

5 Diskussion

5.1 Eliminationsleistung der kommunalen Abwasserreinigung

In 9 von 10 diesbezüglich auswertbaren Probennahmefällen auf großtechnischen kommunalen Kläranlagen sank die BPA-Konzentration, und damit die BPA-Fracht, zwischen Zu- und Ablauf deutlich (Abbildung 5-1). Die Eliminationsleistung betrug 61 – 98 % (MED = 75 %; Anhang, Tabelle 8-30). Dies korrespondiert mit Veröffentlichungen aus Deutschland, Österreich, Italien, Japan und Kanada, die Eliminationsleistungen zwischen 50 und 95 % ^[208,365,369,370,376,474,475] und nur in Ausnahmefällen darunter ^[376] angeben. Einzig bei der Beprobung von Kläranlage 7 wurde eine leichte Zunahme der BPA-Konzentration vom Zulauf zum Ablauf um 16 % festgestellt.

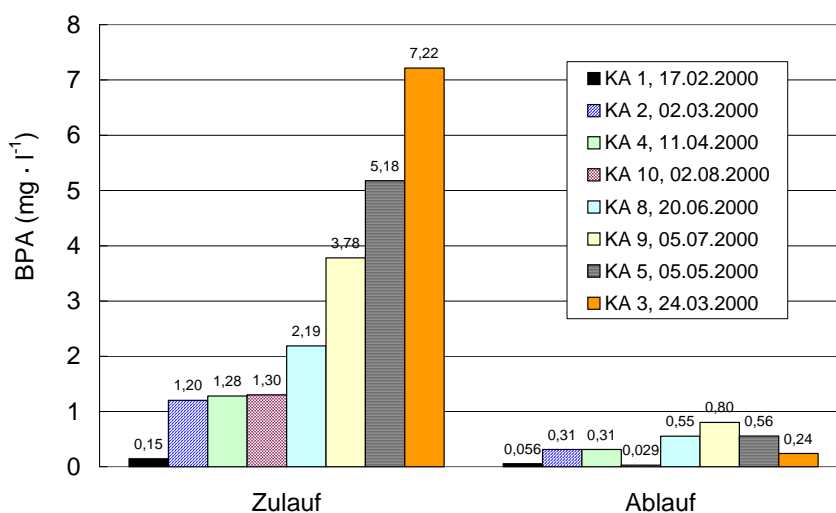


Abbildung 5-1: Bisphenol A-Konzentrationen in Zu- und Ablauf kommunaler deutscher Kläranlagen

In sechs Fällen (43 %) betrug die Ablaufkonzentration $< 100 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$, in sieben Fällen (50 %) $100 - 1.000 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ und in einem Fall (7 %) mit $2.520 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ über $1.000 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$. Der Extremwert von $2.520 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ wurde in eben dem Probennahmefall mit vermeintlicher BPA-Bildung gemessen (Anhang, Tabelle 8-30). Der Median der BPA-Konzentrationen in den Abläufen betrug $240 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$. Eine von zwei Anlagen mit Mikrofiltration, die einzige Tropfkörperanlage und die einzige Anlage mit simultan-aerober Schlammstabilisierung weisen mit $550 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$, $560 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ bzw. $360 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ Werte im oberen Teil des Konzentrationsbereiches der Abläufe auf. Tendenziell kann man feststellen, daß kleine Kläranlagen (KA 5, KA 9, KA 8) höhere BPA-Werte in Zulauf und

Ablauf aufwiesen als große Kläranlagen (KA 1, KA 4, KA 7, KA 10). Dies könnte u. a. durch einen geringeren Regenwasseranteil erklärt werden, der wiederum auf einen geringeren Ausbaugrad der Straßenkanalisation oder eine geringere Flächenversiegelung zurückgehen könnte. Auch ein geringerer industrieller Anteil im Einzugsgebiet kommt als Ursache in Frage. Bei KA 8 handelt es sich um eine Anlage mit Membranfiltration, KA 5 betreibt Tropfkörper und KA 9 parallel zwei einstufige Belebungsbecken (Anhang, Tabelle 8-22). Dies deutet darauf hin, daß Tropfkörper und Anlagen ohne Denitrifikation geringere Eliminationsraten erreichen. Ein klarer systematischer Zusammenhang zwischen der BPA-Ablaufkonzentration und der auf der entsprechenden Kläranlage eingesetzten Technologie zur Abwasserreinigung ist aus den vorliegenden Daten jedoch nicht erkennbar.

Hohe BPA-Eliminationsleistungen wurden bei hohen Zulaufkonzentrationen erzielt. Dies ergibt sich aufgrund der Berechnung der Elimination aus der Differenz von Zulauf- und Ablaufkonzentration. Das heißt aber nicht zwangsläufig, daß die erzielten Ablaufkonzentrationen dann auch einen im Vergleich zu anderen Anlagen niedrigen Wert darstellen. Im vorliegenden Datensatz ist weder dieser noch ein anderer derartiger systematischer Zusammenhang erkennbar. Sowohl hohe als auch niedrige BPA-Zulaufkonzentrationen sind sowohl mit hohen als auch niedrigen BPA-Ablaufkonzentrationen gepaart (Abbildung 5-1, Anhang Tabelle 8-30).

Unter Bezug auf die EU-Risikobewertung lagen 93 % der Ablaufkonzentrationen unter der für den aquatischen Bereich aufgestellten „konventionellen“ $\text{PNEC}_{\text{Wasser}}$ von $1.000 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ und zugleich 43 % der Ablaufkonzentrationen, darunter jene der mit Abstand größten KA 1 (Anhang, Tabelle 8-22), unter der „konservativen“ $\text{PNEC}_{\text{Wasser}}$ von $100 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ (Kapitel 2.3.5). Zieht man jedoch die von OEHLMANN und Mitarbeiter/inne/n [229-231,476] ermittelte LOEC von $\sim 50 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ (Kapitel 2.3.4.3) für endokrine Schadwirkungen auf Mollusken heran, so ergibt sich mit einem Unsicherheitsfaktor von 10 nach TGD [190] eine $\text{PNEC}_{\text{Wasser}}$ von nur $5 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$. Die LOEC wurde in 10 der 14 untersuchten Ablaufproben deutlich überschritten (Tabelle 4-1, Anhang Tabelle 8-30). Die $\text{PNEC}_{\text{Wasser}}$ von $5 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ wurde in fast allen Abläufen um Größenordnungen überschritten. Bei einer Konzentration von $50 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ im Ablauf der Kläranlage wäre, bei Abwesenheit weiterer Eintragsquellen, eine zehnfache Verdünnung bzw. ein Abwasseranteil von $< 10 \%$ im Vorfluter notwendig, um diese $\text{PNEC}_{\text{Wasser}}$ im Gewässer einzuhalten.

SPENGLER ET AL. ^[477] haben bei der Analyse von 22 Ablaufproben kommunaler deutscher Kläranlagen 1998 bis 2001 einen Medianwert der BPA-Konzentrationen im Ablauf von $92 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ und einen Maximalwert von $1.000 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ ermittelt ($N > NG = 22$). Der höchste Wert wurde im Ablauf einer Tropfkörperanlage gemessen, die zudem eine Eliminationsleistung von nur 24 % aufwies.

Zwei kommunale Kläranlagen mit Aktivkohlefiltration wiesen BPA-Ablaufkonzentrationen deutlich unter dem Medianwert der 22 untersuchten Anlagen auf. Diese Feststellungen trafen für weitere Xenoestrogene (EE2, NP) ebenfalls zu. ^[477] Eine Deponiesickerwasseraufbereitungsanlage mit Membranbioreaktor, Nanofiltration und Aktivkohleadsorption in Reihenschaltung eliminierte $\sim 98 \%$ des BPA und erzielte damit die höchste Eliminationsrate unter den untersuchten Verfahrenskombinationen ^[478].

Zwei Kläranlagen mit Membranfiltrationstechnologie wurden im Rahmen der hier vorgestellten Kampagne untersucht. Im Gegensatz zu KA 8, die eine relativ hohe Ablaufkonzentration von $550 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ (und eine Eliminationsleistung von 75 %) aufwies, betrug die BPA-Konzentration im Ablauf von KA 12 nur $\sim 60 \text{ ng} \cdot \text{l}^{-1}$ (Anhang, Tabelle 8-30).

Membranfiltrationen sind grundsätzlich für den Rückhalt von BPA und anderen in wässrigen Medien vorliegenden EAS geeignet ^[479]. Mit der auf kommunalen Kläranlagen eingesetzten Mikrofiltration können z. B. $> 90 \%$ an AP, APnEO und APnEC zurückgehalten werden ^[480]. Die Konzentrationen im Permeat von Mikrofiltrationsanlagen müssen nach derzeitigem Stand der Literatur jedoch in den meisten Fällen als ökotoxikologisch zu hoch oder zumindest bedenklich eingeschätzt werden ^[478,480-482].

Keine der hier untersuchten Kläranlagen setzt als zusätzlichen Reinigungsschritt eine Oxidation (UV-Bestrahlung, Ozonierung, Oxidation mit Wasserstoffperoxid) oder ein weitergehendes Oxidationsverfahren (advanced oxidation processes, AOP) mit einer Kombination von mehreren dieser Möglichkeiten ein. Ozonierung ist bereits bei Dosierungen von $5 \text{ mg O}_3 \cdot \text{l}^{-1}$, wie sie für die Beseitigung von Geruch und Färbung von Abwasser zum Einsatz kommen, zu einer weitestgehenden Oxidation von BPA ^[478,483] und z. B. auch von NP ^[483] und EE2 ^[483] in der Lage. Auch die Kombination von Titan-dioxid als Katalysator mit UV-Bestrahlung (Photokatalyse) ist, allerdings bei geringerer Abbaurrate, für die Entfernung von BPA – zumindest aus deionisiertem Wasser – geeignet ^[484,485]. UV-Bestrahlung allein führt nicht zur Elimination von E2, OP, NP oder BPA aus deionisiertem Wasser ^[485] bzw. von APnEO und APnEC aus kommunalem

Abwasser^[480]. H₂O₂ führte in Oberflächenwasser unter Bestrahlung mit Licht zu einer mäßigen Reduzierung der BPA-Konzentration um 32 %. Die Zugabe von Huminsäure steigerte die Elimination. Bei gleichzeitiger Anwesenheit von H₂O₂ und zweiwertigen Eisenionen stieg diese auf 97 %. Ohne Lichteinfall fand keine Elimination statt.^[486]

Die bei der im Rahmen dieser Arbeit durchgeführten Meßkampagne festgestellten stark variierenden BPA-Eliminationsraten von Kläranlagen mit Belebtschlammtechnologie (Anhang, Tabelle 8-30) zeigen, ebenso wie die stark schwankenden Eliminationsraten anderer EAS^[51], daß die Betriebsführung bestehender Anlagen in Bezug auf diese Zielgröße z. T. noch verbessert werden kann. Für die Bewertung der Eliminationsleistung einer Kläranlage sollten jedoch Zeitreihenmessungen durchgeführt werden, da z. B. Niederschlagswasser nicht nur zu einer Verdünnung des Zulaufes führt, sondern auch das Sorptionsverhalten des partikulären Materials verändert^[487].

Während Tropfkörperanlagen vermutlich grundsätzlich kaum für die Elimination von EAS geeignet sind, muß gleichzeitig konstatiert werden, daß auch Anlagen mit zwei- oder dreistufiger Behandlung per Belebtschlammverfahren und Anlagen mit Mikrofiltration zwar zu einer weitgehenden, aber nicht zu einer ausreichend guten Elimination von EAS in der Lage sind. Die Ablaufkonzentrationen müssen in den meisten Fällen als ökotoxikologisch bedenklich eingestuft werden.

Abhilfe könnten hier sowohl vierte Reinigungsstufen mit Oxidation der verbliebenen Restkonzentrationen als auch die Senkung des Eintrages von EAS in die Kläranlagen z. B. durch Verringerung des Chemikalienverbrauchs oder eine konsequente Stoffstromtrennung schaffen. Insbesondere pharmazeutische Wirkstoffe werden in Form gut wasserlöslicher, oft schwer abbaubarer Metabolite hauptsächlich mit dem Urin ausgeschieden. Die Trennung von Gelb-, Grau- und Schwarzwasser mit getrennter Behandlung des Gelbwassers würde daher die Belastung der Kläranlagen mit EAS deutlich verringern.