthetischen Moschus-Duftstoffe nachweisbar. Im gereinigten Abwasser kommunaler Kläranlagen wurden dagegen HHCB-Konzentrationen von 2,5-5,7 µg/l analysiert. Die Konzentrationen waren damit etwa 10-fach höher als die 1996 im Mündungsbereich von Mulde und Saale bestimmten Werte. AHTN wurde in Konzentrationen von 0,53-0,61 µg/l ermittelt, die nur etwa doppelt so hoch lagen wie die in den Elbenebenflüssen. Die durch die Industrie in den Produkten in geringeren Mengen eingesetzten Stoffe ADBI, AHMI und ATII waren in den Gewässerproben nicht nachweisbar, sondern lediglich mit maximal 0,12 µg/l im gereinigten Abwasser der drei untersuchten kommunalen Kläranlagen vorhanden.

Die im Raum Leipzig ermittelten HHCB-Konzentrationen lagen in derselben Größenordnung wie andere in der Literatur dokumentierte Ergebnisse von Abwasserproben (Tab. 6). In Kläranlagen an der Ruhr wurden durch Eschke (1994, 1995a) mit 0,8-2,5 µg/l HHCB damit übereinstimmende Konzentrationen ermittelt. Die Werte aus Berliner Kläranlagen waren mit 6-10 µg/l HHCB etwas höher (Heberer et al., 1999). Die AHTN-Konzentrationen waren dagegen in den Abläufen der Kläranlagen in der Umgebung von Leipzig geringer als die in anderen Kläranlagen gefundenen (0,5-6 µg/l AHTN). Die niedrigeren AHTN-Konzentrationen könnten auf Unterschiede in der Zusammensetzung des Leipziger Abwassers oder der verwendeten Analysenmethode zurückzuführen sein.

In Abb. 13 sind die Konzentrationen von HHCB und AHTN in Fließrichtung des Saale-Gewässersystems aufgetragen. Die kommunale Kläranlage MUE GmbH leitet das gereinigte Abwasser in die Neue Gösel, was in dem Fluss zu einer Konzentration von 1 µg/l HHCB und 0,25 µg/L AHTN nach der Abwassereinleitung führte. Nach der Einmündung der Neuen Gösel in die Pleiße wurden am Gütepegel Pleiße 0,45 µg/l HHCB und 0,08 µg/l AHTN bestimmt, die vermutlich durch die Neue Gösel in den Fluss transportiert worden waren. Die Pleiße mündet in Leipzig in die Weiße Elster. In die Weiße Elster mündet ebenfalls in Leipzig die Neue Luppe ein, ein Fluss, in den die Kläranlage Leipzig-Rosenthal entwässert. Durch den Abwassereintrag der Kläranlage Leipzig-Rosenthal waren die Konzentrationen an HHCB und AHTN in der Neuen Luppe und Weißen Elster deutlich erhöht. Diese Ergebnisse belegen, dass kommunale Kläranlagen die Eintragsquellen für synthetische Moschus-Duftstoffe in aquatische Systeme darstellen. Die synthetischen Moschus-Duftstoffe, und aufgrund der hohen Konzentration besonders HHCB, können daher als signifikante Indikatoren für den Einfluss von Abwässern auf Oberflächengewässer verwendet werden.



**Abb. 13** Konzentrationsprofil von HHCB und AHTN im Gewässerverlauf des Saale-Gewässersystems von der Neuen Gösel zur Weißen Elster (siehe Lage der Probenahmestellen in Abb. 12)

Auch Untersuchungen verschiedener Abwasserproben aus demselben Zeitraum durch das Landesamt für Umweltschutz Sachsen-Anhalt (LAU) in Halle erbrachten HHCB-Konzentrationen, die mit den im Raum Leipzig ermittelten gut übereinstimmten. In den Abläufen der kommunalen Kläranlagen Halle Nord, Halle Süd, Bernburg, Bitterfeld-Wolfen und Dessau wurden 3,1-8,1 µg/l HHCB bestimmt. Die AHTN-Konzentration war dagegen mit 1,2-2,6 µg/l AHTN bei den Untersuchungen in Sachsen-Anhalt deutlich höher als die im Raum Leipzig bestimmte. Außerdem bestätigen diese Untersuchungen, dass Abwässer von Industriekläranlagen - untersucht wurden die INFRA LEUNA GmbH, die BUNA SL GmbH und der Chemiepark Bitterfeld GmbH - im Vergleich zu den kommunalen Kläranlagen nur sehr geringe Konzentrationen polycyclischer Moschus-Duftstoffe enthielten (HHCB: 0,062-0,22 µg/l und AHTN: 0,062-0,12 µg/l; LAU, pers. Mitteilung an die ARGE ELBE).

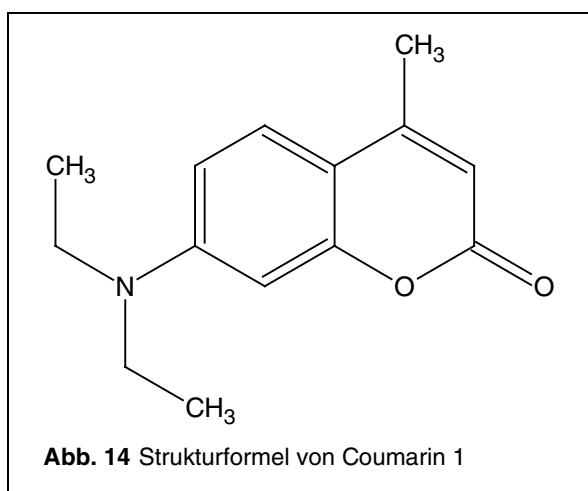
In den Sedimenten der Saale wurden HHCB (45-210 µg/kg TM), AHTN (13-380 µg/kg TM), AHMI (1,2-12 µg/kg TM) und ATII (2,1-26 µg/kg TM) in allen vier untersuchten Proben analysiert. Moschus-Xylol und Moschus-Keton wurde dagegen nur in der Probe Saale-Trotha, nördlich der Stadt Halle gefunden (Abb. 12). In dieser Probe wurden auch jeweils die Maximalwerte der anderen Moschus-Duftstoffe bestimmt, was auf den Einfluss der Kläranlagen Halle Nord und Halle Süd zurückzuführen sein dürfte.



### 3.5 Coumarin 1 in der Elbe

Coumarin 1 ist ein synthetisches Derivat der im Pflanzenreich weit verbreiteten Coumarine. Es ist von industrieller Bedeutung für die Textil-, Farben-, und Waschmittelindustrie. Die chemische Bezeichnung dieser Verbindung ist 7-Diethylamino-4-methylcoumarin (Cas-Nr. 91-44-1). In Abb. 14 ist die Strukturformel dargestellt.

Coumarin 1 wird vor allem als optischer Aufheller in der Textilindustrie für Wolle und Nylon eingesetzt und findet außerdem Verwendung zur Aufhellung von Kunststoffen, Harzen, Farben und Lacken. Auch in Waschmitteln ist Coumarin zur optischen Aufhellung der Wäschefasern enthalten. Außerdem wird die Substanz industriell zur Papierbeschichtung eingesetzt. Coumarin 1 ist nur geringfügig in Wasser löslich, löst sich aber gut in wässrigen Säuren, Harzen, Lacken und nahezu allen organischen Lösungsmitteln.



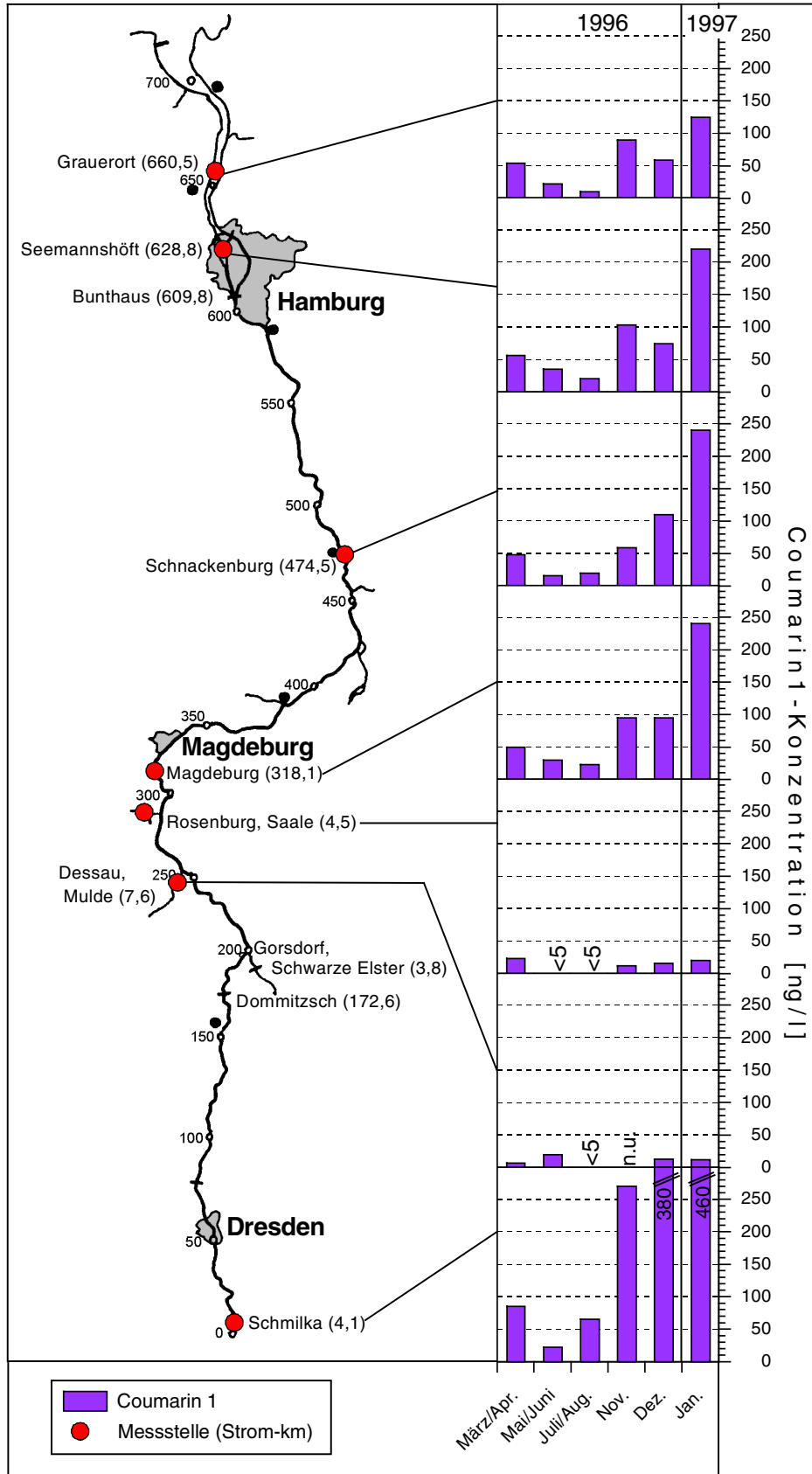
In der Zeit von März 1996 bis Januar 1997 wurde die Konzentration von Coumarin 1 an verschiedenen Messstellen der Elbe, sowie im Mündungsbereich von Mulde und Saale bestimmt. Coumarin 1 wurde damit in denselben Wasserproben analysiert, in denen auch die synthetischen Moschus-Duftstoffe bestimmt wurden.

Analog zu den synthetischen Moschus-Duftstoffen wurden auch für Coumarin 1 die höchsten Konzentrationen im Winter (Januar) und die niedrigsten im Sommer (Juli/August)

gefunden. Über einen Abbau dieser Substanz ist bisher nichts bekannt. Die niedrigen Konzentrationen in den Sommerproben geben erste Hinweise auf mögliche temperaturabhängige Abbauprozesse.

Die Verteilung der Coumarin 1-Konzentration im Längsverlauf der Elbe zeigt, dass bei Schmilka in allen Untersuchungen die höchsten Werte analysiert wurden (Abb. 15). Im Januar 1997 wurden hier beispielsweise 460 ng/l Coumarin 1 bestimmt. Im Mündungsbereich von Mulde und Saale betragen die Konzentrationen dagegen zum selben Zeitpunkt nur 12-20 ng/l. Über die Nebenflüsse Mulde und Saale gelangten demnach keine nennenswerten Mengen von Coumarin 1 in die Elbe.

In Magdeburg wurde gegenüber Schmilka jeweils eine um etwa 50 % geringere Konzentration bestimmt. Im Januar 1997 wurde beispielsweise ein Wert von 240 ng/l analysiert. Dies könnte aus der Verdünnung der bei Schmilka ermittelten Konzentration durch Einmündung der Nebenflüsse resultieren, da der durchschnittliche Oberwasserabfluss von Schmilka bis Magdeburg auf nahezu das Doppelte steigt. Für diese Annahme spricht auch, dass die Konzentration in der Mittelelbe bei kaum steigendem Oberwasserabfluss von Magdeburg bis in den Hamburger Hafen (Seemannshöft) nahezu konstant blieb. In der Unterelbe wurde die Coumarin 1-Konzentration infolge des Tideeinflusses verringert. An der Messstelle Grauerort wurde beispielsweise im Januar 1997 ein Wert von 122 ng/l analysiert (gegenüber 460 ng/l bei Schmilka.)



**Abb. 15** Konzentration von Coumarin 1 in Wasserproben verschiedener Messstellen im Längsprofil der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale von März 1996 bis Januar 1997  
n.u. = nicht untersucht

Aus dem Anwendungsspektrum ist zu ersehen, dass Coumarin 1 eine Substanz ist, die überwiegend mit industriellen Abwässern in die Elbe gelangt. Im Rahmen eines Screenings verschiedener industrieller Abwässer auf organische Schadstoffe wurde Coumarin 1 im Abwasser einer Textilfabrik in einer Konzentration von 90 ng/l nachgewiesen. In den Abwässern einer Gerberei und einer Anlage der petrochemischen Industrie war diese Substanz dagegen nicht nachweisbar. (Castillo et al. 1999).

Auch Franke et al. (1995) wiesen bei einem Screening der Elbe und ihrer bedeutenden Nebenflüsse in den Jahren 1992-1993 Coumarin 1 ausschließlich an den Elbemesstellen nach. In den Nebenflüssen Mulde, Saale, Schwarze Elster und Havel, sowie deren Zuflüssen Freiburger Mulde, Zwickauer Mulde und Weiße Elster wurde Coumarin 1 dagegen nicht gefunden. Diese Substanz wurde von den Autoren daher der Schadstoffgruppe der spezifischen Elbekontaminanten zugeordnet.

Die Eintragsquellen von Coumarin 1 liegen vermutlich fast ausschließlich auf dem Gebiet der Tschechischen Republik, wofür die hohe Konzentration an der Messstelle Schmilka einen Hinweis gibt. Der Eintrag mit Waschmittelresten über kommunale Kläranlagen hat nach den vorliegenden Ergebnissen keine Bedeutung. Daher war Coumarin 1 im Elbe-Flusssystem deutlich anders verteilt als die synthetischen Moschus-Duftstoffe (vgl. Abb. 6).

## 4 Ausblick

### 4.1 Verwendung von Moschus-Duftstoffen in der Zukunft

Synthetische Moschus-Duftstoffe sind Chemikalien, die in großen Mengen produziert und seit Jahrzehnten von der Industrie in den verschiedensten Produkten des privaten Bedarfs als Duftkomponente eingesetzt werden. Diese Produkte gelangen nach Gebrauch mit dem häuslichen Abwasser in die kommunalen Kläranlagen und von dort in Konzentrationen von einigen Mikrogramm pro Liter in die Oberflächengewässer. Heute sind diese Duftstoffe in fast allen Oberflächengewässern und vielen Fischen nachweisbar und damit ubiquitär verbreitet. Schon bald nach den ersten positiven Befunden von Nitromoschus-Duftstoffen in Wasser- und Biotapproben wurde von Autoren verschiedener Studien ein Verbot dieser Substanzen und ihre Substitution durch toxikologisch und ökologisch unbedenkliche Stoffe gefordert (Rimkus und Wolf, 1993; Liebl und Ehrenstorfer, 1993; Geyer et al., 1994; Steinhard und Biernoth, 1994). Aufgrund der daraufhin einsetzenden Diskussion, die nicht zuletzt durch Untersuchungen der Zeitschrift ÖKO-TEST in die breite Öffentlichkeit getragen wurde, erklärte sich die Bundesdeutsche Industrie 1993 bereit, auf die Verwendung von Nitromoschus-Duftstoffen zu verzichten (Gebauer und Bouter, 1997). Die seitdem sinkenden Gehalte von Nitromoschus-Duftstoffen in den Produkten führte zum Rückgang der Konzentrationen dieser Substanzen in der Umwelt, was auch in diesem Bericht belegt werden konnte.

Um den Duftcharakter ihrer Produkte ohne Verwendung der in Verruf geratenen Nitromoschus-Duftstoffe zu erhalten, setzte die Industrie polycyclische Moschus-Duftstoffe als Ersatzsubstanzen ein, so dass heute in Europa überwiegend polycyclische Moschus-Duftstoffe verwendet werden (OSPAR, 1998; Muermann, pers. Mitt.). Verstärkte Forschungsaktivitäten zeigten jedoch, dass auch polycyclische Moschus-Duftstoffe hinsichtlich Persistenz und Bioakkumulationsvermögen ähnlich bedenklich sind wie die Nitromoschus-Duftstoffe. Zudem wurde ihre Toxizität - vor allem die chronische Toxizität - bislang nicht hinreichend untersucht. Wenn auch die Riechstoffindustrie in ihren Studien bisher zu dem Ergebnis kommt, dass HHCB und AHTN aller Wahrscheinlichkeit nach toxikologisch unbedenklich sind (Ford, 1998), bleibt doch ein Risiko für Langzeitschädigungen aufgrund der Bioakkumulation dieser Substanzen. Hinzu kommt, dass durch biologische oder chemische Umsetzungen in Kläranlagen oder Oberflächengewässern Metaboliten entstehen können, die eine höhere Toxizität besitzen als die Ausgangsubstanzen. Daher wird zunehmend gefordert, die Verwendung synthetischer Moschus-Duftstoffe vollständig einzustellen und diese durch biologisch abbaubare, toxikologisch unbedenkliche Stoffe zu ersetzen (ÖKO-TEST, 1999; Rimkus, 1999). Die Stoffklasse der makrocyclischen Moschus-Duftstoffe könnte diese geforderten Eigenschaften besitzen, da die Verbindungen aufgrund ihrer dem natürlichen Moschus ähnlichen Struktur biologisch vollständig abbaubar sein dürften. Bisher haben makrocyclische Moschus-Duftstoffe aufgrund ihres hohen Preises aber nur einen geringen Anteil am Weltmarkt (Rebmann et al., 1997). Aus den Reihen der Riechstoffindustrie wird dieser Substanzklasse jedoch bereits für die Zukunft eine große Bedeutung vorhergesagt (Gebauer und Bouter, 1997).

Allerdings wurden bisher weder Abbaubarkeit noch toxische Eigenschaften dieser Substanzklasse untersucht.

Synthetische Moschus-Duftstoffe werden seit einigen Jahren in vielen regelmäßigen, ökologischen Untersuchungen erfasst. Da die Nitromoschus-Duftstoffe in europäischen Produkten weitgehend durch polycyclische Moschus-Duftstoffe ersetzt wurden, sollten bei zukünftigen Untersuchungen vor allem die Verteilung polycyclischer Moschus-Duftstoffe analysiert werden. Im Einzelnen sollten die Untersuchungen folgende Schwerpunkte haben:

- Verbreitung synthetischer Moschus-Duftstoffe in der Umwelt, insbesondere Langzeitstudien, um den zeitlichen Konzentrationsverlauf verfolgen zu können
- Screening auf weitere Metaboliten polycyclischer Moschus-Duftstoffe und Nitromoschus-Duftstoffe. Chemische Identifizierung und Charakterisierung dieser Metaboliten und ihre Quantifizierung in der Umwelt
- Verbreiterung der toxikologischen Datenbasis synthetischer Moschus-Duftstoffe und ihrer Metaboliten, insbesondere durch Langzeittests
- Durchführung einer umfassenden Umwelt-Risikoabschätzung für alle synthetischen Moschus-Duftstoffe unter Einschluss der Metaboliten

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind notwendig als Grundlage für die Festlegung von Grenzwerten und den Erlass der dringend erforderlichen, gesetzlichen Bestimmungen. Aus ökologischer Sicht wäre es wünschenswert, dass die Industrie die Verwendung synthetischer Moschus-Duftstoffe insgesamt deutlich verringert.

## 4.2 Untersuchungen im Elbe-Flusssystem

Bisher liegen nur Ergebnisse über die Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe von Wasserproben und schwebstoffbürtigen Sedimenten von einem bzw. zwei Jahren vor, so dass weitere Untersuchungen unbedingt notwendig sind, um den zeitlichen Konzentrationsverlauf der Verbindungen verfolgen zu können. Zur Verifizierung einer jahreszeitlichen Dynamik wären dabei monatliche Analysen erforderlich.

An den bisherigen Messstellen der Elbe und im Mündungsbereich der Elbenebenflüsse sollten in regelmäßigen Abständen (monatlich oder alle zwei Monate) vor allem Wasserproben analysiert werden, da sie die aktuelle Konzentration im Gewässer wiedergeben. Außerdem sollten die Untersuchungen schwebstoffbürtiger Sedimente fortgesetzt werden, weil sich Moschus-Duftstoffe aufgrund ihrer lipophilen Eigenschaften an Feststoffen anreichern. Wünschenswert wären zudem exemplarische Untersuchungen oberflächennaher Sedimente unterhalb von Abwassereinleitungen.

Die Verteilung und die Gehalte der folgenden synthetischen Moschus-Duftstoffe sollten bei zukünftigen Untersuchungen unbedingt erfasst werden:

- die Nitromoschus-Duftstoffe **Moschus-Xylol** und **Moschus-Keton**, um den im Rahmen der bisherigen Untersuchungen ermittelten Rückgang der Gehalte dieser Nitromoschus-Duftstoffe in der Umwelt abzusichern

- die polycyclischen Moschus-Duftstoffe **HHCB** und **AHTN**, weil sie die derzeit mengenmäßig bedeutendsten Duftstoffkontaminanten der Elbe darstellen
- die polycyclischen Moschus-Duftstoffe **ADBI**, **AHDI** und **ATII**, weil sie bei bisherigen Untersuchungen regelmäßig in der Elbe nachweisbar waren

Aufgrund der in diesem Bericht vorgestellten Ergebnisse erscheint für zukünftige Untersuchungen eine Reduktion des Spektrums der zu analysierenden Substanzen möglich, da für einige Verbindungen ausschließlich Negativbefunde vorliegen. Auf die Analyse folgender Verbindungen könnte bei zukünftigen Analysen verzichtet werden:

- **Moschus-Ambrette**: Dieser Stoff ist seit Juli 1997 verboten und wurde erwartungsgemäß in keiner Probe nachgewiesen. Auch in anderen Untersuchungen war Moschus-Ambrette in Wasser- (Heberer et al., 1999), Abwasser- (Fooker, 1999 und persönl. Mitt) sowie Sedimentproben (Steffen, 1996; Lach und Steffen, 1997 und Steffen, persönl. Mitt.) nicht nachweisbar.
- **Moschus-Tibeten** und **Moschus-Mosken**: Diese beiden Duftstoffe wurden laut ÖKO-TEST nur in wenigen teuren Parfüms verwendet. Aufgrund ihrer geringen Einsatzmenge waren sie bei Elbeuntersuchungen in keiner Probe nachweisbar. In vielen Untersuchungen wurden diese Substanzen nicht bestimmt. Bei Untersuchungen Berliner Gewässer wurde Moschus-Mosken nur in einer Wasserprobe (von 30) nachgewiesen, für Moschus-Tibeten gab es keine Positivbefunde (Heberer et al., 1999). Da diese Substanzen seit Juli 2000 verboten sind, ist zu erwarten, dass sie künftig in der Umwelt nicht mehr nachweisbar sind.
- **DPMI (Cashmeran ®)**: Dieser polycyclische Duftstoff wurde weder in schwebstoffbürtigen Sedimenten (vorliegender Bericht) noch in Sedimentproben der Elbe gefunden (Steffen, persönl. Mitt.).

### 4.3 Untersuchungen von Fischen

Auch die Untersuchungen des Gehaltes der synthetischen Nitromoschus-Duftstoffe **Moschus-Xylol** und **Moschus-Keton** von Fischen sollten fortgesetzt werden, um erste zeitliche Trends zu bestätigen. Die Fangstellen sollten dabei vereinheitlicht und so über den gesamten Längsverlauf der Elbe verteilt sein, dass ein direkter Vergleich der verschiedenen Jahre möglich wird und die Duftstoffeinträge in der Tschechischen Republik, durch die großen Elbenebenflüsse und im Hamburger Elbeabschnitt erfasst werden können. Dabei sollten möglichst die Fangorte ausgewählt werden, von denen bereits viele Daten vorliegen. Nach diesen Gesichtspunkten können folgende Fangorte vorgeschlagen werden:

Hafen Prossen, Klöden/Gallin, Gorleben, Moorburg, Mühlenberger Loch, Brunsbüttel

Als Spezies wären der Brassen und der Zander aufgrund ihrer Standorttreue sehr gut geeignet. Aber auch Aale sollten wegen ihrer Bedeutung als Speisefisch, ihres hohen Fettanteils und der bisher vorhandenen Datenbasis weiterhin untersucht werden, wobei auf eine vergleichbare Zusammensetzung der entsprechenden Aalkontingente unbedingt geachtet werden sollte.

Zusätzlich zu den Nitromoschus-Duftstoffen sollten in Fischen auch die Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe bestimmt werden. Aus folgenden Gründen erscheint vor allem

eine Analyse der Gehalte der polycyclischen Moschus-Duftstoffe **HHCB** und **AHTN** von Fischen dringend geboten:

- In Europa werden zur Zeit hauptsächlich polycyclische Moschus-Duftstoffe eingesetzt.
- Diese Substanzklasse hat einen Anteil von 98 % der Gesamtmenge synthetischer Moschus-Duftstoffe in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe. Auch in Wasserproben wurden hohe Konzentrationen polycyclischer Moschus-Duftstoffe nachgewiesen.
- In Analysen von Fischen aus verschiedenen deutschen Gewässern wurden die polycyclischen Moschus-Duftstoffe HHCB und AHTN in deutlich höheren Gehalten nachgewiesen als Moschus-Xylol und Moschus-Keton (Fromme et al., 1999; Rimkus und Wolf, 1999).
- Zusätzlich haben erste Analysen von Fischen des tschechischen Elbeabschnitts ebenfalls höhere Gehalte von polycyclischen Moschus-Duftstoffen als von Nitromoschus-Duftstoffen ergeben (Hajslova et al., 1998), so dass eine derartige Verteilung auch für Fische des gesamten Elbeverlaufs erwartet werden muss.

## 5 Zusammenfassung

Durch die ARGE ELBE sind in der jüngeren Vergangenheit umfangreiche Untersuchungen zum Vorkommen und der Verteilung von synthetischen Moschus-Duftstoffen in der Elbe veranlasst und koordiniert worden. Im Jahr 1994 erfolgte die Analyse der Nitromoschus-Duftstoffe Moschus-Xylol und Moschus-Keton im Rahmen von Untersuchungen zur Schadstoffbelastung von Elbefischen. Dabei wurde das Muskelfleisch von insgesamt 431 Brassen, bzw. Zandern und Aalen verschiedener Fangorte untersucht. Die Ergebnisse dieser Bestimmungen wurden 1996 zusammen mit den Gehalten von chlororganischen Verbindungen und Schwermetallen im Bericht der ARGE ELBE „Schadstoffe in Elbefischen – Belastung und Vermarktungsfähigkeit von der Grenze bis zur See“ veröffentlicht. Im vorliegenden Bericht werden die Gehalte synthetischer Nitromoschus-Duftstoffe von Fischen aus dem Jahr 1994 mit Ergebnissen von Analysen der Jahre 1996-1999 verglichen und diskutiert.

Außerdem wurden in Zweimonatsintervallen die Gehalte verschiedener Moschus-Duftstoffe von schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe sowie aus dem Mündungsbereich ihrer Nebenflüsse Mulde, Saale und Schwarze Elster bestimmt. Bei diesen Untersuchungen wurde neben Moschus-Xylol und Moschus-Keton das Vorkommen von drei weiteren Nitromoschus-Duftstoffen sowie sechs Substanzen aus der Stoffklasse der polycyclischen Moschus-Duftstoffe analysiert. Exemplarisch wurden über einen Zeitraum von 11 Monaten auch Wasserproben der oben genannten Messstellen untersucht, wobei lediglich zwei polycyclische Moschus-Duftstoffe in die Untersuchungen einbezogen wurden. Ergänzend wurden im Raum Leipzig Wasser- und Sedimentproben aus der Mulde, der Saale und ihren Zuflüssen sowie die Abläufe von kommunalen und industriellen Kläranlagen untersucht.

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Synthetische Moschus-Duftstoffe sind in der Elbe ubiquitär verbreitet. Sie wurden in allen Wasserproben und schwebstoffbürtigen Sedimenten sowie im Muskelfleisch von vielen Fischen verschiedener Arten nachgewiesen.

Die Konzentrationen der Moschus-Duftstoffe zeigten in Wasser- und Feststoffproben einen saisonalen Verlauf mit niedrigen Werten im Sommer und 3-8fach höheren Werten in Proben aus den Wintermonaten. Dieser Verlauf ist möglicherweise auf eine temperaturabhängige mikrobielle und/oder chemische Oxidation dieser Substanzen zurückzuführen.

In schwebstoffbürtigen Sedimenten betrug der Anteil von Nitromoschus-Duftstoffen lediglich 2 % an der Gesamtmenge synthetischer Moschus-Duftstoffe. Die Nitromoschus-Duftstoffe, die damit in der Elbe von untergeordneter Bedeutung waren, wurden in Gehalten von <0,5-16 µg/kg TM Moschus-Xylol und <0,5-8,3 µg/kg TM Moschus-Keton bestimmt. Die in der Bundesrepublik Deutschland verbotenen Duftstoffe Moschus-Ambrette, Moschus-Tibeten und Moschus-Mosken waren in der Elbe erwartungsgemäß nicht nachweisbar.

Die polycyclischen Moschus-Duftstoffe waren in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe von sehr viel größerer Bedeutung. Sie machten 98 % der Gesamtmenge synthetischer Moschus-Duftstoffe aus. Dabei war das Verhältnis der verschiedenen polycyclischen Mo-



schus-Duftstoffe zueinander relativ konstant, was vermutlich auf die häufige Verwendung von Duftstoffgemischen seitens der Industrie zurückzuführen sein dürfte. HHCB (Galaxolide®) wurde in Gehalten von 31-400 µg/kg TM bestimmt, was einem durchschnittlichen Anteil von 62 % an der Gesamtmenge synthetischer Moschus-Duftstoffe entsprach. AHTN (Tonalide®) wurde in Gehalten von 10-230 µg/kg TM analysiert und machte damit im Durchschnitt 33 % der Gesamtmenge synthetischer Moschus-Duftstoffe aus. Auch ATII (<0,5-17 µg/kg TM), AHMI (<0,5-15 µg/kg TM) und ADBI (<0,5-4,9 µg/kg TM) wurden regelmäßig gefunden, während DPMI nicht nachweisbar war. Damit war der polycyclische Moschus-Duftstoff HHCB der bedeutendste Duftstoffkontaminant in der Elbe.

Alle synthetischen Moschus-Duftstoffe von schwebstoffbürtigen Sedimenten, mit Ausnahme von Moschus-Xylol, wiesen im Längsverlauf der Elbe die gleiche Verteilung auf. An der Messstelle Schmilka wurden jeweils hohe Gehalte bestimmt (bis max. 180 µg/kg TM HHCB), an der Messstelle Domnitzsch war ein leichter Rückgang feststellbar. In der Elbe wurden die höchsten Gehalte für alle synthetischen Moschus-Duftstoffe (mit Ausnahme von Moschus-Xylol und ADBI) an der Messstelle Magdeburg nach Einmündung von Mulde, Saale und Schwarze Elster festgestellt. Weiter stromab nahmen die Gehalte an den untersuchten Messstellen dann jeweils ab. Die Werte im Bereich der Tideelbe waren am niedrigsten. An der Messstelle Grauerort wurden lediglich bis zu 46 µg/kg TM HHCB gefunden. Im Unterschied zu dieser Verteilung nahmen die Moschus-Xylol-Gehalte der schwebstoffbürtigen Sedimente im gesamten deutschen Elbeabschnitt von Schmilka bis Grauerort ab, wobei dieser Nitromoschus-Duftstoff in der Tideelbe nur sehr vereinzelt nachweisbar war.

Die Verteilung der Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe von schwebstoffbürtigen Sedimenten im Elbelängsverlauf lässt erkennen, dass synthetische Moschus-Duftstoffe vor allem durch zwei Quellen in die Elbe eingetragen wurden. Ein wesentlicher Eintrag erfolgte durch Abwassereinträge in der Tschechischen Republik, was sich in hohen Gehalten aller synthetischen Moschus-Duftstoffe in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der grenznahen Messstelle Schmilka dokumentiert. Für Moschus-Xylol war nach den vorliegenden Ergebnissen nur dieser Eintrag von Bedeutung.

Der zweite wesentliche Eintrag synthetischer Moschus-Duftstoffe in die Elbe erfolgte über die Elbenebenflüsse, der zum erhöhten Gehalt der schwebstoffbürtigen Sedimente der Messstelle Magdeburg führte. In den Mündungsbereichen von Mulde, Saale und Schwarze Elster wurden hohe Gehalte polycyclischer Moschus-Duftstoffe und von Moschus-Keton bestimmt. Die höchsten Gehalte dieser synthetischen Moschus-Duftstoffe wurden dabei mit Werten von bis zu 400 µg/kg TM HHCB in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Mulde gefunden (Messstelle Dessau), die im Mittel fast doppelt so hoch mit Moschus-Duftstoffen beladen waren (Jahresmittelwert 1998: 220 µg/kg TM HHCB) wie die schwebstoffbürtigen Sedimente der Elbe vor Einmündung der Nebenflüsse (Messstelle Domnitzsch, Jahresmittelwert 1998: 127 µg/kg TM HHCB). Auch die schwebstoffbürtigen Sedimente der Saale (Messstelle Rosenberg) wiesen mit Gehalten von maximal 370 µg/kg TM HHCB im Jahresmittel (1998: 189 µg/kg TM HHCB) deutlich höhere Gehalte als die der Elbe auf, während die schwebstoffbürtigen Sedimente der Schwarzen Elster (Messstelle Gorsdorf) im Vergleich zur Elbe nur geringfügig höher mit Moschus-Duftstoffen beladen waren. Ein Eintrag von polycyclischen Moschus-

Duftstoffen und Moschus-Keton in die Elbe erfolgte somit vor allem durch die Mulde und die Saale.

Ein Vergleich der Untersuchungsergebnisse von 1998 und 1999 zeigte zumeist einen deutlichen Rückgang der Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in den schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe. Von Schmilka bis Schnackenburg waren die Jahresmittelwerte der polycyclischen Moschus-Duftstoffe und von Moschus-Keton 1999 um 25-40 % niedriger als die Jahresmittelwerte 1998. Im Bereich der Tideelbe betrug der Rückgang für die polycyclischen Moschus-Duftstoffe sogar 50-70 %, Moschus-Keton war in diesem Elbeabschnitt in beiden Beprobungsjahren nur vereinzelt nachweisbar. Dies weist auf eine verringerte Verwendung dieser Verbindungen in den Produkten des täglichen Bedarfs hin. Im Gegensatz dazu wurde für Moschus-Xylol in beiden Jahren ein gleichbleibend niedriger Gehalt ermittelt, da diese Verbindung in Produkten des deutschen Marktes kaum noch enthalten war.

Auch im Muskelfleisch von Brassen, Zandern und Aalen waren Moschus-Xylol und Moschus-Keton häufig nachweisbar. Der Gehalt dieser Duftstoffe war dabei vom Fettgehalt der Fische abhängig. Im Muskelfleisch der zu den fettarmen Fischen zählenden Zander (0,08-2,25 % Fett) wurden maximal 8,4 µg/kg FG Moschus-Xylol und 3 µg/kg FG Moschus-Keton bestimmt. Brassen (0,75-12 % Fett) enthielten bis zu 46,9 µg/kg FG Moschus-Xylol und 9,3 µg/kg Moschus-Keton, während die zu den fettreichen Fischen zählenden Aale (3,9-40 % Fett) Gehalte von bis zu 164 µg/kg Moschus-Xylol und 100 µg/kg Moschus-Keton aufwiesen. Aufgrund dieser Ergebnisse ergibt sich nach dem Gehalt an Nitromoschus-Duftstoffen im Muskelfleisch folgende Reihung der Belastung der untersuchten Spezies:

**Zander** (*Schistostedion lucioperca*) <**Brassen** (*Abramis brama*) <**Aal** (*Anguilla anguilla*)

Der Nitromoschus-Gehalt im Muskelfleisch von Fischen ist in der Regel abhängig von der Duftstoffkonzentration im Umgebungswasser. Bei den standorttreuen Brassen und Zandern dürfte daher der Nitromoschus-Gehalt der Fische die Konzentration des Wasserkörpers am Fangort widerspiegeln. Aufgrund dieser direkten Abhängigkeit kann von den in Elbefischen ermittelten Gehalten der Nitromoschus-Duftstoffe auf die Konzentrationen dieser Verbindungen im Wasserkörper der Fangorte geschlossen werden. Nitromoschus-Gehalte von Fischen lassen somit Rückschlüsse auf Eintragsquellen dieser Substanzen in die Elbe zu. Bei den Aalen muss dabei allerdings ihr Wanderverhalten berücksichtigt werden. Auf der Grundlage dieser Überlegungen konnte aus den Moschus-Xylol- und Moschus-Keton-Gehalten von Fischen verschiedener Fangorte im Längsverlauf der Elbe auf zwei wesentliche Eintragsquellen dieser Nitromoschus-Duftstoffe in die Elbe geschlossen werden.

Der erste Eintrag erfolgte auf dem Gebiet der Tschechischen Republik. In diesem Elbeabschnitt wurde Moschus-Xylol in die Elbe eingebracht, was anhand der hohen Anreicherung dieses Duftstoffes in den Fischen der grenznahen Fangorte Schmilka (Medianwert: 51 µg/kg FG (Aal, 1995)), Hafen Prossen (Medianwerte: 0,4 µg/kg FG (Zander, 1999); 10 µg/kg FG (Brassen, 1994); 68 µg/kg FG (Aal, 1999)) und Winterhafen Meißen (Medianwerte: 8,4 µg/kg FG (Brassen, 1994); 0,3 µg/kg FG (Zander, 1999)) abzuleiten war. Moschus-Keton wurde in diesem Elbeabschnitt dagegen nur in einem kleinen Teil der untersuchten Fische mit geringen Gehalten nachgewiesen. Die aus der Verteilung der Gehalte synthetischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten ermittelte Eintragsquelle von Moschus-Duft-

stoffen in der Tschechischen Republik konnte daher auch durch die Fischanalysen bestätigt werden.

Als weitere wesentliche Eintragsquelle von Nitromoschus-Duftstoffen wurden die Abwasserteileinleitungen im Hamburger Elbeabschnitt angesehen, die vermutlich für die Anreicherung dieser Substanzen in den Fischen der Fangorte im Hamburger Hafen und unterhalb Hamburgs führten. Im Fangjahr 1994 wurden in den Fischen hohe Gehalte sowohl von Moschus-Xylol als auch von Moschus-Keton ermittelt. Demgegenüber war 1999 in Fischen dieser Fangorte vor allem Moschus-Keton angereichert, was in Zandern des Fangortes Finkenwerder/DaimlerChrysler Aerospace Airbus GmbH am höheren Medianwert von Moschus-Keton (1,4 µg/kg FG) gegenüber Moschus-Xylol (0,1 µg/kg FG) deutlich wurde. Auch das Aalkontingent des Fangortes Rethe/Kattwyk zeigte im Jahr 1999 eine höhere Anreicherung von Moschus-Keton (Median: 11,5 µg/kg FG) gegenüber Moschus-Xylol (Median: 3,6 µg/kg FG), die einen Hinweis gab, dass in diesem Zeitraum im Hamburger Elbeabschnitt vor allem Moschus-Keton in die Elbe transportiert wurde. Der Eintrag von synthetischen Moschus-Duftstoffen aus den Hamburger Kläranlagen war, vermutlich aufgrund des Tideeinflusses, aus den Duftstoffgehalten der schwebstoffbürtigen Sedimente nicht abzuleiten. Die schwebstoffbürtigen Sedimente zeigten stattdessen den Eintrag synthetischer Moschus-Duftstoffe durch die Elbenebenflüsse, der in einer exemplarischen Untersuchung von Fischen aus den Nebenflüssen nicht bewiesen werden konnte, weil keine ausreichenden Ergebnisse vorlagen.

Bei Aalen war der Gehalt synthetischer Moschus-Duftstoffe neben dem Fangort vor allem vom Fettgehalt des Muskelfleisches abhängig. In Blankaalen (Fettgehalt bis zu 40 %) wurden deutlich höhere Gehalte ermittelt als in Gelbaalen (Fettgehalt etwa 3-10 %). Da Blankaale und Gelbaale bei den Analysen nicht getrennt erfasst wurden, kann dieser Zusammenhang der vorliegenden Ergebnisse nur vermutet werden, aber es gibt dafür deutliche Hinweise. Am Fangort Gorleben setzte sich das Aalkontingent zu einem hohen Anteil aus Blankaalen zusammen. In diesen Fischen wurden hohe Gehalte von Moschus-Xylol (5-164 µg/kg FG, Median: 28,5 µg/kg FG) und Moschus-Keton (<BG-100 µg/kg FG, Median: 18 µg/kg FG) ermittelt. Das Aalkontingent des Fangortes Brunsbüttel war demgegenüber zu einem hohen Anteil aus einwandernden Gelbaalen zusammengesetzt. In diesen Aalen wurden deutlich niedrigere Gehalte von Moschus-Xylol (<BG-3,1 µg/kg FG, Median: 1,8 µg/kg FG) und Moschus-Keton (1-4,6 µg/kg FG, Median: 1,4 µg/kg FG) bestimmt.

Im Vergleich unterschiedlicher Beprobungsjahre war zwischen 1994 und 1999 im Muskelfleisch von Fischen ein deutlicher Rückgang der Nitromoschus-Gehalte feststellbar. Während die Moschus-Xylol-Gehalte 1994 an den meisten Fangorten über denen von Moschus-Keton lagen, war diese Substanz 1999 nur in den Fangorten nahe der tschechischen Grenze in hohen Gehalten nachweisbar. Besonders deutlich ging der Moschus-Xylol-Gehalt in den Fischen von Fangorten im Hamburger Hafen und unterhalb Hamburgs zurück. Im Elbeabschnitt von Magdeburg bis Brunsbüttel war daher im Jahre 1999 Moschus-Keton der vorherrschende Nitromoschus-Duftstoff in den Elbefischen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass aus der Verteilung von Moschus-Duftstoffen im Längsverlauf der Elbe in verschiedenen Kompartimenten (Wasser, schwebstoffbürtige Sedimente, Fische) insgesamt drei Quellen für die Herkunft dieser Verbindungen zugeordnet werden konnten. Ein wesentlicher Eintrag erfolgte auf dem Gebiet der Tschechi-

schen Republik, was an hohen Duftstoffgehalten in schwebstoffbürtigen Sedimenten und Fischen abzuleiten war. Hohe Gehalte von Moschus-Duftstoffen im Wasser und in schwebstoffbürtigen Sedimenten von Mulde, Saale und Schwarze Elster zeigten, dass auch über diese Elbenebenflüsse, die damit die zweite wesentliche Eintragsquelle darstellten, Moschus-Duftstoffe in die Elbe eingebracht wurden. Die dritte Eintragsquelle waren Abwassereinleitungen im Hamburger Elbeabschnitt.

Bei den Untersuchungen im Raum Leipzig konnten die gereinigten Abwässer kommunaler Kläranlagen, die Konzentrationen von 2,5-5,7 µg/l des polycyclischen Moschus-Duftstoffes HHCB aufwiesen, eindeutig als Eintragsquellen synthetischer Moschus-Duftstoffe in Oberflächengewässer identifiziert werden. Die Einleitung von gereinigtem Abwasser hatte unterhalb der Einleitstelle jeweils einen deutlichen Anstieg der Konzentrationen synthetischer Moschus-Duftstoffe in den Gewässern zur Folge (bis zu 1 µg/l HHCB in der Neuen Gösel).

Synthetische Moschus-Duftstoffe können nach diesen Ergebnissen als Indikatoren für Abwassereinleitungen dienen.

Neben den synthetischen Nitromoschus-Duftstoffen wurde die Verteilung des hauptsächlich in der Industrie verwendeten optischen Aufhellers Coumarin 1 in der Elbe und ihren Nebenflüssen untersucht. An der Messstelle Schmilka wurden mit maximal 460 ng/l die höchsten Coumarin-Konzentrationen bestimmt. Diese Verbindung dürfte daher vor allem auf dem Gebiet der Tschechischen Republik mit industriellen Abwässern in die Elbe gelangen. Von Schmilka bis Magdeburg war ein Rückgang der Konzentration von Coumarin 1 im Wasserkörper festzustellen, der weitgehend proportional zur Erhöhung des Oberwasserabflusses verlief. Von der Messstelle Magdeburg bis in den Bereich des Hamburger Hafens (Messstelle Seemannshöft) war die Konzentration gleichbleibend. In der Unterelbe (Messstelle Grauerort) nahm die Konzentration infolge der Durchmischung des Wasserkörpers durch die Tide weiter ab. In den Mündungsbereichen der abwasser-beeinflussten Elbenebenflüsse wurde Coumarin 1 nur in wenigen Proben in geringen Konzentrationen (10-30 ng/l) nachgewiesen. Ein relevanter Eintrag über kommunale Kläranlagen ist demnach unwahrscheinlich.

## **Danksagung**

Wir danken U. Ehrhorn, Dipl.-Ing J. Loeffler und Dipl.-Ing. M. Bergemann (Wassergütestelle Elbe, Hamburg) für die Mithilfe bei der Erstellung des vorliegenden Berichtes.

Dr. C. Fooker (Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiesbaden), D. Steffen (Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim) und Dr. Th. Heberer (Technische Universität Berlin, Institut für Lebensmittelchemie) danken wir dafür, dass sie uns bisher unveröffentlichtes Datenmaterial zur Verfügung stellten.

Herrn Feldmann und M. Hebbel (Quantitative Analysen (QA)) danken wir für die Erstellung einer Grafikkvorlage.

Außerdem danken wir Dr. G. Rimkus (Landesveterinäranstalt Schleswig Holstein) und Dipl.-Bioing. S. Wolff (Wassergütestelle Elbe) für die kritische Durchsicht von Teilen des Manuskriptes.

Auch I. Martens gilt ein herzlicher Dank für ihre Durchsicht des Berichtes.

## 6 Literatur

- ANONYMUS (1996): *Die Durchführung der Lebensmittelkontrolle in der Schweiz im Jahre 1995 – Kantonaler Vollzug der Lebensmittelgesetzgebung*. Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg., 87, S. 464-467.
- API, A.M.; FORD, R.A.; SAN, R.H.C. (1995): *An evaluation of musk xylene in a battery of genotoxicity tests*. Fd. Chem. Toxic., 33, S. 1039-1045.
- BAG=BUNDESAMT FÜR GESUNDHEIT DER SCHWEIZ (2000). Persönliche Mitteilung an S. Wiegel durch A.B. Wiesmann, Leiterin der Fachstelle Kosmetika, Bern.
- BARBETTA, L; TROWBRIDGE, T; ELDIB I.A. (1988): *Musk aroma chemical industry*. Perfumer and Flavorist, 13, S. 60-61.
- BAUER, K.; GARBE, D; SURBURG, H. (1990): *Common fragrance and flavour materials*. Weinheim (VCH Verlagsgesellschaft mbH).
- BAUR, A. (1891): *Studien über den künstlichen Moschus*. Ber. Dtsch. Chem. Ges., 24, S. 2832.
- BEETS, M.G.J. (1957): *Sensory properties of foods*. In: Birch , L.G.G.; Brennan, J.G.; Parker, K. (eds.), Applied Science, London, S. 54.
- BEHECHTI, A., SCHRAMM, K.-W.; ATTAR, A.; NIEDERFELLNER, J.; KETRUP, A. (1998): *Acute aquatic toxicities of four musk xylene derivatives on Daphnia magna*. Water Research, 32 (5), S. 1704-1707.
- BERDING, V.; SCHWARTZ, S.; MATTHIES, M. (1999): *Visualisation of the complexity of EUSES*. ESPR- Environmental Science and Pollution Research, 6 (1), S. 37-43.
- BESTER, K.; HÜHNERFUSS, H.; LANGE, W.; RIMKUS, G.G.; THEOBALD, N. (1998): *Results of non target screening of lipophilic organic pollutants in the German Bight II: Polycyclic musk fragrances*. Water Research, 32 (6), S. 1857-1863.
- BGBL I (1995): 24. *Verordnung zur Änderung der Kosmetik-Verordnung vom 21.12.95*. BGBL I, S. 2098-2099.
- BGBL I (1998): 28. *Verordnung zur Änderung der Kosmetik-Verordnung vom 18.12.98*. BGBL I, S. 3773-3774.
- BLOCK, H. (1997): *Measurement of musk fragrances in sludges of sewage treatment plants in The Netherlands*. BKH consulting Engineers, The Netherlands. Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- BOERSMA, B; HAGENS, T. (1991): *Biodegradation of Tonalide in an aquatic environment*. Centrilab report 310418. Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997
- BREUKEL, R.M.A., BALK, F. (1996): *Musken in Rijn en Maas*. In: RIZA Werkdokument 96.197x. RIZA, Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- BRUNN, H.; RIMKUS, G. (1997): *Synthetische Moschusduftstoffe - Anwendung, Anreicherung in der Umwelt und Toxikologie, Teil 2: Toxikologie der synthetischen Moschusduftstoffe und Schlußfolgerungen*. Ernährungs-Umschau, 44, S. 4-9.
- BUNDESTAGSDRUCKSACHE (1995). *Bundestagsdrucksache 13/487 vom 13. 02. 1995*.
- CASTILLO, M.; BARCELO, D.; PEREIRA, A.S.; AQUINO NETO, A. (1999): *Characterization of organic pollutants in industrial effluents by high-Temperature gas chromatography – mass spectrometric* Trends in Analytical Chemistry, 18(1) , S. 26-36.
- CESHI, M.; DE ROSSA; M.; JÄGGLI, M. (1996): *Organic and inorganic pollutants and radionuclides in the ichthyofauna of the lakes Cerisio and Verbano (Swiss basins)*. Trav. Chim. Aliment Hyg. 87, S. 189-211.

- CONSUMENTENGIDS (1995): *Paling met parfum – cosmetica met een luchtje*. Consumentengids 7, 443-445.
- DÖPP, D.; SAILER, K.H. (1975): *Photodegradation of musk ketone, musk xylene and musk tibetene. The photochemistry of nitroaromatic compounds*. Chem. Ber., 108, S. 3483-3496.
- DAUGHTON, C.G.; TERNES, T.A. (1999): *Pharmaceuticals and personal care products in the environment: Agents of subtle change?* Environmental Health Perspectives, 107 (6), S. 907-938.
- DRAISCI, R., MARCHIAFAVA, C. FERRETTI, E. (1998): *Evaluation of musk contamination of freshwater fish in Italy by accelerated solvent extraction and gas chromatography with mass spectrometric detection*. Journal of Chromatography A, 814, S. 187-197.
- EDWARDS, D.E. (1996a): *Determination of water solubility <sup>14</sup>C-AHTN*. In: Report to RIFM, Weston Study No. 95-031. Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- EDWARDS, D.E. (1996a): *Determination of water solubility <sup>14</sup>C-HHCB*. In: Report to RIFM, Weston Study No. 95-032. Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- EMIG, M.; REINHARDT, A.; MERSCH-SUNDERMANN, V. (1996): *A comparative study of five nitro-musk compounds for genotoxicity in the SOS chromtest and Salmonella mutagenicity*. Toxicology Letters, 85, S. 151-156.
- ENVIRONGEN, INC. (1997): *Biodegradation studies of HHCB*. Study # 96-215. Princeton Research Center, New Jersey. For IFF New Jersey, 23 April 1997. Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- ESCHKE H.-D (1994): *Geruchsstoffe im Ruhrwasser am Beispiel von synthetischen Moschusverbindungen / Organische Xenobiotika und Schwermetalle in Fischen aus dem Einzugsgebiet der Ruhr*. In: *Ruhrwassergüte 1994*, Ruhrverband Essen, S.53-56; 62-68.
- ESCHKE H.-D (1996): *Organische Spurenstoffe in der Ruhr*. In: *Ruhrwassergüte 1996*, Ruhrverband Essen, S.86-90.
- ESCHKE H.-D (1999): *Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung - Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie*, im Druck. Zitiert in: Rimkus, 1999.
- ESCHKE, H.-D.; DIBOWSKI, H.-J.; TRAUD, J. (1994): *Untersuchungen zum Vorkommen polycyclischer Moschus-Duftstoffe in verschiedenen Umweltkompartimenten- Nachweis und Analytik mit GC/MS in Oberflächen-, Abwässern und Fischen, 1. Mitteilung.*, Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung-Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, 6 (4), S. 183-189.
- ESCHKE, H.-D.; DIBOWSKI, H.-J.; TRAUD, J. (1995a): *Untersuchungen zum Vorkommen polycyclischer Moschus-Duftstoffe in verschiedenen Umweltkopartimenten, 2. Mitteilung: Befunde in Oberflächen-, Abwässern und Kosmetika*. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung-Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, 7 (3), S. 131-138.
- ESCHKE H.-D.; DIBOWSKI, H.-J.; TRAUD, J. (1995b): *Nachweis und Quantifizierung von polycyclischen Moschus-Duftstoffen mittels Ion-Trap GC/MS/MS in Humanfett und Muttermilch*. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 91(12), S. 375-379.
- ESCHKE H.-D.; TRAUD, J.; DIBOWSKI, H.-J. (1994): *Analytik und Befunde künstlicher Nitromoschus-substanzen in Oberflächen- und Abwässern sowie Fischen aus dem Einzugsgebiet der Ruhr*. Vom Wasser, 83, S. 373-383.
- EWALD, F. (1998): *Kinetik der Akkumulation und Clearance der polycyclischen Moschus-Duftstoffe Galaxolide und Tonalide in Zebrabärblingen*. Diplomarbeit, Universität Oldenburg, Deutschland.
- FORD, R.A. (1998): *The human safety of the polycyclic musks AHTN and HHCB in fragrances- a review*. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 94 (8), S. 268-275.
- FORD, R.A.; API, A.M.; NEWBERNE, P.M (1990): *90-day dermal toxicity study and neurotoxicity evaluation of nitromusk in the albino rat*. Food Chem. Toxicol., 28, S. 55-61.

- FOOKEN, C., GIHR, R., HÄCKL, M., SEEL, P. (1997): *Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe - Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen, 1991-1996*. In: Umweltplanung, Arbeits- und Umweltschutz, Heft 233. Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiebaden, S. 89-96.
- FOOKEN, C., GIHR, R., SEEL, P. (1999): *Orientierende Messungen gefährlicher Stoffe-Landesweite Untersuchungen auf organische Spurenverunreinigungen in hessischen Fließgewässern, Abwässern und Klärschlämmen, 1991-1998. Ergänzender Bericht zu 1997-1998*. Hessische Landesanstalt für Umwelt, Wiebaden, S. 40-43.
- FOOKEN, C. (HESSISCHE LANDESANSTALT FÜR UMWELT, 2000): Persönliche Mitteilung an die Wassergütestelle Elbe.
- FRANKE, S.; HILDEBRANDT, S.; SCHWARZBAUER, J.; LINK, M.; FRANCKE, W. (1995): *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, S. 39-49.
- FRANKE, S.; MEYER, C.; HEINZEL, N.; GATERMANN, R.; HÜHNERFUSS, H.; RIMKUS, G.; KÖNIG, W.A.; FRANCKE, W. (1999): *Enantiomeric Composition of the polycyclic Musks HHCB and AHTN in different aquatic species*. Chirality, 11, S. 795-801.
- FROMME, H.; OTTO, T.; PILZ, K.; NEUGEBAUER, F. (1999): *Levels of synthetic musks, bromocyclene and PCBs in eel (Anguilla anguilla) and PCBs in sediment samples from some waters of Berlin/Germany*. Chemosphere, 39(10), S. 1723-1735.
- GATERMANN, R.; HELLOU, J.; HÜHNERFUSS, H.; RIMKUS, G.; ZITKO, V. (1999): *Polycyclic and nitro musks in the environment: A comparison between Canadian and European aquatic biota*. Chemosphere, 38 (14), S. 3431-3441.
- GATERMANN, R.; HÜHNERFUSS, H.; RIMKUS, G.; WOLF, M., FRANKE S. (1995): *The distribution of nitrobenzene and other nitroaromatic compounds in the North Sea*. Marine Pollution Bulletin, 30, S. 221-227.
- GATERMANN, G.; HÜHNERFUSS, H.; RIMKUS, G. (1998): *Occurrence of musk xylene and musk ketone metabolites in the aquatic environment*. Chemosphere, 36 (11), S. 2535-2547.
- GAUMERT, T. (1996): *Schadstoffe in Elbefischen – Belastung und Vermarktungsfähigkeit von der Grenze bis zur See*. Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe (Hrsg.), Hamburg, Juli 1996.
- GEBAUER, H., BOUTER, T. (1997): *Moschus*. Euro Cosmetics, 1, S. 30-35.
- GEYER, H.J.; RIMKUS, G.; WOLF, M.; ATTAR, A.; STEINBERG, C.; A. KETTRUP (1994): *Synthetische Nitromoschus-Duftstoffe und Bromocyclen - Neue Umweltchemikalien in Fischen und Muscheln bzw. Muttermilch und Humanfett*. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung - Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, 6(1), S. 9-17.
- GEYER, H.J.; RIMKUS, G.G.; SCHEUNERT, L. (1999): *Bioaccumulation and occurrence of endocrine-disrupting chemicals (EDCs), persistent organic pollutants (POPs) and other organic compounds in fish and other organisms including humans*. In: Hutzinger, O., Beck, B. (Hrsg.), Bioaccumulation, Handbook of Environmental Chemistry, Nr. 2, Teil 7. Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, S. 1-166.
- GLÜCK, B.; HAHN, J. (1995): *Schadstoffbelastung von Fischen*. Fleischwirtschaft, 75(1), S. 92-95.
- HAAS, R. (1992): *Rüstungsaltslasten – Einschätzung des Gefährdungspotentials auf dem Wasserpfad*. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung - Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie, 4, S. 352-354.
- HAHN, J. (1993): *Untersuchungen zum Vorkommen von Moschus-Xylol in Fischen*. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 89, S. 175-177.



- Hajslova, J.; Gregor, P.; Chladkova, V.; Alterova, K. (1998): *Musk compounds in fish from Elbe river*. *Organohalogen Compounds* 39, S. 253-256.
- Helbig, K.S.; Schmid, P.; Schlatter, C. (1994): *The trace analysis of musk xylene in biological samples: Problems associated with its ubiquitous occurrence*. *Chemosphere* 29 (3), S. 477-484.
- Herren, D.; Berset, J.D. (2000): *Nitro musks, nitro musk amino metabolites and polycyclic musks in sewage sludges. Quantitative determination by HRGC-ion-trap-MS/MS and mass spectral characterization of the amino metabolites*. *Chemosphere* 40, S. 565-574.
- Heberer, T.; Gramer, S.; Stan, H.-J. (1999): *Occurrence and distribution of organic contaminants in the aquatic system in Berlin. Part III: Determination of synthetic musks in Berlin surface water applying solid-phase microextraction (SPME) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS)*. *Acta Hydrochimica Hydrobiologica* 27 (3), S. 150-156.
- Heberer, T.; These, A.; Grosch, U.A. (2000): *Occurrence and fate of synthetic musks in the aquatic system of urban areas*. In: Daughton, C.G.; Jones-Lepp, T. (Hrsg.), *Pharmaceuticals and personal care products in the environment: An emerging concern*. American Chemical Society (ACS), Oxford University Press (im Druck).
- Hood, H.L.; Wicket, R.R.; Bronaugh (1996): *In vitro percutaneous absorption of the fragrance ingredient musk xylol*. *Fd. Chem. Toxic.* 34, S. 483-488.
- Ippen, H. (1994): *Nitromoschus, Teil I + Teil II*, Bundesgesundheitsblatt 6/94 und 7/94, S. 255-260 + 291-294.
- ITRICH, N.R.; SIMMONICH S.L.; FEDERLE, T.W. (1998): *Biotransformation of the polycyclic musk, HHCB, during sewage treatment*. Poster presentation at the SETAC 19<sup>th</sup> Annual Meeting, 14-15 November 1998, Charlotte, NC, USA, Zitiert in: Franke et al., 1999.
- KÄFFERLEIN, H.U.; GÖEN, T.; ANGERERE, J. (1998): *Musk Xylene: Analysis, occurrence, kinetics and toxicology*. *Critical Reviews in Toxicology*, 28(5), S. 431-476.
- KING, J.M.H. (1994a): *Assessment of the inherent biodegradability of 7-Acetyl-1,1,3,4,4,6-hexamethyltetrahydro-naphthalene in the sealed vessel test using acclimated effluent*. Unilever BD/END/04. Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- KING, J.M.H. (1994b): *Assessment of the inherent biodegradability of 1,3,4,6,7,8,-hexamhydro-4,6,6,7,8,8-hexamethylcyclopenta-gamma-2-benzopyran IPM in the sealed vessel test using acclimated effluent*. Unilever BD/END/03. Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- KOKOT-HELBIG, K.; SCHMID, P.; SCHLATTER, C. (1995): *Die Belastung des Menschen mit Moschus-Xylol – Aufnahmewege, Pharmakokinetik und toxikologische Bedeutung*. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.*, 86, S. 1-13.
- KNALLENBORN, R.; GATERMANN, R.; PLANTING, S.; RIMKUS, G.G; LUND, M., SCHALBACH, M.; BURKOW, I.C. (1999): *Gas chromatographic determination of synthetic musk compounds in Norwegian air samples*. *Journal of Chromatography A*, 846, S. 295-306.
- KNALLENBORN, R.; RIMKUS, G.G (1999): *Synthetic musks in environmental samples: indicator compounds with relevant properties for environmental monitoring*. *Journal of Environmental Monitoring*, 1, S. 70N-74N
- KRUSE, R. (1992): *Nachweis und Bewertung von Bromocyclen- und Moschus-Xylol-Rückständen in Forellen*. Bericht der 33. Arbeitstagung des Arbeitsgebietes Lebensmittelhygiene der Deutschen Veterinärmedizinischen Gesellschaft e.V., 29.9. – 2.10.1992, Garmisch-Patenkirchen, S. 115-124.
- LACH, G.; STEFFEN, D. (1997): *Orientierende Untersuchungen von Gewässersedimenten auf Nitro-/Polymoschusverbindungen und die Flammschutzmittel TCEP und TCPP*. *Oberirdische Gewässer 3/97*, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim.
- LAGOIS, U. (1996): *Vorkommen von synthetischen Nitromoschusverbindungen in Gewässern*. *gwf-Wasser Abwasserwesen*, 137, S. 154-155.

- LAU=LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ, SACHSEN ANHALT (1999): Persönliche Mitteilung an die Wassergütestelle Elbe.
- LIDE, D.R. (1993): *Handbook of Chemistry and Physics*. 74<sup>th</sup> ed. CRC Press, Boca Raton, S. 3.
- LIEBL, B.; EHRENSTORFER, S. (1993): *Nitro musks in human milk*. *Chemosphere*, 27 (11), S. 2253-2260.
- LINKERHÄGNER, M.; RIMKUS, G.; STAN, H.-J. (1994): *Detection of nitro musks in human fat by capillary gas chromatography with atomic emission detection (AED) using programmed temperature vaporization (PTV)*. *Journal of High Resolution Chromatography*, 17, S. 821-826.
- LIU, J.; DUAN, G. (1998): *Common structural characteristics of musk odorant molecules*. *Journal of Molecular Structure (Theochem)*, 432, S. 97-103.
- MACGILIVRAY, J. (1996a): *Determination of vapor pressure for HHCB*. Report to RIFM, Roy F. Weston Inc. Study No. 95-040, *Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997*.
- MACGILIVRAY, J. (1996b): *Determination of vapor pressure for AHTN*. Report to RIFM, Roy F. Weston Inc. Study No. 95-041, *Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997*.
- MAEKAWA, A.; MATSUSHIMA, Y.; ONODERA, H.; SHIBUTANI, M.; OGASAWARA, H.; KODAMA, Y.; KUROKAWA, Y.; HAYASHI, Y. (1990): *Long-term toxicity, carcinogenicity of musk xylene in B6C3F1 mice*. *Food Chem. Toxicol.*, 28, S. 581-586.
- MERSCH-SUNDERMANN, V.; REINHARD, A.; EMIG, M. (1996): *Untersuchungen zur Mutagenität, Genotoxizität und Kogenotoxizität umweltrelevanter Nitromoschusverbindungen*. *Zbl. Hyg.*, 198, S. 429-442.
- MERSCH-SUNDERMANN, V.; KEVEKORDES, S.; JENTERO, C. (1998): *Lack of mutagenicity of polycyclic musk fragrances in Salmonella typhimurium*. *Toxicology in vitro*, 12, S. 389-393.
- MINEGISHI, K.-I.; NAMBARU, S.; FUKUOKA, M.; TANAKA, A.; NISHIMAKI-MOGAMI, T., (1991): *Distribution, metabolism and excretion of musk xylene in rats*. *Arch. Toxicol.*, 65, S. 273-282.
- MITI=MINISTRY OF INTERNATIONAL TRADE AND INDUSTRY (1992): *MITI-List*, Tokyo, Japan
- MUERMANN, H.-E., VEREINIGUNG DEUTSCHER RIECHSTOFFHERSTELLER E.V. (2000): *Persönliche Mitteilung an S. Wiegel*
- MÜLLER, P.M. (1991): *Perfumes: Art, Science and Technology*. Elsevier Applied Science, London.
- MÜLLER, S.; SCHMID, P.; SCHLATTER, C. (1996): *Occurrence of nitro and non-nitro benzoid musk compounds in human adipose tissue*. *Chemosphere*, 33 (1), S. 17-28.
- NEA (1997): Letter from T.J. van Bergen, NEA-Technical Committee Fragrances, to E. v.d. Plassche on *Distribution of AHTN and HHCB usage throughout the EU*. 08.09.97 *Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997*.
- NEAMTU, M.; SIMINICEANU, I.; KETTRUP, A. (2000): *Kinetics of nitromusk compounds degradation in water by ultraviolet radiation and hydrogen peroxide*. *Chemosphere*, 40, S. 1407-1410.
- OHLOFF, G. (1990): *Riechstoffe und Geruchssinn – Die molekulare Welt der Düfte*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, S. 195-220.
- ÖKO-TEST (1999): *Das ganze Wissen von ÖKO-TEST 1992-1999*. CD-Rom, ÖKO-TEST-Verlag Frankfurt am Main.
- OMEGAM, (1997): *Analytical results of musks in sludges*. Report to BKH, Omeagam Projekts 57880, 57448, 5714, *Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997*.
- OSPAR (1998): *Convention for the protection of the marine environment of the north-east Atlantic*. Working group of diffuse sources (DIFF), Helsinki, 6-9 October, 1998: Draft background document concerning the elaboration of programmes and measures on nitro musks and polycyclic musks, 1-38, Draft, 11.9.1998.

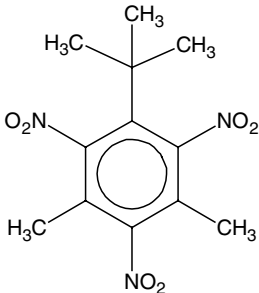
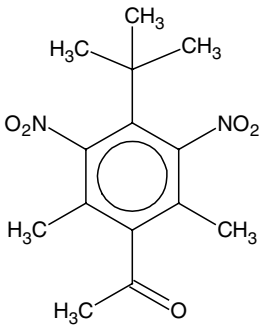
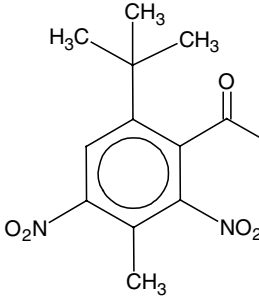
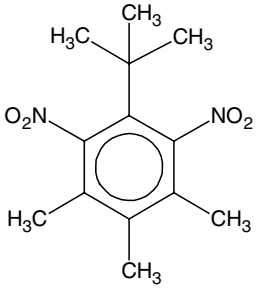
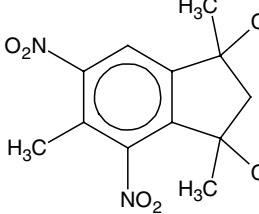
- OTT, M.; FAILING, K.; LANG, U.; SCHUBRING CH.; GENT H.-J.; GEORGII, S.; BRUNN, H. (1999): *Contamination of Human milk in middle Hesse, Germany – A cross-sectional study on the changing levels of chlorinated pesticides, PCB congeners and recent levels of nitro musks*. *Chemosphere*, 38, S. 13-32.
- QUINGHUA, Z. (1993): *China's perfumery industry pick's up*. *Perfumer and Flavorist*, 18, S. 47-48.
- PAXEUS, N. (1996): *Organic pollutants in the effluents of large wastewater treatment plants in Sweden*. *Water Research*, 30, S.1115-1122.
- PFW (1996): *Biodegradation of polycyclic musks by micro-organisms*. In: Screening of soil samples and investigation of pure cultures. Supplementary report, period Jan-Jun 1996., Sept. 1996. Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- PUTT, A. (1999): *Benezeneamine, 4-(1,1-dimethylethyl)-2,6-dimethyl-3,5-dinitro- Acute toxicity to daphnids (Daphnia magna) under static conditions*. Study No. 13719.6101. Springborn Laboratories, Inc. Wareham, Massachusetts, USA, Report to RIFM.
- REBMANN, A.; WAUCHKUHN, C.; WAIZENEGGER, W. (1997): *Bedeutung der Moschusduftstoffe im Wandel der Zeit*. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 93 (8), S. 251-255.
- RIMKUS, G. (1998): *Synthetic musk fragrances in human fat and their potential uptake by dermal re-sorption*. In: Frosch, P.J.; Johansen, J.D.; White, L.R. (Hrsg) *Fragrances: beneficial and adverse effects*. Springer-Verlag Berlin, Heidelberg, S.136-149.
- RIMKUS, G.G. (1999): *Polycyclic musk fragrances in the aquatic environment*. *Toxicology Letters*, 111, S.37-56.
- RIMKUS, G.G. (2000): Persönliche Mitteilung an S. Wiegel.
- RIMKUS, G.; BRUNN, H. (1996): *Synthetische Moschusduftstoffe - Anwendung, Anreicherung in der Umwelt und Toxikologie- Teil I Herstellung, Anwendung, Vorkommen in Lebensmitteln, Aufnahme durch den Menschen*. *Ernährungs Umschau*, 43 (12), S. 442-449.
- RIMKUS, G.; BUTTE, W.; GEYER, H.J. (1997): *Critical considerations on the analysis and bioaccumulation of musk xylene and other synthetic nitromusks in fish*. *Chemosphere*, 35, S. 1497-1507.
- RIMKUS, G.; GATERMANN, R., HÜHNERFUSS, H. (1999): *Musk xylene and musk ketone amino metabolites in the aquatic environment*. *Toxicology Letters*, 111, S. 5-15.
- RIMKUS, G.; WOLF, M. (1993): *Rückstände und Verunreinigungen in Fischen aus Aquakultur, 2. Mitteilung: Nachweis von Moschus Xylol und Moschus Keton in Fischen*. *Deutsche Lebensmittel-Rundschau*, 89 (6), S. 171-175.
- RIMKUS, G.; WOLF, M. (1994): *Rückstände und Verunreinigungen von Nitromoschusverbindungen in biologischem Material*. *Lebensmittelchemie*, 48, S. 9.
- RIMKUS, G.; RIMKUS, B.; Wolf, M. (1994): *Nitro musks in human adipose tissue and breast milk*. *Chemosphere*, 28 (2), S. 421-432.
- RIMKUS, G.; WOLF, M. (1995): *Nitro musk fragrances in biota from freshwater and marine environment*. *Chemosphere*, 30 (4), S. 641-651.
- RIMKUS G.; WOLF M. (1996): *Polycyclic musk fragrances in human adipose tissue and human milk*. *Chemosphere*, 33, S. 2033-2043.
- RIMKUS G.; WOLF M. (1997): *Nachweis von polycyclischen Moschusduftstoffen in Fisch und Humanproben*. *Lebensmittelchemie*, 51, S. 94-95.
- RIMKUS G.; WOLF M. (2000): *Polycyclic musk fragrances in biota from aquatic ecosystems*. *Chemosphere*, in Vorbereitung.
- RUDIO, J. (1993a): *Partition coefficient n-octanol/water of GALAXOLIDE according to the OECD guideline no. 117*. Givaudan-Roure Corporate Safety and Environmental Affairs, Test Report No. 93-E67, Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.

- RUDIO, J. (1993b): *Partition coefficient n-octanol/water of FIXOLIDE according to the OECD guideline no. 117*. Givaudan-Roure Corporate Safety and Environmental Affairs, Test Report No. 93-E64, Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- RUDIO, J. (1993c): *Inherent biodegradability of Fixolide according to the OECD guideline No.302C*. Givaudan-Roure Corporate Safety and Environmental Affairs, Test Report No. 93-E67, Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- RUDIO, J. (1996a): *Partition coefficient n-octanol/water of MUSK XYLENE according to the OECD guideline no. 117*. Private communication to RIFM. Givaudan-Roure Corporate Safety and Environmental Affairs, Test Report No. 96-E01 Zitiert in: Tas et al.,1997.
- RUDIO, J. (1996b): *Partition coefficient n-octanol/water of MUSK KETONE according to the OECD guideline no. 117*. Private communication to RIFM. Givaudan-Roure Corporate Safety and Environmental Affairs, Test report No. 96-E02 Zitiert in: Tas et al.,1997.
- SABLIJK A.H.; GÜSTEN, H.; VERHAAR, H.; HERMNES, J. (1995): *QSAR modelling of soil sorption. Improvements and systematics of log K<sub>OC</sub> vs.log K<sub>OW</sub> correlations*. Chemosphere, 31, S. 4489-4514.
- SALVITO, D. (2000): *Comment on „Acute aquatic toxicities of four musk xylene derivates on Daphnia magna“ by A. BEHECHTI, K.-W. SCHRAMM, A. ATTAR; J. NIEDERFELLNER, AND A. KETTRUP*. Water research, 34 (9), S. 2625.
- SALVITO, D., RESEARCH INSTITUTE FOR FRAGRANCE MATERIALS, INC. (2000): *Persönliche Mitteilung an S. Wiegel per e-mail*.
- SCHLATTER, J.; HUNYADI, G. (1993): *Moschus-Xylol in Lebensmitteln und Kosmetika*. Bulletin des BAG, 30, 546-549.
- SCHLETT, C. (1995): *Analytik und Vorkommen von Geruchsstoffen in der Ruhr*. In: Ruhrwassergüte 1995, Ruhrverband Essen, S. 111-115.
- SCHRAMM, K.W.; KAUNE, A.; BECK, B.; THUMM, W.; BEHECHTI, A.; KETTRUP, A.; NICKOLOVA, P. (1996): *Acute toxicities of five nitromusk compounds in Daphnia, algae and photoluminescent bacteria*. Water research, 30 (10), S. 2247-2250.
- SCHRAMM, K.W. (2000): *Authors Reply on the comment from D. Salvito*. Water research, 34 (9), S. 2626.
- SCHWARTZ, S.; BERDING, V.; MATTHIES, M. (1999): *Umweltexpositionsabschätzung des polycyclischen Moschus-Duftstoffes HHCB*. Umweltmedizin in Forschung und Praxis, 4(1), S. 7-11.
- SIMONICH, S.L.; BEGLEY, W.M.; DEBAERE, G.; ECKHOFF, W.S. (2000): *Trace analysis of fragrance materials in wastewater and treated wastewater*. Environ. Sci. Technol. (im Druck).
- SOMMER, C. (1993): *Gaschromatographische Bestimmung von Nitromoschus-Verbindungen in Kosmetika und Waschmitteln*. Deutsche Lebensmittel-Rundschau, 89 (4), S. 108-111.
- SOMOGYI, L.P.; RHOMBERG, B.; TAKEI, N. (1995): *Flavors and Fragrances*. SRI international. Zitiert in: Van de Plassche und Balk,1997.
- SPENCER, P.S.; STERMAN, A.B.; HOROPIAN, D.S.; FOULDS, M.M. (1979): *Neurotoxic fragrance produces ceroid and myelin disease*. Science, 204, S. 633-635.
- STACHEL, B.; ELSHOLZ, O.; REINCKE, H. (1995): *Investigations on sample pretreatment for the determination of selected metals and organochlorine compounds in suspended particulate matter of the River Elbe*. Fresenius Journal of Analytical Chemistry., 353, S. 21-27.
- STATISTISCHES BUNDESAMT (1993): *Monatlicher Produktionsteilbericht – Produktion ausgewählter Körperpflegemittel in Deutschland*. Wiesbaden, Statistisches Bundesamt Zitiert in: Daughton und Ternes, 1999.

- STEFFEN, D. (1996): *Pflanzenschutzmittel und Nitromoschusverbindungen in ausgewählten niedersächsischen Fließgewässern*. Oberirdische Gewässer 1/96, Niedersächsisches Landesamt für Ökologie, Hildesheim.
- STEFFEN, D. (NIEDERSÄCHSISCHES LANDESAMT FÜR ÖKOLOGIE): persönliche Mitteilung an die Wassergütestelle Hamburg.
- STEINHARDT, H. ; BIERNOTH , G. (1994): *Neue Forschungsergebnisse über unerwünschte Stoffe in tierischen Rohstoffen und Lebensmitteln*. Agrarbiological Research, 47 (3-4), S. 197-207.
- TAS, J.W.; BALK, F.; Ford, R.A.; VAN DE PLASSCHE, E.J. (1997): *Environmental risk assessment of musk ketone and musk xylene in The Netherlands in accordance with the EU-TGD* . Chemosphere, 35, S. 2973-3002.
- VAN DE PLASSCHE, E.J.; BALK, F. (1997): *Environmental risk assessment of the polycyclic musks AHTN and HHCB according to the EU-TGD*. RIFM Report No. 601503008.
- VAN DIJK, A. (1996a): *Accumulation and elimination of [<sup>14</sup>C]AHTN by Bluegill Sunfish in a dynamic flow-through system*. Report to RIFM, RCC Umweltchemie AG, Projekt 364825, Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- VAN DIJK, A. (1996b): *Accumulation and elimination of [<sup>14</sup>C]HHCB by Bluegill Sunfish in a dynamic flow-through system*. Report to RIFM, RCC Umweltchemie AG, Projekt 381418, Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- VERBRUGGEN, E. (1997): *Levels of AHTN and HHCB in Dutch surface water and effluents by biometric extractions*. Letter of RITOX, Utrecht, The Netherlands, Zitiert in: Van de Plassche und Balk, 1997.
- WERTHER, J.; DREUSCHER, H.; HILLIGARDT, R. (1984): In: *Fachseminar Baggergut (27.2.-1.3.1984)* Hrsg. Freie und Hansestadt Hamburg, Strom- und Hafenbau, S. 183-202.
- WINKLER, M.; KOPF, G.; HAUPTVOGEL, C.; NEU, T. (1998): *Fate of artificial musk fragrances associated with suspended particulate matter (SPM) from the river Elbe (Germany) in comparison to other organic contaminants*. Chemosphere, 37 (6), S. 1139-1156.
- WISNESKI, H.S.; HAVERY, D.W. (1996): *Nitro musks in fragrance products: An update of FDA findings*. Cosmet. Toiletries, 111 , S. 73-76.
- WWF, SCHWEIZ (1999): *Neue WWF-Studie zeigt: Parfümindustrie und asiatische Medizin gefährden die Moschustiere*. Medienmitteilung WWF Schweiz, Zürich 6. Juli 1999.
- YAMAGISHI, T.; MIYAZAKI, T.; HORII, S.; AKIYAMA, K. (1983). *Synthetic musk residues in biota and water from Tama river and Tokyo bay (Japan)*. Arch. Environ. Contam. Toxicol. 12, S. 83-89.
- YAMAGISHI, T.; MIYAZAKI, T.; HORII, S.; KANENKO, S. (1981): *Identification of musk xylene and musk ketone in freshwater fish collected from the Tama river, Tokyo*. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 26, S. 656-662.
- YUN, S.-J.; TERAGUCHI, T.; ZHU, X.-M. (1994): *Identification and analysis of dissolved organic compounds in Tamagawa river*. Journal of Environmental Chemistry, 4 , S. 325-333.

## 7 Anhang

**Tab. A 1** Chemische Bezeichnung, Handelsname, CAS-Nummer, chemische Struktur, Summenformel und Molekulargewicht von Nitromoschus-Duftstoffen

Chemische Bezeichnung	Handelsname	CAS-Nummer	Chemische Struktur	Summenformel	Molekulargewicht
2,4,6-Trinitro-1,3-dimethyl-5- <i>tert.</i> butylbenzol	<b>Moschus-Xylol</b> (MX)	81-15-2		$C_{12}H_{15}N_3O_6$	297,27
4'- <i>tert.</i> Butyl-2',6'-dimethyl-3',5'-dinitroacetophenon	<b>Moschus-Keton</b> (MK)	81-14-1		$C_{14}H_{18}N_2O_5$	294,31
2,6-Dinitro-3-methoxy-4- <i>tert.</i> butyltoluol	<b>Moschus-Ambrette</b>	83-66-9		$C_{12}H_{16}N_2O_5$	268,27
5- <i>tert.</i> Butyl-1,2,3-trimethyl-4,6-dinitrobenzol	<b>Moschus-Tibeten</b>	145-39-1		$C_{13}H_{18}N_2O_4$	266,30
1,1,3,3,5-Pentamethyl-4,6-dinitroindan	<b>Moschus-Mosken</b>	116-66-5		$C_{14}H_{18}N_2O_4$	278,31

**Tab. A2** Chemische Bezeichnungen, Handelsname, CAS-Name, CAS-Nummer, chemische Struktur, Summenformel und Molekulargewicht von polycyclischen Moschus-Duftstoffen

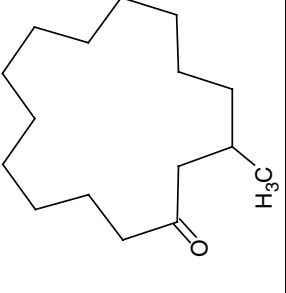
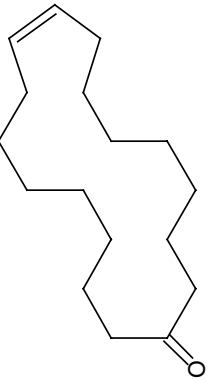
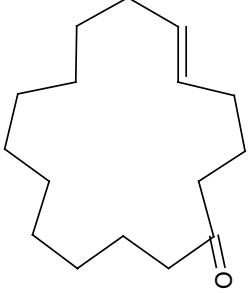
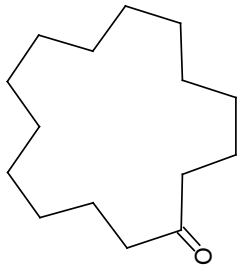
Chemische Bezeichnung (Abkürzung)	Handelsname	CAS-Name	CAS-Nummer	Chemische Struktur	Summenformel	Molekulargewicht
1,3,4,6,7,8- <b>H</b> exahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethyl cyclopenta[ <b>g</b> ]-2-benzopyran ( <b>HHC</b> )	Galaxolide® Abbalide® Paerlide®	1,3,4,6,7,8-Hexahydro-4,6,6,7,8,8-hexamethyl cyclopenta[ <b>g</b> ]-2-benzopyran	1222-05-5		C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O	258,40
7- <b>A</b> cetyl-1,1,3,4,4,6-hexamethyl-tetrahydro-naphthalen ( <b>AHTN</b> )	Tonalide® Fixolide®	1-(5,6,7,8-tetrahydro-3,5,5,6,8,8-hexamethyl-2-naphthalenyl)-ethanone	1506-02-1		C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O	258,40
4- <b>A</b> cetyl-1,1,-dimethyl-6-tert-butylidihydro-inden ( <b>ADBI</b> )	Celestolide® Crysolide®	1-[6-(1,1-dimethylethyl)-2,3,-dihydro-1,1-dimethyl-1H-inden-4-yl]ethanone	13-171-001		C <sub>17</sub> H <sub>24</sub> O	244,37
6- <b>A</b> cetyl-1,1,2,3,3,5-hexamethylidihydro-inden ( <b>AHDI</b> )	Phantolide®	1-(2,3-dihydro-1,1,2,3,3,6-hexamethyl-1H-inden-5-yl)ethanone	15323-35-0		C <sub>17</sub> H <sub>24</sub> O	244,37

Fortsetzung Tab. A 2

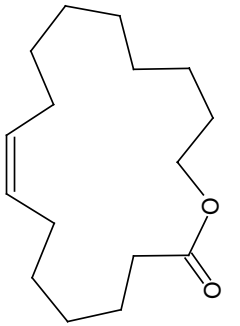
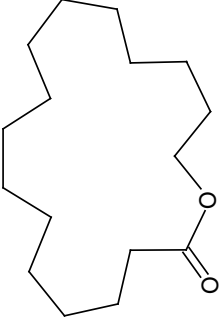
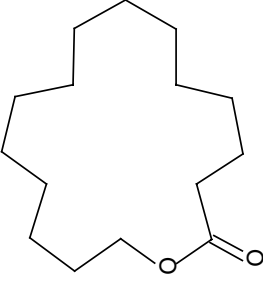
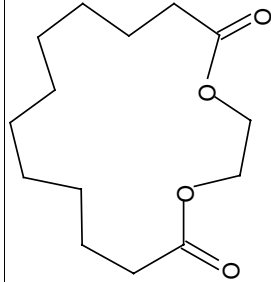
Chemische Bezeichnung (Abkürzung)	Handelsname	CAS-Name	CAS- Nummer	Chemische Struktur	Summen- formel	Molekular- gewicht
6,7-Dihydro-1,1,2,3,3,5-pentamethyl-4(5H)indanon (DPMI)	Cashmeran®	1,2,3,5,6,7-hexahydro-1,1,2,3,3-pentamethyl-4H-inden-4-one	33704-61-9		C <sub>14</sub> H <sub>22</sub> O	206,32
5-Acetyl-1,1,2,6-tetramethyl-3-isopropyl-dihydroinden (ATTI)	Traseolide®	1-[2,3-dihydro-1,1,2,6-tetramethyl-3-(1-methylethyl)-1H-inden-5-yl]ethanone	68140-48-7		C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O	258,40
7-Acetyl-1,1,4,4-tetramethyl-6-ethyl-tetrahydronaphthalene (ATTN)	Versalide®	1-(3-ethyl-5,6,7,8-tetrahydro-5,5,8,8-tetramethyl-2-naphthalenyl)ethanone	88-29-9		C <sub>18</sub> H <sub>26</sub> O	258,40



**Tab. A 3** Chemische Bezeichnung, Handelsname, CAS-Nummer, chemische Struktur, Summenformel und Molekulargewicht von makrocyclischen Moschus-Duftstoffen

Chemische Bezeichnung	Handelsname	CAS-Nummer	Chemische Struktur	Summenformel	Molekulargewicht
(-)(R)-3-Methylcyclopentadecan-1-on (natürlicher Moschusduftstoff des Moschustieres, <i>Moschus moschiferus</i> )	Muscone	-----		C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O	238,41
9-cis-Cycloheptadecen-1-on	Zibeton	542-46-1		C <sub>17</sub> H <sub>30</sub> O	250,42
5-Cyclohexadecenon	Ambretton	37609-25-9		C <sub>16</sub> H <sub>28</sub> O	236,40
Cyclopentadecanon	Exaltone®	502-72-7		C <sub>15</sub> H <sub>28</sub> O	224,39

Fortsetzung Tab. A3

Chemische Bezeichnung	Handelsname	CAS-Nummer	Chemische Struktur	Summenformel	Molekulargewicht
(Z)-7-Hexadecen-16-olide	Ambrettolide	28645-51-4		$C_{16}H_{28}O_2$	252,39
16-Hexadecanolide	Dihydro-Ambrettolide	109-29-5		$C_{16}H_{30}O_2$	254,40
15-Pentadecanolide	Exaltolide®	106-02-5		$C_{15}H_{28}O_2$	240,39
1,4-Dioxacyclohexadecane-5,16-dione	Ethylenbrassylat	54982-83-1		$C_{14}H_{24}O_4$	256,34



**Tab. A 5** Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Brassen aus der Elbe (Fangjahr 1994)

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Hafen Prossen</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	3,29	1,95	1,96	2,26	2,62	1,98	2,82	1,7	2,24	2,41	1,55	1,55	1,03	1,6	1,18
MX [µg/kg Lipid]	81	335	279	527	179	428	810	495	462	599	544	924	659	471	654
MK [µg/kg Lipid]	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
MX [µg/kg FG]	2,7	6,5	5,5	11,9	4,7	8,5	22,8	8,4	10,3	14,4	8,4	14,3	6,8	7,5	7,7
MK [µg/kg FG]	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Winterhafen Meißen</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	1,63	2,03	4,98	0,82	5,52	1,82	1,5	2,37	2,29	3,35	1,22	2,22	1,89	2,57	1,83
MX [µg/kg Lipid]	609	123	849	233	850	1240	24	336	284	755	185	471	761	894	560
MK [µg/kg Lipid]	<5	<5	<5	103	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	5	5
MX [µg/kg FG]	9,9	2,5	42,3	1,9	46,9	22,6	0,4	8,0	6,5	25,1	2,3	10,5	14,4	23	10,2
MK [µg/kg FG]	<0,1	<0,1	<0,2	0,8	<0,3	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
<b>Klößen/Gallin</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	1,95	1,49	1,62	2,65	2,07	1,75	3,43	4,66	2,86	2,22	2,84	3,22	1,47	3,54	3,28
MX [µg/kg Lipid]	729	125	115	114	176	106	106	77	490	20	79	145	<5	167	160
MK [µg/kg Lipid]	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
MX [µg/kg FG]	14,2	1,9	1,9	3,0	3,6	1,9	3,6	3,6	14,0	0,4	2,2	4,7	0,1	5,9	5,3
MK [µg/kg FG]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,2	<0,1	<0,2	<0,2
<b>Wahrenberg</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	3,29	2,71	4,72	2,33	2,82	2,44	3,98	3,92	2,63	2,2	4,05	1,34	1,34	4,1	2,36
MX [µg/kg Lipid]	75	67	60	<5	84	85	9	104	88	<5	76	104	<5	9	50
MK [µg/kg Lipid]	<5	<5	<5	<5	<5	<5	46	73	66	93	63	203	168	23	57
MX [µg/kg FG]	3,0	1,8	2,8	<0,1	2,0	2,0	0,4	4,1	2,3	<0,1	3,1	1,9	<0,1	0,4	1,2
MK [µg/kg FG]	<0,2	<0,1	<0,2	<0,1	<0,1	<0,1	1,8	2,9	1,7	2,0	2,6	3,7	2,3	0,9	1,3
<b>Gorleben</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	4,99	4,59	1,96	4,92	1,87	2,25	0,93	2,16	1,3	1,61	2,05	1,67	2,4	1,12	1,39
MX [µg/kg Lipid]	151	218	206	178	48	67	<0,5	355	181	<0,5	207	43	<0,5	<0,5	106
MK [µg/kg Lipid]	15	15	<0,5	<0,5	9	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	33	44	367	<0,5	<0,5	14
MX [µg/kg FG]	7,5	10,0	4,0	<8,8	0,9	1,5	<0,1	7,7	2,4	<0,1	4,2	0,7	<0,1	<0,1	1,5
MK [µg/kg FG]	1	0,7	<0,1	<0,2	0,2	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,5	0,9	6,1	<0,1	<0,1	0,2
<b>Moorburg</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	5,33	3,92	8,94	6,06	2,73	1,31	5,41	3,01	1,77	4,96	2,99	4,7	8,29	9,46	0,77
MX [µg/kg Lipid]	<5	<5	31	35	<5	<5	<5	<5	214	23	17	329	67	55	<5
MK [µg/kg Lipid]	<5	<5	<5	<5	30	12	<5	<5	<5	<5	19	30	10	33	<5
MX [µg/kg FG]	0,3	<0,2	2,8	2,1	<0,1	<0,1	<0,3	<0,2	3,8	1,1	0,5	15,5	5,6	5,2	<0,1
MK [µg/kg FG]	<0,3	<0,2	<0,4	<0,3	0,8	0,2	<0,3	<0,2	<0,1	<0,2	0,6	1,4	0,8	3,1	<0,1
<b>Mühlenberger Loch</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	1,02	1,33	1,47	1,22	1,72	1,73	12,2	5,5	6,52	1,53	3,39	4,85	0,75	1,9	8,13
MX [µg/kg Lipid]	10	20	<5	19	<5	271	155	137	169	21	228	156	310	173	218
MK [µg/kg Lipid]	483	699	143	686	<5	-	12	24	19	6	21	<5	<5	10	<5
MX [µg/kg FG]	0,1	0,3	<0,1	0,2	<0,1	4,7	19,0	7,5	11,0	0,3	7,7	7,6	2,3	3,3	17,7
MK [µg/kg FG]	4,9	9,3	2,1	8,4	0,1	-	1,5	1,3	1,2	0,1	0,7	<0,2	<0,1	0,2	<0,4







Tab. A 9 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen aus der Elbe (Fangjahr 1994)

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Hafen Prossen</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	34,2	20,3	14,3	5,8	10,9	19,0	13,6	5,9	6,3	3,3	6,1	5,2				
MX [µg/kg Lipid]	28	39	350	84	152	455	184	27	141	<3	138	162				
MK [µg/kg Lipid]	<1	<1	<1	<1	<1	35	<1	<2	<2	<3	<2	<2				
MX [µg/kg FG]	9,7	8	50	4,9	16,6	86,5	25	1,6	8,9	3,1	8,4	8,4				
MK [µg/kg FG]	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	6,7	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1				
<b>Klöden/Gallin</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	4,0	6,1	23,9	23,7	20,0	14,5	5,3	24,2	25,5	26,1	6,4	10,6	5,8	30,0	24,6	22,0
MX [µg/kg Lipid]	75	64	225	178	108	210	118	237	279	380	159	439	96	102	122	211
MK [µg/kg Lipid]	21	58	40	70	42	34	37	38	93	37	24	32	<20	<10	29	<10
MX [µg/kg FG]	3	4	54	42	22	30	6	57	71	99	10	47	6	31	30	47
MK [µg/kg FG]	1	4	10	17	8	5	2	9	24	10	2	3	<1	<1	7	<1
<b>Fortsetzung Klöden/Gallin</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	13,4	8,4	14,4	11,5	26,0	24,9	11,8	6,1	17,6	27,0	15,8	26,8	16,1	30,7	28,1	
MX [µg/kg Lipid]	168	327	117	141	113	111	79	167	173	206	113	213	125	105	239	
MK [µg/kg Lipid]	<10	31	<20	33	<20	23	32	41	<20	22	123	55	43	12	37	
MX [µg/kg FG]	23	27	17	16	29	28	9	13	30	56	18	57	20	32	67	
MK [µg/kg FG]	<1	3	<1	4	<1	6	4	1	<1	6	20	15	7	4	10	
<b>Wahrenberg</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	17,9	21,1	13,0	25,7	27,7	3,1	28,4	3,5	8,4	9,2	13,3	22,0	15,1	8,1	24,3	13,1
MX [µg/kg Lipid]	33	<20	31	35	29	60	173	72	38	39	51	31	30	30	<20	46
MK [µg/kg Lipid]	43	<20	28	<20	<20	27	<20	<20	<10	44	<20	29	<20	<20	<20	25
MX [µg/kg FG]	6	3	4	9	8	2	49	3	3	4	7	7	5	2	4	6
MK [µg/kg FG]	8	3	4	2	5	1	3	1	<1	4	<1	6	2	1	4	3
<b>Fortsetzung Wahrenberg</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	22,1	26,0	8,1	18,2	5,6	14,9	13,2	24,2	8,4	7,6	4,6	6,6	21,9	12,2	28,0	
MX [µg/kg Lipid]	42	<20	49	56	34	50	40	49	39	38	45	37	25	36	36	
MK [µg/kg Lipid]	<20	32	22	34	22	34	39	44	35	49	37	34	<20	34	20	
MX [µg/kg FG]	9	3	4	10	2	7	5	12	3	3	2	2	5	4	10	
MK [µg/kg FG]	2	8	2	6	1	5	5	11	3	4	2	2	3	4	6	
<b>Gorleben</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	22,7	24,5	28,6	32,2	24,8	27,4	34,0	26,8	29,7	28,8	24,0	27,8	36,2	34,5	22,7	15,4
MX [µg/kg Lipid]	70	150	20	15	130	20	180	18	<10	40	100	200	70	470	170	180
MK [µg/kg Lipid]	100	75	50	33	75	40	70	50	40	45	50	100	20	200	270	100
MX [µg/kg FG]	16	37	6	5	32	5	61	5	10	12	24	56	25	162	39	28
MK [µg/kg FG]	23	18	14	11	19	11	24	13	12	13	12	28	7	69	61	15
<b>Fortsetzung Gorleben</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	25,6	2,07	35,7	32,3	20,0	28,6	27,8	24,4	27,8	35,7	29,4	39,2	35,7	18,9	28,6	40,0
MX [µg/kg Lipid]	310	190	90	120	160	90	180	50	150	460	160	70	220	30	30	80
MK [µg/kg Lipid]	390	120	100	70	100	50	100	70	180	220	270	110	250	50	<10	40
MX [µg/kg FG]	79	51	32	39	32	26	50	12	42	164	47	27	79	6	9	32
MK [µg/kg FG]	100	32	36	23	20	14	28	17	50	79	79	43	89	9	<5	16



Fortsetzung Tab. A 9

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Fortsetzung Gorleben</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	27,8	31,3	20,4	31,3	31,3	23,8	24,2	30,3	34,5	31,3	30,3	27,0	33,3	23,3	35,7
MX [µg/kg Lipid]	50	60	80	40	140	70	110	40	120	110	90	180	230	100	280
MK [µg/kg Lipid]	40	40	50	<10	40	40	80	<10	100	20	50	90	110	110	90
MX [µg/kg FG]	14	19	16	13	44	17	27	12	41	34	27	49	77	23	100
MK [µg/kg FG]	11	13	10	<5	13	10	20	<5	34	6	15	24	37	26	32
<b>Fortsetzung Gorleben</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	30,3	30,3	25,6	30,3	34,5	30,3	29,4	31,3	26,3						
MX [µg/kg Lipid]	80	100	410	110	40	100	50	60	110						
MK [µg/kg Lipid]	120	60	70	80	<10	60	30	40	80						
MX [µg/kg FG]	24	30	105	33	14	30	15	19	29						
MK [µg/kg FG]	36	18	18	24	<5	18	9	13	21						
<b>Boizenburg/Barföörde</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	21,1	12,3	18,8	12,6	3,8	4,8	6,1	6,5	14,8	6,5	14	19,2	18,4	13,1	7,2
MX [µg/kg Lipid]	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
MK [µg/kg Lipid]	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
MX [µg/kg FG]	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
MK [µg/kg FG]	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<b>Fortsetzung Boizenburg/Barföörde</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	4,3	6	6,4	4,7	3,9	10,7	12,2	21	23,4	12,8	13,2	20,4	10,2	6,2	7,4
MX [µg/kg Lipid]	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
MK [µg/kg Lipid]	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
MX [µg/kg FG]	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
MK [µg/kg FG]	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<b>Fortsetzung Boizenburg/Barföörde</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	7,2	5,6	4,0	20,9											
MX [µg/kg Lipid]	<10	<10	<10	<10											
MK [µg/kg Lipid]	<10	<10	<10	<10											
MX [µg/kg FG]	<1	<1	<1	<1											
MK [µg/kg FG]	<1	<1	<1	<1											
<b>Hohnstorf</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	29,8	26,2	30,9	21,1	27,5	28,1	24,2	8,8	29,3	29,4	6,5	16,4	24,7	17,7	25,6
MX [µg/kg Lipid]	20	20	10	20	10	<10	10	30	20	10	40	30	30	30	60
MK [µg/kg Lipid]	20	10	10	20	20	<10	20	10	10	20	30	20	20	20	70
MX [µg/kg FG]	6	5,2	3,1	4,2	2,8	<2,8	2,4	2,6	5,9	2,9	2,6	4,9	7,4	5,3	15,4
MK [µg/kg FG]	6	2,6	3,1	4,2	5,5	<2,8	4,8	0,9	2,9	5,9	2	3,3	4,9	3,5	17,9
<b>Fortsetzung Hohnstorf</b>								<b>Moorburg</b>							
Mischprobe-Nr.					1	2		1	2	3	4	5			
Zahl der Tiere in Mischprobe					7	5		7	6	6	5	5			
Fettgehalt der Muskulatur (%)	12,6	22,3	31,7	13,7	13,6	14,2	20,4	>9,8	13,4	17,2	16,4	15,4			
MX [µg/kg Lipid]	60	30	10	40	40	60	105	182	149	126	107	108			
MK [µg/kg Lipid]	30	20	10	30	20	30	60	82	87	104	148	140			
MX [µg/kg FG]	7,6	6,7	3,2	5,5	5,4	8,5	21	18	20	22	18	17			
MK [µg/kg FG]	3,8	4,5	3,2	4,1	2,7	4,3	12	8	12	18	24	22			

Fortsetzung Tab. A 9

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Pagensander Nebelbe</b>															
Mischprobe-Nr.								1	2	3					
Zahl der Tiere in Mischprobe								4	4	6					
Fettgehalt der Muskulatur (%)	25,0	11,3	21,7	24,6	24,4	34,5	24,0	24,1	24,7	23,1					
MX [µg/kg Lipid]	10	30	70	10	10	10	10	30	40	20					
MK [µg/kg Lipid]	20	30	30	20	10	20	20	50	40	40					
MX [µg/kg FG]	2,5	3,4	15,2	2,5	2,4	3,5	2,4	7,2	9,9	4,6					
MK [µg/kg FG]	5,0	3,4	6,5	4,9	2,4	6,9	4,8	12,1	9,9	9,2					
<b>Brunsbüttel</b>															
Mischprobe-Nr.					1	2	3								
Zahl der Tiere in Mischprobe					4	4	7								
Fettgehalt der Muskulatur (%)	24,9	18,2	23,8	10,2	10,5	7,3	15,3								
MX [µg/kg Lipid]	10	10	<10	10	20	20	20								
MK [µg/kg Lipid]	10	10	10	10	30	30	30								
MX [µg/kg FG]	2,5	1,8	<2,4	1,0	2,1	1,5	3,1								
MK [µg/kg FG]	2,5	1,8	2,4	1,0	3,2	2,2	4,6								

Tab. A 10 Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen aus der Elbe (Fangjahr 1999)

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Hafen Prossen</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	29	24	18	29	30	23	33	29	28	38	31	28	30	23	29
MX [µg/kg Lipid]	101	289	285	276	261	196	234	192	236	140	290	93	222	173	287
MK [µg/kg Lipid]	18	22	10	13	17	18	16	15	22	15	21	11	23	13	13
MX [µg/kg FG]	29	69	51	80	78	45	77	56	66	53	90	26	67	40	83
MK [µg/kg FG]	5,2	5,3	1,8	3,8	5,1	4,1	5,3	4,4	6,2	5,7	6,5	3,1	6,9	3	3,8
<b>Hafen Prossen</b>					<b>Winterhafen Meißen</b>					<b>Gorleben</b>					
Fettgehalt der Muskulatur (%)	23	26	28	27	30			29	26	12			21,1	22,2	
MX [µg/kg Lipid]	281	329	268	285	290			122	63	182			<5	<5	
MK [µg/kg Lipid]	26	15	14	19	25			26	17	29			<5	<5	
MX [µg/kg FG]	65	86	75	77	87			35	16	22			<1	<1	
MK [µg/kg FG]	6	3,9	3,9	5,1	7,5			7,5	4,4	3,5			<1	<1	
<b>Gorleben</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	29,5	31,1	29,0	28,4	24,1	27,6	32,9	31,4	31,3	31,3	24,0	37,7	28,8	31,7	26,8
MX [µg/kg Lipid]	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
MK [µg/kg Lipid]	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	<5
MX [µg/kg FG]	<1	<2	<1	<1	<1	<1	<2	<2	<2	<2	<1	<2	<1	<2	<1
MK [µg/kg FG]	<1	<2	<1	<1	<1	<1	<2	<2	<2	<2	<1	<2	<1	<2	<1
<b>Boizenburg/ Barförde</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	23,6	20,5	28,1	16,2	30,7	12,7	23,6	22,4	11,9	25,1	7,8	14,8	21,6	21,1	23,4
MX [µg/kg Lipid]	25	17	26	22	16	13	15	13	18	24	21	11	15	17	13
MK [µg/kg Lipid]	54	52	76	63	46	72	62	64	69	76	93	102	54	44	42
MX [µg/kg FG]	5,9	3,5	7,3	3,6	4,9	1,6	3,5	2,9	2,1	6	1,6	1,6	3,2	3,6	3
MK [µg/kg FG]	12,8	10,7	21,4	10,2	14,1	9,1	14,7	14,3	8,2	19,1	7,3	15,1	11,7	9,3	9,8

Fortsetzung Tab. A 10

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
<b>Boizenburg/Barförde</b>											<b>Reihe/Kattwyk</b>				
Fettgehalt der Muskulatur (%)	25,5	19,2	24,9	27,2	20,2						23,6	20,5	28,1	16,2	30,7
MX [µg/kg Lipid]	15	18	15	24	24						25	17	26	22	16
MK [µg/kg Lipid]	37	66	45	58	36						54	52	76	63	46
MX [µg/kg FG]	3,8	3,5	3,7	6,5	4,9						6	4	7,3	3,6	4,9
MK [µg/kg FG]	9,4	12,7	11,2	15,8	7,3						13	11	21,4	10,2	14,1
<b>Fortsetzung Reihe/Kattwyk</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	12,7	23,6	22,4	11,9	25,1	7,8	14,8	21,6	21,1	23,4	25,5	19,2	24,9	27,2	20,2
MX [µg/kg Lipid]	13	15	13	18	24	21	11	15	17	13	15	18	15	24	24
MK [µg/kg Lipid]	72	62	64	69	76	93	102	54	44	42	37	66	45	58	36
MX [µg/kg FG]	1,6	3,5	2,9	2,1	6	1,6	1,6	3,2	3,6	3	3,8	3,5	3,7	6,5	4,9
MK [µg/kg FG]	9,1	14,7	14,3	8,2	19,1	7,3	15,1	11,7	9,3	9,8	9,4	12,7	11,2	15,8	7,3
<b>Pagensander Nebelbe</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	19,2	22	21,2	18,6	25,9	17,1	14,1	6,79	11,2	12,8	9,86	21,9	20,3	21,7	13,7
MX [µg/kg Lipid]	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
MK [µg/kg Lipid]	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2
MX [µg/kg FG]	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,5	<0,3	<0,3	<0,1	<0,2	<0,3	<0,2	<0,4	<0,4	<0,4	<0,3
MK [µg/kg FG]	<0,4	<0,4	<0,4	<0,4	<0,5	<0,3	<0,3	<0,1	<0,2	<0,3	<0,2	<0,4	<0,4	<0,4	<0,3
<b>Fortsetzung Pagensander Nebelbe</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	0,62	5,36	19,8	4,36	19,4										
MX [µg/kg Lipid]	<2	<2	<2	<2	<2										
MK [µg/kg Lipid]	<2	<2	<2	<2	<2										
MX [µg/kg FG]	<0,1	<0,1	<0,4	<0,1	<0,4										
MK [µg/kg FG]	<0,1	<0,1	<0,4	<0,1	<0,4										
<b>Brunsbüttel</b>															
Fettgehalt der Muskulatur (%)	18,2	19,5	21,1	18	20,2	21,6	17,2	8,1	6,6	15,9	16,1	18	13,9	13,7	29,1
MX [µg/kg Lipid]	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
MK [µg/kg Lipid]	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
MX [µg/kg FG]	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<2	<2	<2	<1	<1	<3
MK [µg/kg FG]	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<1	<1	<2	<2	<2	<1	<1	<3



**Tab. A 13** Gehalte von Moschus-Xylol, Moschus-Keton und Fettgehalt von Aalen aus der Elbe und dem Mündungsbereich von Mulde, Saale und Schwarze Elster (Fangjahr 1997)

Probe Nr.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
<b>Schmilka</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	19,7	13,7	22,5	21,7	12,9	15,6	19,8	26,4	25,4	19,6	20,1	26,3	23	21,9	22,2	21,2
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	170	160	130	190	180	150	120	100	110	150	130	140	110	240	150	120
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	20	<20	<20	22	23	<20	16	<20	<20	<20	<20	<20	<20	21	<20	16
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	33	22	29	41	23	23	24	26	28	29	26	37	25	53	33	25
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	4	<5	<5	5	3	<5	3	<5	<5	<5	<5	<5	<5	5	<5	3
<b>Fortsetzung Schmilka</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	18,9	15,9	21,4	15,2	18	19,4										
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	140	60	270	100	90	260										
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	15	<20	18	<20	<20	22										
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	26	10	58	15	16	50										
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	3	<5	4	<5	<5	4										
<b>Gorleben</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	23,5	22,2	23,4	18,7	17,9	22,9	18,6	17,2	17,9	22,7	15,7	17,6	23,1	20,6	21,1	20,1
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	80	50	<20	40	40	<20	<20	<20	60	30	<20	80	<20	40	<20	20
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	20	30	<20	20	30	<20	<20	<20	<20	<20	<20	20	<20	20	<20	<20
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	19	11	<5	7	7	<5	<5	<5	11	7	<5	14	<5	8	<5	4
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	5	7	<5	4	5	<5	<5	<5	<5	<5	<5	4	<5	4	<5	<5
<b>Fortsetzung Gorleben</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	24,6	17,7	19,2	17,5	26,4	20,7	18,2	21,9	18,1	16,7	12,2	24,7	25,1	24,7		
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	<20	60	<20	30	60	50	30	110	150	40	<20	<20	60	<20		
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	<20	20	<20	20	30	20	20	20	50	20	<20	<20	20	<20		
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	<5	11	<5	5	16	10	5	24	27	7	<5	<5	15	<5		
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	<5	4	<5	4	8	4	4	4	9	3	<5	<5	5	<5		
<b>Schwarze Elster</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	1,2	3,2	3,1	22,6	11	16	3,6	4,5	6,1	18	6	7,5	14,7	2,7	7,3	15
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	<83	<31	<32	<4	<9	<6	<28	<22	<16	<6	<17	<13	<7	<37	<14	<7
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	<83	<31	<32	<4	<9	<6	<28	<22	<16	<6	<17	<13	<7	<37	<14	<7
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<b>Mulde</b>										<b>Saale</b>						
Fettgehalt der Muskulatur (%)	15,8	27,8	12,9	5,6	21,5	7,8	8,2	3,8	15,6			8,9	15,9			
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	<6	<4	<8	<18	4,7	<13	<12	<26	<6			<11	<6			
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	<6	<4	<8	<18	1,9	<13	<12	<26	<6			<11	25			
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	<1	<1	<1	<1	10	<1	<1	<1	<1			<1	<1			
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	<1	<1	<1	<1	4	<1	<1	<1	<1			<1	4			
<b>Saale</b>																
Fettgehalt der Muskulatur (%)	21,1	23,2	12	7	16,9	25,2	9,9	19,5	20,3	28,6	10,7	24,5	16,9	16,2	21,2	
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	<5	<4	<8	<14	<6	48	30	46	34	35	47	12	30	37	<5	
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ Lipid]	<5	43	25	<14	<6	24	20	41	25	28	28	<4	12	25	<5	
MX [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	<1	<1	<1	<1	<1	12	3	9	7	10	5	3	5	6	<1	
MK [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ FG]	<1	10	3	<1	<1	6	2	8	5	8	3	<1	2	4	<1	



**Tab. A 15** Konzentration von HHCB und AHTN in Wasserproben der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale (Angaben in ng/l)

	1996					1997
	März/Apr.	Mai/ Juni	Juli/ Aug.	Nov.	Dez.	Jan.
<b>Schmilka</b>						
HHCB	90	52	40	90	110	130
AHTN	65	40	30	54	95	95
<b>Dessau (Mulde)</b>						
HHCB	470	235	150	-	380	590
AHTN	270	130	80	-	230	330
<b>Rosenburg (Saale)</b>						
HHCB	450	200	210	360	560	610
AHTN	260	150	140	230	330	330
<b>Magdeburg</b>						
HHCB	240	130	100	200	400	410
AHTN	145	95	85	106	250	220
<b>Schnackenburg</b>						
HHCB	210	70	43	105	190	330
AHTN	130	55	32	50	120	190
<b>Seemannshöft</b>						
HHCB	210	63	40	122	145	270
AHTN	125	53	32	70	85	140
<b>Grauerort</b>						
HHCB	180	50	29	78	100	220
AHTN	95	40	24	43	55	90

**Tab. A 16** Konzentration von Coumarin 1 in Wasserproben der Elbe und im Mündungsbereich von Mulde und Saale (Angaben in ng/l)

	1996					1997
	März/Apr.	Mai/ Juni	Juli/ Aug.	Sep./ Okt.	Nov./ Dez.	Jan.
<b>Schmilka</b>	85	22	65	270	380	460
<b>Dessau (Mulde)</b>	7	20	<5	-	13	12
<b>Rosenburg (Saale)</b>	23	<5	<5	12	16	20
<b>Magdeburg</b>	50	30	23	95	95	240
<b>Schnackenburg</b>	48	16	20	59	110	240
<b>Seemannshöft</b>	56	35	20	103	74	220
<b>Grauerort</b>	54	22	10	90	59	125





Fortsetzung **Tab. A 17**

	1998						1999					
	Jan/Feb	Mär/Apr	Mai/Jun.	Juli/ Aug	Sep/Okt	Nov/Dez	Jan/Feb	Mär/Apr	Mai/Jun	Jul/ Aug	Sep/Ok.	Nov/Dez
<b>Bunthaus</b>												
<b>HHCB</b>	140	84	56	20	48	52	-	43	25	7,1	5,1	13,0
<b>AHTN</b>	90	60	33	13	19	25	-	34	17	7,6	5,2	7,4
<b>ADBI</b>	1,7	1,4	1,4	0,5	1,3	0,6	-	1,0	0,6	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<b>AHMI</b>	5,4	3,2	1,6	0,7	1,4	1,5	-	2,0	0,8	< 0,5	< 0,5	0,6
<b>ATII</b>	5,7	4,2	3,9	1,3	1,8	1,9	-	2,3	1,8	< 0,5	< 0,5	0,5
<b>DPMI</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	-	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<b>Seemannshöft</b>												
<b>HHCB</b>	49	61	42	24	36	47	29	20	30	10	7,5	25,0
<b>AHTN</b>	31	35	27	20	15	25	21	16	17	11	3,6	14,0
<b>ADBI</b>	0,6	< 0,5	0,9	0,5	0,6	0,7	< 0,5	< 0,5	0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<b>AHMI</b>	1,7	0,9	1,2	0,8	0,8	1,6	0,9	0,8	0,7	< 0,5	< 0,5	1,0
<b>ATII</b>	2,1	1,7	2,2	1,3	1,5	2,1	1,0	1,2	1,5	< 0,5	< 0,5	1,1
<b>DPMI</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<b>Grauerort</b>												
<b>HHCB</b>	46	30	23	13	16	51	37	15,0	10	3,1	7,1	9,6
<b>AHTN</b>	25	22	18	12	11	26	26	13	10	6,2	5,4	7,2
<b>ADBI</b>	0,6	< 0,5	< 0,5	0,3	0,5	1,0	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<b>AHMI</b>	1,8	1,2	0,8	0,5	0,6	1,5	1,3	1	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5
<b>ATII</b>	1,8	1,6	< 0,5	1,5	0,9	1,9	1,3	1	0,7	< 0,5	0,6	0,5
<b>DPMI</b>	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5

**Tab. A 18** Prozentualer Anteil verschiedener polycyclischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedi-  
menten der Elbe und aus dem Mündungsbereich von Mulde, Saale und Schwarze Elster bezogen auf  
die Gesamtmenge polycyclischer Moschus-Duftstoffe (Mittelwerte)

	<b>HHCB</b>	<b>AHTN</b>	<b>ADBI</b>	<b>AHMI</b>	<b>ATII</b>
<b>Schmilka</b>	64,9	30,2	0,9	1,8	2,2
<b>Domnitzsch</b>	65,8	29,3	0,9	1,7	2,3
<b>Gorsdorf (Schwarze Elster)</b>	59,5	34,9	1,1	1,9	2,6
<b>Dessau (Mulde)</b>	61,3	33,3	0,9	2,2	2,3
<b>Rosenburg (Saale)</b>	66,4	28,5	0,7	2,2	2,3
<b>Magdeburg</b>	65,9	28,6	0,8	2,1	2,7
<b>Schnackenburg</b>	60,9	33,1	0,9	1,8	3,3
<b>Bunthaus</b>	56,3	37,7	1,3	1,9	2,8
<b>Seemannshöft</b>	58,1	36,9	0,9	1,6	2,5
<b>Grauerort</b>	52,1	42,1	1,1	1,9	2,9

**Tab. A 19** Jahresmittelwerte polycyclischer Moschus-Duftstoffe in schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe und aus dem Mündungsbereich von Mulde, Saale und Schwarze Elster (Angaben in µg/kg TM)

Messstelle	1998					1999				
	HHCB	AHTN	ADBI	AHMI	ATII	HHCB	AHTN	ADBI	AHMI	ATII
<b>Grauerort</b>	30	19	0,6	1,1	1,5	13	11	0,3	0,5	0,7
<b>Seemannshöft</b>	43	25	0,6	1,2	1,8	20	14	0,3	0,7	0,9
<b>Bunthaus</b>	67	40	1,2	2,3	3,1	19	14	0,5	0,8	1,0
<b>Schnackenburg</b>	110	60	1,6	3,3	4,1	67	36	0,9	2,3	3,4
<b>Magdeburg</b>	155	64	1,6	4,0	5,8	95	41	1,2	3,3	3,6
<b>Rosenburg (Mulde)</b>	189	78	1,9	5,2	6,5	112	49	1,2	4,3	4,2
<b>Dessau (Saale)</b>	220	121	2,9	8,1	8,2	149	79	2,5	5,9	5,5
<b>Gorsdorf (Schwarze Elster)</b>	137	77	2,2	4,2	6,5	102	59	2,1	3,6	4,4
<b>Domnitzsch</b>	127	56	2,0	3,4	4,5	83	37	1,0	2,2	2,8
<b>Schmilka</b>	122	56	2,1	3,7	4,6	92	42	1,0	2,8	2,6