

## 6 ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Das Projekt zur Erfassung von Xenooestrogenen in der Elbe, in ausgewählten Nebenflüssen und in der Deutschen Bucht konnte zeigen, dass die untersuchten Verbindungen Bisphenol A, die Alkylphenole und Alkylphenolethoxylate in der Umwelt weit verbreitete Kontaminanten darstellen. Sie ließen sich in Wasser- und in Feststoffproben nachweisen. Dabei fanden sich für die verschiedenen Verbindungen individuelle Belastungsschwerpunkte.

Die Konzentrationsspannen waren z. T. erheblich. Für Bisphenol A reichte sie in Wasserproben der Elbe von 8,9 bis 780 ng/l, Wasserproben der Deutschen Bucht wiesen dagegen nur in küstennahen, dem Einfluss des Elbeeinstroms unterliegenden Bereichen Positivbefunde auf, die im Konzentrationsbereich von 1,6 bis 6,0 ng/l lagen. Die Konzentration der Alkylphenole umfasste innerhalb der untersuchten Wasserproben (ohne kommunale und industrielle Einleiter) eine Spanne von > BG bis 220 ng/l. Die höchsten Konzentrationen unter den Alkylphenolen zeigte zumeist techn. Nonylphenol, dessen Mittelwert bei 41 ng/l lag (40 Proben). Die Mittelwerte für die 4-tert.-Isomere des Butyl-, Pentyl- und Octylphenol lagen bei 5,6, 1,8 und 3,3 ng/l, wobei Butylphenol immer dort in hohen Konzentrationen (Maximalwert 78 ng/l) zugegen war, wo Bisphenol A produziert bzw. weiterverarbeitet wird. Die Konzentrationen der techn. Nonylphenolethoxylate reichten bis 205 ng/l, die der Octylphenolethoxylate bis 21 ng/l.

In schwebstoffbürtigen Sedimenten der Elbe wurden, ebenso wie in Wasserproben, die höchsten Konzentrationen in den meisten Fällen für techn. Nonylphenol analysiert. Sie reichten bis zu 1380 ng/g Trockenmasse. Die Gehalte der techn. Nonylphenolethoxylate reichten bis zu 1800 ng/g Trockenmasse, die der 4-tert.-Octylphenolethoxylate dagegen nur bis zu 140 ng/g Trockenmasse. Trotz einer vergleichsweise guten Wasserlöslichkeit und einer geringen Halbwertszeit konnte auch Bisphenol A in Feststoffen nachgewiesen werden, wobei anzumerken ist, dass die untersuchten Feststoffe über einen Zeitraum von einem Monat in Sedimentationsbecken gesammelt wurden. Die Gehalte lagen im Bereich von 58 bis 343 ng/g Trockenmasse.

Wie Untersuchungen kommunaler und industrieller Einleiter ergaben, stellen diese erhebliche Eintragsquellen für das untersuchte Stoffspektrum innerhalb der Elbe und ihrer Nebenflüsse dar. Als Schwerpunkte für Einträge von Bisphenol A wurden die Einleitungen von Bisphenol A synthetisierenden bzw. verarbeitenden Betriebe ermittelt.

Die Bestimmung von Schwebstoff/Wasser-Verteilungskoeffizienten ( $\log K_{OC}$ -Werte, auf den organischen Kohlenstoff bezogen) erlaubte eine Abschätzung über das Anreicherungsverhalten der untersuchten Verbindungen in der partikulären Phase. Für Bisphenol A wurde ein durchschnittlicher  $\log K_{OC}$ -Wert von 4,5 ermittelt, die  $\log K_{OC}$ -Werte der Alkylphenole lagen zwischen 5,5 und 6,0. Für die Alkylphenolethoxylate wurden  $\log K_{OC}$ -Werte im Bereich von 5,6 bis 6,4 festgestellt. Die Alkylphenole und Alkylphenolethoxylate zeigten somit eine mäßige, Bisphenol A dagegen nur eine sehr geringe Tendenz zur Adsorption an Feststoffen.

Um eine Beurteilung der Abwasserproben hinsichtlich eines östrogenen Wirkpotentials treffen zu können, wurde ein Test mit gentechnisch modifizierten Hefezellen durchgeführt. Ergebnisse dieser Untersuchung zeigten, dass die höchste östrogene Aktivität in Zuläufen von Kläranlagen festzustellen war. Abwasserproben industrieller Einleiter wiesen dagegen in keinem Fall

eine östrogene Aktivität auf. Wasserproben der Weißen Elster zeigten ein zum Konzentrationsprofil der hier quantifizierten Analyten gegenläufiges östrogenes Wirkpotential. Es muss daher davon ausgegangen werden, dass weitere, in dieser Untersuchung nicht berücksichtigte Verbindungen (anthropogenen oder biogenen Ursprungs) für dieses Verhalten verantwortlich zu machen sind.

Die Abschätzung einer möglichen östrogenen Wirkung auf der Basis von LOEC-Werten (Lowest Observable Effect Concentration) hinsichtlich einer Vitellogenin-Synthese in männlichen Forellen belegte, dass die festgestellten Konzentrationen (als Summe der quantifizierten Analyten in den jeweiligen Proben) um ca. 2 bis 3 Größenordnungen unterhalb der LOEC-Werte lag. Bei dieser Abschätzung wurden die ermittelten Summenkonzentrationen von 4 bis 1140 ng/l in Proben von Oberflächengewässern den genannten LOEC-Werten von 5000 (OP) bis 30000 ng/l (NP2EO) gegenübergestellt. Proben kommunaler und industrieller Einleiter blieben unberücksichtigt.

Durch das "Non-Target-Screening" einer Kläranlagen-Abwasserprobe aus einem Bisphenol A-synthetisierenden Chemiebetrieb konnte 2-[1-(4-Hydroxyphenyl)-1-methyl-ethyl]-Phenol als Struktur-Isomeres des Bisphenol A nachgewiesen werden. Bei dieser Verbindung handelt es sich wahrscheinlich um ein Nebenprodukt, das bei der Synthese von Bisphenol A anfällt. Es sollte geklärt werden, inwieweit diese Verbindung ein endokrines Wirkpotential besitzt und wenn dies der Fall ist, ob sie in Oberflächengewässern nachweisbar ist.

Die statistischen Auswertungen präzisieren zum einen die empirischen Aussagen über die Konzentrationsbereiche der endokrin wirksamen Substanzen sowohl in den Wasserproben als auch in den Feststoffproben. Dazu werden über Optimierungsprogramme Trendkurven ermittelt und zwar im Elbe-Längsprofil bei gegebenem Zeitpunkt (Juni 1998) und im Zeitraum Feb. 1998 bis Jan. 1999 bei fester Messstelle (Schnackenburg). Die kontinuierlichen Raum- bzw. Zeitkurven spiegeln die sonst übliche Situation wider, bereinigt um Ausreißerwerte (bedingt durch singuläre Ereignisse) bzw. um saisonale Einflüsse (im zeitlichen Verlauf).

Zum anderen werden durch Assoziationsanalysen mit Hilfe von Scatterplotmatrices bivariate funktionale Zusammenhänge bzw. Abhängigkeiten in den Elbe-Daten aufgedeckt. Im Längsprofil zeigen sich bei den Wasserproben lediglich zwischen NP1EO, NP2EO sowie OP1EO, OP2EO und bei den Feststoffproben darüber hinaus auch zwischen PP, BP, OP, NP jeweils hohe positive lineare Zusammenhänge. Im zeitlichen Verlauf hängen die Stoffpaare PP OP, BP OP, NP OP1EO, NP OP2EO und NP1EO NP2EO deutlich positiv linear zusammen. Die Quantifizierung der Auswirkungen verschiedener Nebenflüsse auf die Elbe und die Analyse der Isomeren von NP, NP1EO, NP2EO runden den Einsatz statistischer Verfahren ab.

## **DANKSAGUNG**

Die Autoren danken dem Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie für die technische Realisierung dieses Projekts. Des Weiteren danken wir Herrn Knorr von der Thüringer Landesanstalt für Umwelt, Umweltlabor Gera, für die Wasserproben von der Weißen Elster. Herrn Dr. Seibert (Institut für Toxikologie der Christian-Albrechts-Universität, Kiel) und Frau J. Krinitz danken wir für die kritische Durchsicht des Berichts.