

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Ergebnisse der Felduntersuchungen

Bei Angaben der Form WERT1  $\pm$  WERT2 handelt es sich jeweils um den arithmetischen Mittelwert und das 95 %-Konfidenzintervall.

#### 4.1.1 Großtechnische Kläranlagen

In den Zuläufen der Kläranlagen wurden BPA-Konzentrationen von nicht detektierbar (n. d.) bis  $7,2 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  und in den Abläufen von n. d. bis  $2,52 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  ermittelt (Anhang, Tabelle 8-30), die Mediane betragen  $1,28$  bzw.  $0,24 \mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$  (Tabelle 4-1). Median und Mittelwert der Eliminationsraten betragen  $75,1 \%$  bzw.  $70,3 \%$  ( $N = 10$ ,  $s = 32,4$ ), wobei die hohe Standardabweichung von der im Fall KA 7/20.06.2000 festgestellten Zunahme der Konzentration verursacht wird.

**Tabelle 4-1: Bisphenol A-Konzentrationen in Schlamm und Abwasser großtechnischer deutscher Kläranlagen in den Jahren 2000/2001**

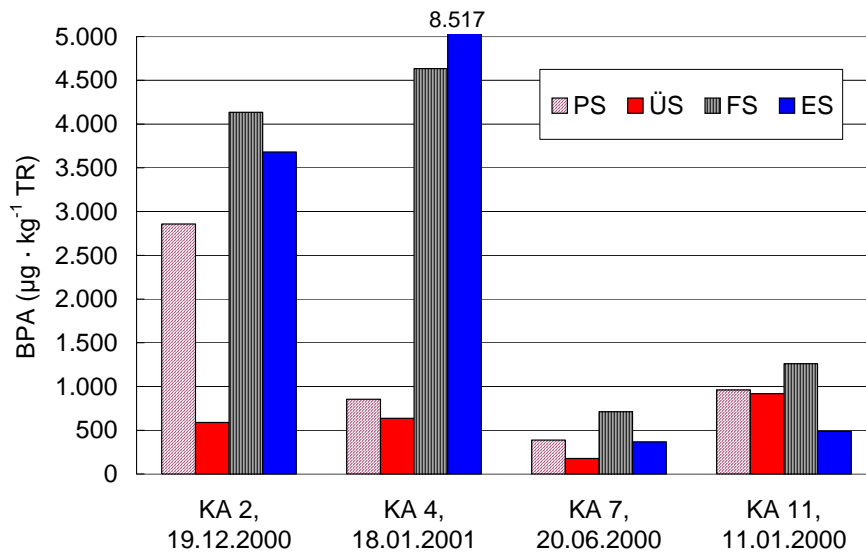
	Abwasser ( $\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}$ )		Schlamm ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$ ) <sup>s</sup>				
	Zulauf	Ablauf	PS	ÜS	PSÜS	FS	ES
<b>MIN</b> °	n. d.	n. d.	135	n. d.	260	152	202
<b>MAX</b> °	7,22	2,52	3.582	1.693	557	28.380	32.100
<b>MED</b> °	1,28	0,28	366	179	426	659	496
<b>MEAN</b> °	< 2,55	< 0,46	989	< 495	417	3.334	4.777
<b>N &gt; BG</b> *	10	13	10	17	4	16	13
<b>N</b>	14	14	11	19	4	16	13
<b>Jahr</b>	2000	2000	2000/2001	2000/2001	2000/2001	2000/2001	2000/2001

° ohne die Werte n. a.; \* ohne die Werte n. d., n. q. und n. a.;<sup>s</sup> ohne die Proben aus den Becken für die De-/Nitrifikation von KA 12 (sim.-aerobe Schlammbehandlung);

n. a.: nicht auswertbar; n. d.: nicht detektierbar ( $c \leq \text{NG}$ ); n. q.: nicht quantifizierbar ( $\text{NG} < c \leq \text{BG}$ );  
c: Konzentration; BG: Bestimmungsgrenze; ES: entwässertes Schlamm; FS: Faulschlamm; NG: Nachweissgrenze; PS: Primärschlamm; PSÜS: beprobtes Gemisch aus PS und ÜS; TR: Trockenrückstand; ÜS: Überschussschlamm

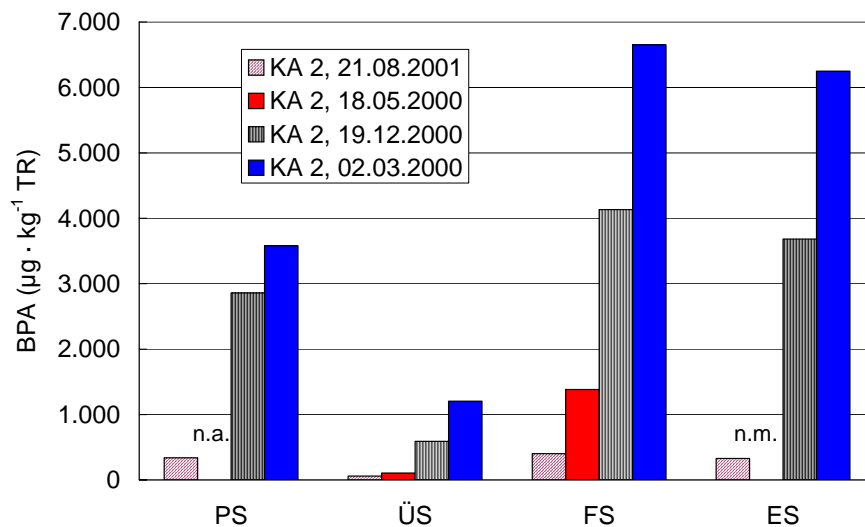
Nur in sehr wenigen Klärschlammproben war BPA nicht nachweisbar. Die Konzentrationen erreichten maximal 28 bzw. 32  $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$  im gefaulten bzw. entwässerten Schlamm (Anhang, Tabelle 8-31). Im Median betragen die Konzentrationen im Primärschlamm (PS)  $\sim 370 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$ , im Überschussschlamm (ÜS)  $\sim 180 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$ , im gefaulten Schlamm (GS)  $660 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$  und im entwässerten Schlamm (ES)  $500 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$  (Tabelle 4-1). Somit ist für BPA eine deutliche Zunahme der Konzent-

rationen im Schlamm während der Faulung festzustellen. Das bei den Medianwerten auftretende Profil der BPA-Konzentrationen von (PS > ÜS) << (FS ~ ES) wurde auch bei den meisten Probenahmen beobachtet (Abbildung 4-1, Anhang Tabelle 8-31).



**Abbildung 4-1: Bisphenol A-Konzentrationen in verschiedenen Schlämmen großtechnischer deutscher Kläranlagen, 2000/2001**

BPA: Bisphenol A; ES: entwässerter Schlamm; FS: Faulschlamm;  
KA: Kläranlage/n; PS: Primärschlamm; TR: Trockenrückstand;  
ÜS: Überschußschlamm



**Abbildung 4-2: Bisphenol A-Konzentrationen in verschiedenen Schlämmen der Kläranlage 2 zu unterschiedlichen Probenahmezeitpunkten**

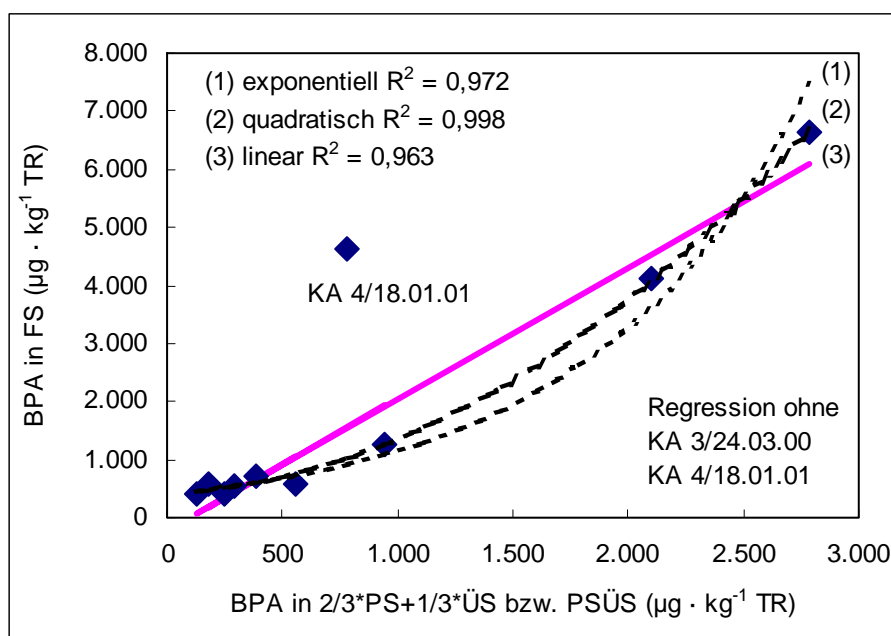
BPA: Bisphenol A; ES: entwässerter Schlamm; FS: Faulschlamm;  
KA: Kläranlage/n; PS: Primärschlamm; TR: Trockenrückstand;  
ÜS: Überschußschlamm; n. a.: nicht auswertbar; n. m.: nicht gemessen

Bei den Mehrfachbeprobungen von KA 2 traten sehr unterschiedlich hohe Konzentrationen auf (Abbildung 4-2).

Unter den Probenahmen auf KA 4 fallen die Werte vom 18.01.01 durch deutlich höhere Konzentrationen im gefaulten und entwässerten Schlamm auf (Anhang, Tabelle 8-31).

Ausgangsmaterial für die Schlammfäulung ist i. d. R. ein Gemisch aus Primär- und Überschußschlamm (PSÜS), häufig im Verhältnis von etwa 2:1. Für die Fälle, in denen sowohl BPA-Meßwerte für PSÜS – bzw. für Primär- und Überschußschlamm getrennt – als auch für Faulschlamm vorliegen, beträgt die Zunahme der BPA-Konzentration im Mittel  $126 \pm 88 \%$  ( $N = 11$ ;  $s = 149$ ; Anhang, Tabelle 8-32). Unter Ausschluß des einzigen Falles einer Abnahme der BPA-Konzentration während der Fäulung (KA 3 am 24.03.00) beträgt die Zunahme sogar  $145 \pm 88 \%$  ( $N = 10$ ;  $s = 142$ ), und trotz der starken Streuung der Werte ist der t-Test signifikant ( $p = 0,042$ ; Anhang, Tabelle 8-33).

Je mehr BPA im Rohschlamm enthalten ist, um so mehr wird während der Fäulung freigesetzt, und zwar direkt proportional, möglicherweise mit linearem Zusammenhang. Neben dem Fall KA 3/24.03.00 fällt das Wertepaar für die Probenahme KA 4/18.01.01 (782 bzw.  $4.633 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$ ) deutlich aus dem allgemeinen Bild (Abbildung 4-3) heraus. Das Bestimmtheitsmaß beträgt bei Berechnung ohne diese beiden Fälle bei linearer Regression 0,963 (Abbildung 4-3), bei exponentieller Regression 0,972 und bei quadratischer Regression 0,998.



**Abbildung 4-3:** Zusammenhang zwischen den Bisphenol A-Konzentrationen im Schlamm großtechnischer deutscher Kläranlagen vor und nach der Fäulung, 2000/2001

BPA: Bisphenol A; FS: Faulschlamm; KA: Kläranlage; PS: Primärschlamm; PSÜS: beprobtes Gemisch aus PS und ÜS; TR: Trockenrückstand; ÜS: Überschußschlamm

Da für die Probenahme KA 4/18.01.01 nicht nur die BPA-Werte, sondern auch die NP-Werte mit einer Abnahme um 58 % ein ungewöhnliches Profil aufweisen <sup>[51,454]</sup>, kann die Vertauschung der als Überschuß- bzw. Faulschlamm bezeichneten Proben nicht ausgeschlossen werden. Der Ausschluß dieses Wertes bei der Betrachtung eines möglichen systematischen Zusammenhangs zwischen den Konzentrationen im PSÜS-Gemisch und dem korrespondierenden Faulschlamm erscheint ebenfalls zulässig, da auch bei vier weiteren Fällen, in denen kein Primär- oder kein Faulschlamm beprobt werden konnte, eine deutliche Freisetzung von BPA festgestellt wurde (Anhang, Tabelle 8-31). Ohne den Wert KA 4/18.01.01 nimmt die ohnehin starke Korrelation der Konzentrationen von 0,886 noch einmal deutlich auf 0,981 zu (Anhang, Tabelle 8-33).

Die KA 20 wurde im Sommer 2000 im Abstand von je 2 Wochen dreimal beprobt, die festgestellten BPA-Konzentrationen in Primär-, Überschuß- und gefaultem Schlamm zeigt Tabelle 4-2.

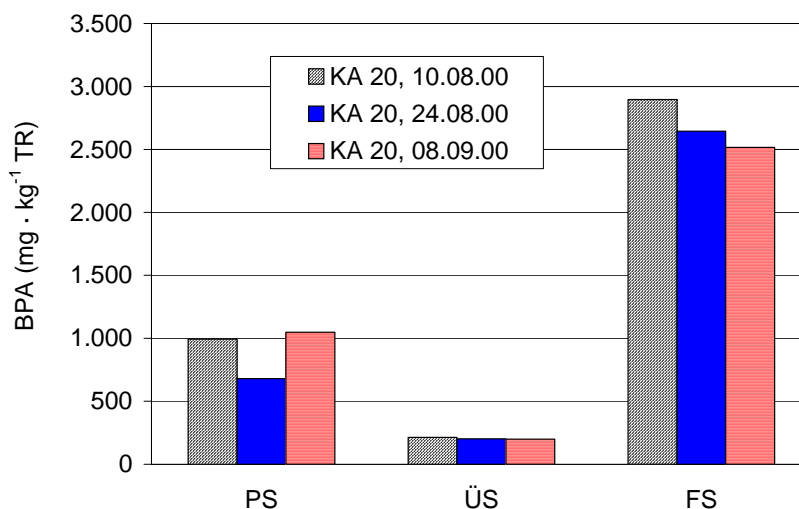
**Tabelle 4-2: Bisphenol A-Konzentrationen im Schlamm von Kläranlage Nr. 20**

KA	Datum	Probe	BPA ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$ )	Verhältnis im Schlamm FS zu ( $2/3 \cdot \text{PS} + 1/3 \cdot \text{ÜS}$ ) (%)
20	10.08.2000	PS	993	331
20	10.08.2000	ÜS	213	
20	10.08.2000	FS	2.896	
20	24.08.2000	PS	679	403
20	24.08.2000	ÜS	202	
20	24.08.2000	FS	2.644	
20	08.09.2000	PS	1.048	280
20	08.09.2000	ÜS	199	
20	08.09.2000	FS	2.516	
<b>Bildung:</b>	MEAN = 338 %; STABW = 62 %			

BPA: Bisphenol A; FS: Faulschlamm; KA: Kläranlage; PS: Primärschlamm; TR: Trockenrückstand; ÜS: Überschußschlamm

In allen 3 Fällen waren die Konzentrationen mit  $700 - 1.050 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$  im PS,  $\sim 200 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$  im ÜS und  $2.500 - 2.900 \mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1} \text{TR}$  im FS ähnlich hoch und wurde das bereits beschriebene Profil mit BPA-Freisetzung während der Faulung festgestellt (Abbildung 4-4). Im Mittel lag das Verhältnis der BPA-Konzentrationen zwischen FS und dem theoretischen Gemisch von ( $2/3 \cdot \text{PS} + 1/3 \cdot \text{ÜS}$ ) bei 3,4:1. Im Vergleich der Konzentrationen in Faulschlamm und dem in der Praxis häufig eingesetzten

2:1-Gemisch von Primär- und Überschussschlamm wurden 230 %, 300 % bzw. 180 % BPA freigesetzt.



**Abbildung 4-4: Bisphenol A-Konzentrationen im Schlamm von Kläranlage Nr. 20**

BPA: Bisphenol A; FS: Faulschlamm; KA: Kläranlage; PS: Primärschlamm; TR: Trockenrückstand; ÜS: Überschussschlamm

#### 4.1.2 Großtechnische Kofermentation

Auch bei der Einzelbeprobung einer großtechnischen Kofermentationsanlage wurden für BPA im Faulschlamm bzw. Gärrest mit 830 bzw. 760  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  TR deutlich höhere Konzentrationen als im Gemisch aus Primär- und Überschussschlamm mit 230  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  TR detektiert (Tabelle 4-3). Unerwartet hoch war der Gehalt an BPA mit 660  $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$  TR in den bei 70 °C hygienisierten Bioabfällen.

**Tabelle 4-3: Bisphenol A-Konzentrationen im Feststoff der Massenströme einer Kofermentationsanlage**

Probe	Abk.	BPA ( $\mu\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ TR)
Zulauf: Hygienisierter Bioabfall	Hy	662,17
Zulauf: Klärschlamm (Gemisch aus Primär- und Überschussschlamm)	PSÜS	227,65
Zwischenprodukt: Faulschlamm	FS	831,34
Ablauf: Gärrest	GärR	761,98
<b>Nachweisgrenze (<math>\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}</math> im Vial)</b>	NG	15,40
<b>Bestimmungsgrenze (<math>\mu\text{g} \cdot \text{l}^{-1}</math> im Vial)</b>	BG	16,57

Abk.: Abkürzung; BPA: Bisphenol A; TR: Trockenrückstand