



HORMONELL WIRKSAME SUBSTANZEN IN KLÄRSCHLÄMMEN

Marion Gangl, Robert Sattelberger, Sigrid Scharf, Norbert Kreuzinger

MONOGRAPHIEN

Band 136

M-136

Wien, 2001

Projektleitung

Sigrid Scharf

Autoren

Marion Gangl, Robert Sattelberger, Sigrid Scharf, Norbert Kreuzinger (Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft TU-Wien)

Übersetzung

Brigitte Read

Lektorat

Marion Gangl

Satz/Layout

Marion Gangl

Titelgraphik

Elisabeth Lössl

Sämtliche Analysen wurden im Labor des Umweltbundesamtes durchgeführt. Besonderer Dank gilt den Kläranlagenbetreibern für die gute Zusammenarbeit.

gedruckt auf chlorfrei gebleichtem Papier

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt (Federal Environment Agency)
Spittelauer Lände 5, A-1090 Wien (Vienna), Austria

Druck: Riegelnik, Wien

© Umweltbundesamt, Wien, 2001
Alle Rechte vorbehalten (all rights reserved)
ISBN 3-85457-579-3

INHALTSVERZEICHNIS

1	ZUSAMMENFASSUNG.....	5
2	EINLEITUNG	9
3	AUSWAHL DER KLÄRANLAGEN UND BESCHREIBUNG DER PROBEN, DES UNTERSUCHUNGSUMFANGES UND DER ANALYSENMETHODEN	11
3.1	Auswahl der Kläranlagen und Beschreibung der Proben.....	11
3.2	Probenahme und Probenaufbewahrung	12
3.2.1	Probenaufbereitung	12
3.3	Untersuchungsumfang.....	12
3.4	Analysenmethoden.....	13
4	DARSTELLUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE	16
5	ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER PARAMETER	17
5.1	Allgemeines.....	17
5.2	Alkylphenole.....	17
5.3	Nonylphenoethoxylate (NP1EO, NP2EO)	20
5.4	Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS)	23
5.5	Butylhydroxyanisol (BHA).....	25
5.6	Bisphenol A (BPA) und Bisphenol F (BPF)	27
5.7	Phthalate.....	29
5.8	Organozinnverbindungen.....	32
6	KLÄRANLAGENBEZOGENE UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE.....	35
7	VERGLEICH DER SCHADSTOFFBELASTUNG DER VERSCHIEDENEN KLÄRSCHLAMMARTEN	36
	ANHANG	41
	Anhang 1: Darstellung der Untersuchungsergebnisse - nach Substanzgruppen geordnet.....	41
	Alkylphenole	41
	Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS	44
	Phthalate	47
	Organozinnverbindungen.....	50
	Anhang 2: Kläranlagenbezogene Untersuchungsergebnisse	53
	Anhang 3: Codierung der Proben pro Kläranlage	70
	Anhang 4: Literaturverzeichnis.....	71
	Anhang 5: Abkürzungsverzeichnis	74
	Anhang 6: Tabellenverzeichnis.....	75

1 ZUSAMMENFASSUNG

In den letzten Jahren vermehrten sich Berichte über Veränderungen des endokrinen Systems von Mensch und Tier, die durch hormonell wirksame Substanzen (z. B. Industriechemikalien, Arznei- und Pflanzenschutzmittel) hervorgerufen werden sollen. Diese Xenohormone stehen im Verdacht, die Gesundheit von Mensch und Tier zu beeinflussen.

Das Umweltbundesamt untersuchte bereits 1998 die Zu- und Abläufe von österreichischen Kläranlagen auf ihre Belastung mit einigen Xenohormonen (UMWELTBUNDESAMT, 1999b). Als Leitsubstanzen wurden Stoffe mit östrogenem und androgenem Wirkungspotenzial ausgewählt.

In der nun vorliegenden, bundesweiten Studie wurden Klärschlämme der selben Kläranlagen auf ihre Gehalte an diesen Leitsubstanzen analysiert. Bei den meisten dieser Kläranlagen erfolgt eine anaerobe Schlammstabilisierung.

Verschiedene Klärschlammarten (Nassschlamm, entwässerter Klärschlamm, kompostierter Klärschlamm) wurden untersucht und die Substanzkonzentrationen verglichen.

Nachfolgend sind die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung zusammengefasst dargestellt:

- **Alkylphenole**

Alkylphenole sind in der Umwelt weit verbreitete Industriechemikalien und Abbauprodukte der Alkylphenoethoxylate (APEO), die als nichtionische Tenside eingesetzt werden. Unter den Alkylphenolen ist 4-Nonylphenol der mengenmäßig wichtigste Vertreter. Für diese Substanz schlägt SCHNAAK et al. (1995) einen Normwert von 60 mg/kg TS im Klärschlamm vor.

In den Klärschlammproben konnten am häufigsten 4-tert.-Butylphenol, 4-tert.-Octylphenol und 4-Nonylphenol techn. (Gemisch aus 4-Nonylphenol und 2-Nonylphenol im Verhältnis 9:1) nachgewiesen werden. Der für 4-Nonylphenol o.a. Normwert wurde in zwei Fällen überschritten (65 und 70 mg/kg TS), die in dieser Untersuchung ermittelten Ergebnisse für 4-Nonylphenol techn. sind jedoch im Vergleich zur internationalen Literatur gering. In den kompostierten Klärschlammproben war eine deutliche Abnahme von 4-Nonylphenol techn. zu erkennen.

- **Nonylphenoethoxylate (NP1EO, NP2EO)**

Nonylphenolmonoethoxylat (NP1EO) und Nonylphenoldiethoxylat (NP2EO) sind wichtige Abbauprodukte der Nonylphenoethoxylate. Diese sind nichtionische Tenside.

NP1EO konnte in allen analysierten Klärschlammproben über der Bestimmungsgrenze von 0,065 mg/kg TS mit einem Maximalwert von 23 mg/kg TS nachgewiesen werden.

NP2EO konnte ebenfalls in fast allen Proben quantifiziert werden. Mit einem Maximalwert von 13 mg/kg TS liegen die NP2EO – Ergebnisse im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte.

Sowohl bei NP1EO als auch bei NP2EO kam es zu einer Konzentrationsabnahme in den kompostierten Klärschlammproben.

- **Butylhydroxyanisol (BHA)**

Butylhydroxyanisol ist ein häufig verwendetes, lebensmittelrechtlich zugelassenes Antioxidans (E320).

In insgesamt fünf von 21 Schlammproben (entwässert bzw. Nassschlamm) konnte diese Substanz nachgewiesen werden (Maximalwert: 0,06 mg/kg TS). Im kompostierten Klärschlamm wurde das Antioxidans nicht detektiert.

- **Bisphenole**

Bisphenol A gehört zu den weltweit meistproduzierten Chemikalien und wird u. a. als Antioxidans in Kunststoffen bzw. als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Polycarbonaten und Epoxidharzen verwendet. Bisphenol F wird ebenfalls für die Herstellung von Polycarbonaten und Epoxidharzen eingesetzt.

Mit einer Ausnahme wurde in allen untersuchten Proben Bisphenol A über der Bestimmungsgrenze von 0,010 mg/kg TS (Maximalwert: 1,1 mg/kg TS) nachgewiesen.

Bisphenol F konnte in insgesamt sieben Proben quantitativ erfasst werden (Maximalwert: 0,07 mg/kg TS).

- **Phthalate**

Phthalsäureester werden u. a. als Weichmacher in Kunststoffen eingesetzt. Sie sind auf Grund ihrer verwendeten Menge wichtige Industriechemikalien.

Die untersuchten Klärschlammproben wiesen im Vergleich mit der Literatur geringere Konzentrationen an Phthalaten auf. Di(2-ethylhexyl)phthalat war mit einem Maximalwert von 47 mg/kg TS am häufigsten zu finden.

Die Phthalatkonzentrationen in den kompostierten Schlammproben waren geringer, dies könnte jedoch auch zumindest teilweise auf die Vermischung des Klärschlammes mit Strukturmaterial wie z. B. Baum- und Strauchschnitt, Rinde, Holzwolle oder Häckselgut zurückzuführen sein.

- **Organozinnverbindungen**

Organozinnverbindungen werden im Bereich des Materialschutzes in der Holz-, Textil-, Bau- und Lederindustrie und als Biozid in bewuchshemmenden Unterwasseranstrichen eingesetzt. Innerhalb dieser Verbindungsklasse zeichnet sich Tributylzinn (TBT) durch besondere Toxizität aus und wird daher zu den toxischsten Umweltchemikalien gezählt, die jemals vom Menschen hergestellt worden sind (OEHLMANN et al., 1995).

TBT konnte in dieser Studie nur in einer entwässerten Schlammprobe mit einem Wert von 0,09 mg/kg TS nachgewiesen werden.

Am häufigsten konnte Monobutylzinn bzw. Dibutylzinn quantitativ erfasst werden, wobei die Ergebnisse im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte (<1 mg/kg TS) liegen.

Schlussfolgerungen

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass von den untersuchten endokrin wirksamen Substanzen 4-Nonylphenol (techn.), Nonylphenoethoxylate sowie Di(2-ethylhexyl)phthalat die mengenmäßig bedeutendsten Substanzen im Klärschlamm waren.

Die Konzentrationen der einzelnen Parameter im Nassschlamm entsprachen ungefähr den Gehalten im entwässerten Klärschlamm (bezogen auf die Trockensubstanz). Bei den Alkylphenolen zeigte sich die Tendenz, dass im entwässerten Klärschlamm die Konzentrationen geringer waren. Es war eine deutliche Abnahme der Gehalte von einigen untersuchten Substanzen (bezogen auf die Trockensubstanz) im kompostierten Klärschlamm gegenüber den nicht kompostierten Klärschlammproben zu erkennen. Da jedoch nur zwei kompostierte Klärschlammproben zur Verfügung standen, sind zur Bestätigung dieser Ergebnisse weitere Untersuchungen erforderlich. Auch bei einer ca. sechs Monate gelagerten, entwässerten Schlammprobe konnte teilweise eine Konzentrationsabnahme beobachtet werden.

Verfahrenstechnologische Aspekte

Es wurde versucht, Zusammenhänge zwischen den Eliminierungsraten innerhalb der Kläranlage bzw. den Konzentrationen im Schlamm und der Kläranlagencharakteristik bzw. der angewandten Verfahrenstechnik herzustellen. Da jedoch die untersuchten Kläranlagen unterschiedliche Technologien aufweisen, konnten bei der statistischen Auswertung keine Korrelationen zwischen Verfahrenstechnik, Eliminierungsraten bzw. Schlammkonzentrationen erhalten werden. Diese Aspekte werden in einem österreichischen, seit Juni 2000 laufenden Forschungsprojekt (ARCEM: Austrian Research Co-Operation on Endocrine Modulators) jedoch im Detail untersucht.

SUMMARY

In the last few years there have been an increasing number of reports on changes in the endocrine system of humans and animals that are believed to have been caused by hormonally active substances (e.g. industrial chemicals, drugs and pesticides). These xenohormones are alleged to have an impact on the health of humans and animals.

In 1998 the Federal Environment Agency examined the in- and outflow of Austrian sewage treatment plants for the presence of some xenohormones. The substances being studied were selected substances with a potential for estrogenic and androgenic action.

For the present nationwide study sewage sludges of the same Austrian sewage treatment plants were analysed for their concentrations of these selected substances. In most of these sewage treatment plants anaerobic sewage sludge stabilisation is used.

Different types of sewage sludge (wet sludge, dewatered sludge, composted sewage sludge) were examined and their substance concentrations were compared.

By way of summary one can conclude that of the endocrine modulators being studied, 4-nonylphenol (techn.), nonylphenoethoxylates and di(2-ethylhexyl)-phthalate were the most important substances in terms of quantity to be found in the sewage sludge.

The concentrations of the individual parameters in the wet sludge corresponded approximately to those found in the dewatered sewage sludge (dry substance). Alkylphenol concentrations tended to be lower in the dewatered sludge. In the composted sludge a clear decrease of some of the substances being studied was observed compared to the non-composted sewage sludge. Since only two samples of composted sewage sludge were available, further tests are necessary to prove these results. Some decrease in concentrations was also observed in a dewatered sludge sample after six months' storage.

2 EINLEITUNG

Zahlreiche Industriechemikalien, Arznei- und Pflanzenschutzmittel stehen im Verdacht, das hormonelle System von Mensch und Tier zu beeinflussen (OLLSON et al., 1998). Diese Stoffe können nach ihrem bestimmungsgemäßen Gebrauch in das Abwasser und in weiterer Folge in die Umwelt gelangen.

Auf Grundlage von Vorarbeiten des Umweltbundesamtes und einer Studie des Österreichischen Ökologieinstitutes (JANSSEN et al., 1998) wurden Leitsubstanzen mit östrogenem und androgenem Wirkungspotenzial für diese österreichweite Untersuchung ausgewählt. Auswahlkriterien waren u. a. Produktionszahlen, Einsatzbereiche, hormonelles Potenzial, Umweltverhalten, Bioakkumulation und Persistenz.

Publizierte Vorarbeiten des Umweltbundesamtes:

- **UBA-BE-151:** *Hormonell wirksame Substanzen im Zu- und Ablauf von Kläranlagen*
- **UBA-BE-150:** *Hormonell wirksame Substanzen in Fließgewässern*
- **UBA-BE-121:** *Nonylphenole in der Umwelt. Übersicht und erste Analyseergebnisse*
- **UBA-Monographie-95:** *Zur Situation der Verwertung und Entsorgung des kommunalen Klärschlammes in Österreich*
- **UBA-Tagungsband 19:** *Umweltchemikalien mit hormoneller Wirkung*
- **UBA-Monographie-121:** *Abwasser- und Klärschlammuntersuchungen in der Pilotkläranlage Entsorgungsbetriebe Simmering (EbS)*

Frühere Untersuchungen von 17 Kläranlagenzu- und abläufen sowie den betroffenen Vorflutern (UMWELTBUNDESAMT 1999a und 1999b) zeigten auf, dass auch in Österreich - trotz Reinigung der kommunalen und industriellen Abwässer in den Kläranlagen - Vorfluterbelastungen mit hormonell wirksamen Substanzen auftreten können. Einige Substanzen, die im Verdacht stehen, hormonelle Wirkungen zu haben, wurden auch in österreichischen Fließgewässern nachgewiesen.

Ergebnisse dieser und weiterer Untersuchungen sollen die Basis für eine umfassende ökologische Risikoabschätzung von hormonell wirksamen Substanzen darstellen. Es war daher zielführend, mit den nachfolgenden ausgewählten Substanzen weiterführende Expositionsuntersuchungen durchzuführen.

- Alkylphenole
- Nonylphenoethoxylate
- Butylhydroxyanisol
- Bisphenole
- Phthalate
- Organozinnverbindungen

Polychlorierte Biphenyle (PCB) wurden bei dieser Klärschlammstudie nicht mehr bestimmt, da in früheren Studien diese Verbindungen weder in Fließgewässern (UMWELTBUNDESAMT, 1999a) noch im Abwasser kommunaler Kläranlagen (UMWELTBUNDESAMT, 1999b) oder im kommunalen Klärschlamm (Kläranlagen mit Faultürmen, Plangröße > 30.000 EGW; UMWELTBUNDESAMT, 1997) in relevanten Mengen nachgewiesen werden konnten.

Die vorliegende Klärschlammuntersuchung behandelt die Fragestellung, in welchem Maß der Klärschlamm mit den oben angeführten Xenohormonen belastet ist und daher eventuell als Eintragspfad für diese Substanzen in die Umwelt wirken kann.

3 AUSWAHL DER KLÄRANLAGEN UND BESCHREIBUNG DER PROBEN, DES UNTERSUCHUNGSUMFANGES UND DER ANALYSEMETHODEN

3.1 Auswahl der Kläranlagen und Beschreibung der Proben

Im Frühjahr 1999 wurden die selben Kläranlagenbetreiber, die schon an einer Abwasserstudie (UMWELTBUNDESAMT, 1999b) teilnahmen, eingeladen, sich an dieser Klärschlammstudie zu beteiligen. Es handelt sich um 17 Kläranlagen, wovon 14 kommunale und drei industrielle Abwässer reinigen. In einem Fragebogen wurde nach Stoffstrom- und Verwertungsangaben gefragt.

Die meisten Klärschlämme werden zur landwirtschaftlichen Verwertung, zur Rekultivierung oder im Landschaftsbau herangezogen. Klärschlämme, die deponiert oder verbrannt werden, werden in der nachfolgenden tabellarischen Darstellung der Ergebnisse gekennzeichnet.

Wenn es möglich war, wurden verschiedene Klärschlammarten einer Kläranlage analysiert, um Informationen über das Verhalten der untersuchten Substanzen bei der Klärschlammaufbereitung erhalten zu können.

Die insgesamt 23 Proben setzen sich wie folgt zusammen und stammen aus folgenden Bundesländern:

Tabelle 1: Art der Klärschlammproben

Art der Klärschlammprobe	Anzahl
Nassschlamm	4 Proben
entwässerter Klärschlamm	17 Proben
kompostierter Klärschlamm	2 Proben

Tabelle 2: Anzahl der Kläranlagen pro Bundesland

Bundesland	Anzahl der beprobten Kläranlagen
Burgenland	1
Kärnten	2
Niederösterreich	2
Oberösterreich	3
Salzburg	2
Steiermark	2
Tirol	3
Vorarlberg	1
Wien	1

3.2 Probenahme und Probenaufbewahrung

Da Phthalate, die als Weichmacher in Kunststoffen eingesetzt werden, untersucht wurden, konnten nur Glasgebinde zur Probenahme und zum Probentransport verwendet werden. Diese wurden gewaschen und zusätzlich mit Aceton ausgespült, um eventuelle Blindwerte zu vermeiden.

In den Monaten Mai bis September 1999 wurden den Kläranlagenbetreibern die gereinigten Glasgebinde zugesandt, diese wurden mit den angeforderten Proben innerhalb von 24 Stunden an das Umweltbundesamt retourniert.

3.2.1 Probenaufbereitung

Die Proben wurden in einer tarierten Metallschale eingewogen (ca. 1500 g) und bei -18°C eingefroren. Sie wurden in weiterer Folge bis zur Gewichtskonstanz lyophilisiert, ausgewogen und in der Planetenmühle fein vermahlen. Bis zur Analyse wurden sie bei -18°C gelagert. Rückstellproben wurden bei -70°C im Ultrafreezer aufbewahrt.

3.3 Untersuchungsumfang

Alkylphenole

4-tert.-Butylphenol, 4-sec.-Butylphenol, 4-tert.-Amylphenol, 4-tert.-Octylphenol, 4-Nonylphenol (techn.)

Nonylphenoethoxylate

Nonylphenolmonoethoxylat (NP1EO), Nonylphenoldiethoxylat (NP2EO)

Butylhydroxyanisol

Bisphenole

Bisphenol A, Bisphenol F

Phthalate

Dimethylphthalat, Diethylphthalat, Dibutylphthalat, Butylbenzylphthalat, Di(2-ethylhexyl)phthalat, Dioctylphthalat

Organozinnverbindungen

Monobutyl-Sn-Kation (Monobutylzinn), Dibutyl-Sn-Kation (Dibutylzinn), Tributyl-Sn-Kation (Tributylzinn), Tetrabutyl-Sn-Kation (Tetrabutylzinn)

Weiters wurde bei allen Proben die Trockenmasse bei 105°C, der Glühverlust und der LAS-Gehalt (wichtige anionische Tenside, die mengenmäßig die bedeutendsten abiotischen Substanzen im Klärschlamm darstellen) bestimmt.

3.4 Analysenmethoden

- **Analytik von Alkylphenolen, Butylhydroxyanisol, Bisphenolen**
 - Zugabe von Surrogate (BPA d16)
 - Soxhlet-Extraktion mit Dichlormethan
 - Derivatisierung mit Acetanhydrid und Triethylamin
 - Säulenreinigung (Kieselgel, Florisil)
 - Lösungsmittelwechsel auf Isooctan
 - Bestimmung mittels Kapillargaschromatographie mit massenselektiver Detektion

- **Analytik von 4-Nonylphenol techn.**
 - Zugabe von Surrogate (BPA-d16)
 - Soxhlet-Extraktion mit Dichlormethan
 - Einengen am Turbovap
 - Lösungsmittelwechsel auf Acetonitril
 - Bestimmung mittels Hochleistungsflüssigchromatographie mit massenselektiver Detektion

- **Analytik von Nonylphenolmono- und diethoxylat (NP1EO, NP2EO)**
 - flüssig/flüssig Extraktion mit Dichlormethan
 - Einengung eines Aliquots am Stickstoffkonzentrator
 - Lösungsmitteltausch mit n-Hexan
 - Bestimmung mittels Hochleistungsflüssigkeitschromatographie mit Fluoreszenzdetektion

- **Analytik der LAS**
 - Anreicherung der Probe durch Festphasenextraktion
 - Elution mit Methanol
 - Eindampfen zur Trockene am Rotationsverdampfer
 - Aufnahme des Rückstandes in Methanol
 - flüssigchromatographische Trennung und Analyse mit UV-Detektion

- **Analytik der Phthalate**

- Dotation mit deuterierten Surrogates
- Soxhlet-Extraktion mit n-Hexan
- Extraktreinigung über Florisil und Aluminiumoxid
- Bestimmung mittels Gaschromatographie und massenselektiver Detektion

- **Analytik der Organozinnverbindungen**

- Extraktion mit konzentrierter Essigsäure
- Derivatisierung mit Natriumtetraethylborat
- Extraktion mit Isooctan
- Bestimmung mittels Kapillargaschromatographie und massenselektiver Detektion

Anmerkung:

Bei der Analytik von 4-Nonylphenol wurde als Standard technisches Nonylphenol eingesetzt, das zu ca. 9 Teilen aus 4-Nonylphenol und einem Teil aus 2-Nonylphenol besteht. Es ist daher in diesem Bericht immer 4-Nonylphenol techn. angeführt. 4-Nonylphenol selbst ist ein komplexes Gemisch aus Oligomeren und Isomeren. Bei Zitaten aus der Literatur wurde die dort verwendete Bezeichnung für diese Substanz übernommen.

Die Nachweisgrenzen (NG) und Bestimmungsgrenzen (BG) der einzelnen Analyte sind in der nachfolgenden Tabelle 3 angeführt.

Tabelle 3: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen (NG und BG) der untersuchten Parameter in Klärschlammproben

Parameter	NG (mg/kg TS)	BG (mg/kg TS)
Lyophilisationsrückstand	-	-
Trockenmasse 105°C	-	-
Glühverlust 550°C	-	-
Alkylphenole mit Ausnahme des 4-Nonylphenols	0,005	0,010
4-Nonylphenol techn.	0,010	0,030
Nonylphenolmonoethoxylat	0,020	0,065
Nonylphenoldiethoxylat	0,055	0,180
LAS	1,750	2,500
Butylhydroxyanisol	0,005	0,010
Bisphenol A	0,005	0,010
Bisphenol F	0,005	0,010
Dimethylphthalat	0,165	0,330
Diethylphthalat	0,110	0,215
Dibutylphthalat	0,100	0,205
Butylbenzylphthalat	0,100	0,200
Di(2-ethylhexyl)phthalat	0,095	0,190
Dioctylphthalat	0,140	0,280
Monobutyl-Sn-Kation	0,070	0,135
Dibutyl-Sn-Kation, Tributyl-Sn-Kation	0,040	0,090
Tetrabutyl-Sn-Kation	0,045	0,090

4 DARSTELLUNG DER UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

In den Tabellen 21 bis 40 (siehe Anhang 1) wurden die Ergebnisse aller Kläranlagen zusammengefasst und nach Substanzgruppen geordnet. In dieser Darstellungsform wurden auch Kenngrößen wie Minimum, Maximum, Mittelwert und Median angegeben.

In einer zweiten Darstellungsform wurden frühere Untersuchungsergebnisse der 17 Kläranlagenzu- und abläufe gemeinsam mit den Ergebnissen der vorliegenden Klärschlammuntersuchung angeführt (Tabellen 41 bis 57, siehe Anhang 2).

Soweit möglich wurde pro Kläranlage ein direkter Vergleich von Nassschlamm, entwässertem Schlamm und kompostiertem Klärschlamm getroffen (Tabellen 17-20, Kapitel 7).

Es ist zu beachten, dass Nassschlammproben, entwässerte Schlammproben und kompostierte Klärschlammproben zum gleichen Zeitpunkt, dadurch aber nicht von der gleichen Klärschlamm – Charge genommen wurden.

Da den Kläranlagenbetreibern Wahrung der Anonymität zugesichert wurde, sind die Kläranlagen codiert (siehe Tabelle 58, Anhang 3).

Alle Messergebnisse wurden in diesem Bericht folgendermaßen gerundet:

Werte <1 wurden auf 2 Kommastellen gerundet

Werte ≥ 1 und <10 wurden auf 1 Kommastelle gerundet

Werte ≥ 10 wurden auf ganze Zahlen gerundet

Ausnahme: Bestimmungs- und Nachweisgrenzen wurden auf 3 Kommastellen angegeben.

Zur Darstellung der Kenngrößen in dieser Studie wurden, wie in der Fachliteratur üblich, der *Median* und der *Mittelwert* sowie die *Minima* und *Maxima* der Messwerte angegeben. Es wurden alle ermittelten Werte berücksichtigt (ohne Ausreißertest).

Nur jene Messreihen wurden zur Berechnung der Kenngrößen herangezogen, bei denen mindestens die Hälfte der Messwerte oberhalb der *Bestimmungsgrenze* lagen. Dabei wurde für Werte, die zwischen der *Bestimmungs-* und *Nachweisgrenze* lagen und daher nicht quantifizierbar waren, die *Nachweisgrenze* eingesetzt. Substanzen, die nicht nachweisbar waren (n.n.), wurden bei der Berechnung gleich null gesetzt.

Ergebnisse von Proben, die nicht auswertbar waren, wurden mit n.a. bezeichnet.

Die Angabe der Ergebnisse erfolgte bei festen Proben in mg/kg TS und bei wässrigen Proben in ng/l.

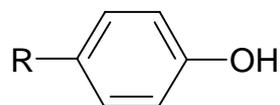
Ausnahme: Die LAS-Ergebnisse der belasteten Abwasserproben wurden in $\mu\text{g/l}$ angegeben.

5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION DER PARAMETER

5.1 Allgemeines

Nachfolgend werden die Untersuchungsergebnisse der einzelnen Parameter (siehe Tabellen 21-40, Anhang 1) beschrieben und diskutiert sowie mit Ergebnissen aus früheren Studien des Umweltbundesamtes und der Literatur verglichen. Zusätzlich zur Angabe der Untersuchungsergebnisse der Klärschlämme sind auch die wesentlichen Untersuchungsergebnisse der Kläranlagenzu- und abläufe (UMWELTBUNDESAMT, 1999b) angeführt.

5.2 Alkylphenole



R= C₈H₁₇ Octylphenol

R= C₉H₁₉ Nonylphenol

Alkylphenole (Nonyl-, Octylphenol) sind in der Umwelt weit verbreitete Industriechemikalien und Abbauprodukte der Alkylphenoethoxyate (APEO), einer wichtigen nicht-ionischen Tensidgruppe, deren Einsatzgebiet sehr vielfältig ist. Diese APEO werden vorwiegend in umweltoffenen Anwendungsbereichen eingesetzt.

In Österreich werden Nonylphenole nicht produziert. Die importierte Menge an Octyl- und Nonylphenolen und ihrer Salze beträgt ca. 120 Tonnen pro Jahr (JANSSEN, 1998), die Menge an Octyl- und Nonylphenolverbindungen beträgt ca. 470 Tonnen pro Jahr. Nicht eingeschlossen sind Verbindungen, die in Fertigwaren importiert werden (REISNER-OBERLEHNER, 1998). Nonylphenole haben ausgeprägte lipophile Eigenschaften und neigen daher zur Bioakkumulation. Sie binden sich an Klärschlamm und Sedimenten, was zu einer Anreicherung von Nonylphenol in diesen Bereichen führt. Nonylphenole sind vor allem unter anaeroben Bedingungen (z. B. bei der Schlammfäulung) weitgehend persistent.

In einer Untersuchung in Großbritannien konnte unterhalb von kommunalen Kläranlagen eine erhöhte Vitellogeninsynthese bei männlichen Forellen nachgewiesen werden, die eventuell auf die hohen Nonylphenolkonzentrationen in gereinigten Abwässern zurückzuführen ist (HARRIES et al., 1997).

Von den Alkylphenolen wurden neben 4-Nonylphenol auch 4-sec.-Butylphenol, 4-tert.-Butylphenol, 4-tert.-Pentylphenol, 4-iso-Pentylphenol und 4-Octylphenol als östrogen wirksam erkannt. Die Wirksamkeit dieser Alkylphenole ist um den Faktor 10⁴ – 10⁶ im Vergleich zu 17-β-Östradiol geringer (GÜLDEN et al, 1997).

Derzeit existieren keine nationalen gesetzlichen Regelungen für die Begrenzung der Emissionen und Immissionen von Alkylphenolen in Bezug auf kommunale Abwässer und Klärschlamm.

SCHNAAK et al. (1995) schlägt einen Normwert von 60 mg/kg TS im Klärschlamm vor und empfiehlt, dass zur Förderung des aeroben Abbaus von Nonylphenol möglichst eine Wartezeit von mindestens drei Monaten oder länger zwischen dem Anfall des Klärschlammes und der landwirtschaftlichen Ausbringung eingehalten werden sollte.

In einem Arbeitsdokument der EU wird ein Grenzwert von 50 mg/kg TS für die Summe von Nonylphenol und Nonylphenoethoxylaten im Klärschlamm diskutiert (SCOPE NEWSLETTER, 2000).

Untersuchungsergebnisse des Klärschlammes (siehe auch Tabellen 21-25, Anhang 1)

Tabelle 4: Untersuchungsergebnisse der Alkylphenole

Alkylphenole	Dim.	entw. Schlamm	Nassschlamm	komp. Schlamm
		Min. – Max.	Min. – Max.	Min. – Max.
4-tert.-Butylphenol	mg/kg TS	n.n. – 0,29	0,03 – 0,29	n.n. – 0,05
4-sec.-Butylphenol	mg/kg TS	n.n. – 0,70	n.n. – 0,17	n.n. – n.n.
4-tert.-Amylphenol	mg/kg TS	n.n. – 0,30	n.n. – 0,13	n.n. – n.n.
4-tert.-Octylphenol	mg/kg TS	<BG – 1,6	0,04 – 0,39	n.n. – 0,06
4-Nonylphenol techn.	mg/kg TS	0,46 – 65	0,37 – 70	2,5 – 7,5

- Untersuchungsergebnisse – entwässerter Schlamm:
 - Im entwässerten Klärschlamm konnte 4-Nonylphenol techn. in allen 17 Proben quantifiziert werden, wobei der Maximalwert 65 mg/kg TS betrug. Der errechnete Median lag bei 25 mg/kg TS, der Mittelwert bei 29 mg/kg TS.
 - 4-tert.-Butylphenol und 4-tert.-Octylphenol konnten jeweils in 16 von 17 Proben über der Bestimmungsgrenze von 0,010 mg/kg TS nachgewiesen werden. Bei 4-tert.-Butylphenol wurde ein Maximalwert von 0,29 mg/kg TS detektiert, der Median lag bei 0,09 mg/kg TS und der Mittelwert bei 0,12 mg/kg TS. Bei 4-tert.-Octylphenol lag der Maximalwert bei 1,6 mg/kg TS. Für diese Substanz betrug der errechnete Median 0,25 mg/kg TS und der Mittelwert 0,47 mg/kg TS.
 - 4-sec.-Butylphenol wurde in sechs Proben über der Bestimmungsgrenze von 0,010 mg/kg TS nachgewiesen. Der Maximalwert betrug 0,70 mg/kg TS.
 - 4-tert.-Amylphenol wurde nur in drei von 17 Proben quantifiziert, wobei der Maximalwert bei 0,30 mg/kg TS lag.

- Untersuchungsergebnisse – Nassschlamm:
 - 4-Nonylphenol techn., 4-tert.-Butylphenol und 4-tert.-Octylphenol wurden in allen vier Nassschlammproben quantifiziert. Der Maximalwert lag für 4-Nonylphenol techn. bei 70 mg/kg TS, für 4-tert.-Butylphenol bei 0,29 mg/kg TS und für 4-tert.-Octylphenol bei 0,39 mg/kg TS.
 - 4-tert.-Amylphenol konnte im Nassschlamm in drei von vier Proben über der Bestimmungsgrenze von 0,010 mg/kg TS detektiert werden. Der Maximalwert für diese Substanz betrug 0,13 mg/kg TS.
 - 4-sec.-Butylphenol wurde nur einmal im Nassschlamm mit einem Wert von 0,17 mg/kg TS quantifiziert.
- Untersuchungsergebnisse – kompostierter Klärschlamm:
 - 4-tert.-Butylphenol und 4-tert.-Octylphenol wurden in jeweils einer von zwei Proben nachgewiesen. 4-Nonylphenol techn. lag in beiden Proben über der Bestimmungsgrenze von 0,03 mg/kg TS, 4-sec.-Butylphenol und 4-tert.-Amylphenol waren nicht nachweisbar.

Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der Kläranlagenzu- und abwässer der Vorstudie (UMWELTBUNDESAMT, 1999b)

- In den Kläranlagenzu- und abläufen war 4-Nonylphenol techn. die dominierende Substanz. Die Maximalkonzentration im Zulauf betrug 9.382 ng/l, im Ablauf 1.890 ng/l. Weitere im Zu- und Ablaufwasser der Kläranlagen häufig nachgewiesene Alkylphenole waren 4-tert.-Butylphenol und 4-tert.-Octylphenol. Die 4-tert.-Butylphenol-Konzentration lag in den Ablaufproben im Bereich von 58 bis 448 ng/l, die des 4-tert.-Octylphenols im Bereich von 57 bis 241 ng/l.

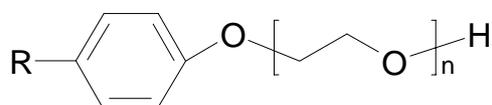
Auch im Klärschlamm war 4-Nonylphenol techn. die dominierende Substanz. Diese Substanz wurde in allen Proben nachgewiesen. 4-tert.-Butylphenol und 4-tert.-Octylphenol waren jene Alkylphenole, die neben dem 4-Nonylphenol techn. auch im Klärschlamm am häufigsten detektiert werden konnten.

Vergleich mit Literaturdaten

Tabelle 5: Literaturdaten von Nonylphenol im Klärschlamm

Land	Nonylphenol [mg/kg TS]	Literatur
Kanada	137 – 470	LEE & PEART, (1995)
Deutschland	22,1 – 1.193	JOBST, (1995)
Deutschland	90 – 1.300	ZELLNER & KALBFUS, (1997)
Italien	210	MARCOMINI et al., (1993)
Spanien	20 – 350	CHALAUX et al., (1994)
Spanien	400 – 1.200	WAHLBERG et al., (1990)
Großbritannien	256 – 824	SWEATMAN, (1994)
USA, N. Carolina	1,8 – 2,8	NAYLOR et al., (1992)
USA, L. Angeles	370	CHALAUX et al., (1994)
Österreich	13 – 57	UMWELTBUNDESAMT, (1998)
Österreich	2,9 – 5,8	UMWELTBUNDESAMT, (2000)

Im Vergleich mit der internationalen Literatur zeigt sich, dass die untersuchten Klärschlammproben geringe Konzentrationen an 4-Nonylphenol techn. aufweisen. Der vorgeschlagene Normwert von 60 mg/kg TS wurde in zwei Fällen überschritten (SCHNAAK et al., 1995).

5.3 Nonylphenoethoxylate (NP1EO, NP2EO)

R= C₉H₁₉ Nonylphenol n=1 Monoethoxylat

n=2 Diethoxylat

Alkylphenoethoxylate (APEO) gehören zu den weitest verbreiteten oberflächenaktiven Substanzen. Die technischen APEO bestehen aus einem komplexen Gemisch an Isomeren und Oligomeren. Der lipophile Alkylrest an der para-Position kann zahlreiche strukturelle Konfigurationen annehmen; die hydrophile Ethoxylatkette []_n weist unterschiedliche Längen auf.

Die weltweite Produktion an APEO lag 1996 bei etwa 500 Kilotonnen (NAYLOR et al., 1996), unter diesen sind die Nonylphenoethoxylate mit 80% Anteil die am häufigsten produzierten (WARHURST, 1995). In Österreich werden ca. 470 Tonnen Alkylphenole und Alkylphenoethoxylate pro Jahr verbraucht. Als Ausgangsstoff für die Herstellung von Nonylphenoethoxylaten dient technisches Nonylphenol.

Unter aeroben Bedingungen sind Nonylphenolmonoethoxylat (NP1EO) und Nonylphenoldiethoxylat (NP2EO) die wesentlichen Hauptabbauprodukte der Nonylphenoethoxylate. Eine völlige Deethoxylierung zum 4-Nonylphenol (NP) erfolgt nur unter anaeroben Bedingungen. NP1EO bzw. NP2EO sollen ebenfalls schwach östrogen wirksam sein (GÜLDEN et al., 1997).

Derzeit existieren keine nationalen gesetzlichen Regelungen für die Begrenzung der Emissionen und Immissionen von Nonylphenoethoxylaten in Bezug auf Kläranlagenabwässer oder Klärschlamm. In einem Arbeitsdokument der EU wird jedoch ein Grenzwert von 50 mg/kg TS für die Summe von Nonylphenol und Nonylphenoethoxylaten im Klärschlamm gefordert (SCOPE NEWSLETTER, 2000).

Untersuchungsergebnisse des Klärschlammes (siehe auch Tabellen 26-30, Anhang 1)

Tabelle 6: Untersuchungsergebnisse der Nonylphenoethoxylate

NPEO	Dim.	entw. Schlamm	Nassschlamm	komp. Schlamm
		Min. – Max.	Min. – Max.	Min. – Max.
NP1EO	mg/kg TS	0,15 – 23	1,4 – 10	0,12 – 0,25
NP2EO	mg/kg TS	<BG – 13	0,40 – 10	n.n. – <BG

- Untersuchungsergebnisse – entwässerter Schlamm:
 - In allen 17 Proben wurde NP1EO nachgewiesen. Die Berechnungen ergaben einen Mittelwert von 6,2 mg/kg TS und einen Median von 3,7 mg/kg TS, das Maximum lag bei 23 mg/kg TS.
 - Die NP2EO – Gehalte waren etwas geringer. 15 der 17 Proben wiesen Gehalte über der Bestimmungsgrenze von 0,180 mg/kg TS auf, wobei der Maximalwert 13 mg/kg TS betrug. Für diese Substanz wurde ein Mittelwert von 1,8 mg/kg TS und ein Median von 1,0 mg/kg TS errechnet.
- Untersuchungsergebnisse – Nassschlamm:
 - Sowohl NP1EO als auch NP2EO konnten in den vier untersuchten Nassschlammproben deutlich über den Bestimmungsgrenzen quantifiziert werden. Der Maximalwert betrug bei beiden Substanzen 10 mg/kg TS.
- Untersuchungsergebnisse – kompostierter Klärschlamm:
 - NP1EO konnte in beiden kompostierten Klärschlammproben quantifiziert werden. Der Maximalwert betrug 0,25 mg/kg TS. NP2EO wurde hingegen nicht über der Bestimmungsgrenze von 0,180 mg/kg TS erfasst.

Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der Kläranlagenzu- und abwässer der Vorstudie (UMWELTBUNDESAMT, 1999b)

- Im Zulaufwasser der untersuchten Kläranlagen konnten bemerkenswerte Maximalwerte von 11.400 ng/l NP1EO bzw. 27.500 ng/l NP2EO festgestellt werden. Im Ablauf nahm die Konzentration dieser Substanzen deutlich ab. Die maximale NP1EO-Konzentration betrug im Ablauf 860 ng/l, die maximale NP2EO-Konzentration 2.164 ng/l.

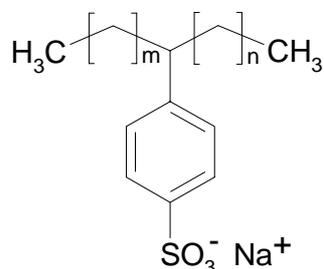
Vergleich mit Literaturdaten

Tabelle 7: Literaturdaten von Nonylphenoethoxylaten im Klärschlamm

Land	Klärschlamm [mg/kg TS]		Literatur
	NP1EO	NP2EO	
Deutschland	5 - 40	≤ 3	KUNKEL , (1987)
Spanien	20 - 190	1 - 50	WAHLBERG et al., (1990)
Schweiz	79	n.n.	AHEL & GIGER, (1985)
Schweiz	340 - 410	--	TSCHUI & BRUNNER, (1985)
Schweiz	220	30	MARCOMINI et al., (1987)
Schweiz	90 - 680	20 - 220	BRUNNER et al., (1988) MARCOMINI et al., (1986)
Österreich	5,3 – 30,5	5,8 – 16,8	UMWELTBUNDESAMT, (2000)

Im Vergleich zu den Literaturdaten sind die bei diesen Untersuchungen im Klärschlamm gefundenen NP1EO – Maximalkonzentrationen von 23 mg/kg TS für den entwässerten Schlamm bzw. 10 mg/kg TS für den Nassschlamm gering. Die NP2EO–Ergebnisse liegen im unteren Bereich der in der Literatur angegebenen Werte.

5.4 Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS)



LAS bestehen aus aromatischen Sulfonsäuren, die in para-Stellung mit linearen Alkylketten substituiert sind. Zur Gruppe der anionischen Tenside gehörend sind die LAS ein Gemisch verschiedener Isomere mit Kettenlängen zwischen 10 und 13 C-Atomen ($n + m = 7$ bis 10 C-Atome). Durch ihre sowohl polare ($-\text{SO}_3^-$ -Gruppe) wie auch apolare Struktur (C-Kette) sind sie einerseits wasserlöslich und zeigen andererseits auch eine Affinität zu Fetten, wodurch sie ihre oberflächenaktiven Eigenschaften erhalten.

LAS stellen mengenmäßig die bedeutendsten abiotischen Substanzen im Klärschlamm dar. Weltweit werden rund 1,5 Mio. Tonnen LAS pro Jahr produziert (UWELTBUNDESAMT, 2000), daher wurde diese Substanzgruppe in das Untersuchungsprogramm aufgenommen, obwohl sie nicht endokrin wirksam ist.

Literaturdaten zu Folge (GIGER et al., 1987) werden in der Kläranlage 27 % der LAS in der Vorklärung im Schlamm abgezogen. Der Rest wird im Belebungsbecken zu ca. 80 % aerob abgebaut.

Derzeit existieren keine nationalen gesetzlichen Regelungen für die Begrenzung der Emissionen und Immissionen von LAS in Bezug auf Kläranlagenabwässer und Klärschlamm. In einem Arbeitsdokument der EU wird jedoch ein Grenzwert von 2.600 mg/kg TS für LAS im Klärschlamm gefordert (SCOPE NEWSLETTER, 2000).

Untersuchungsergebnisse des Klärschlammes (siehe auch Tabellen 26-30, Anhang 1)

Tabelle 8: Untersuchungsergebnisse der LAS

LAS	Dim.	entw. Schlamm	Nassschlamm	komp. Schlamm
		Min. – Max.	Min. – Max.	Min. – Max.
LAS	mg/kg TS	65 – 13.092	52 – 8.519	36 – 130

- Untersuchungsergebnisse – entwässerter Schlamm:
 - In den 17 Klärschlammproben wurden LAS-Werte ermittelt, die deutlich über der Bestimmungsgrenze von 2,5 mg/kg TS lagen. Das Maximum betrug 13.092 mg/kg TS. Es wurden ein Median von 1.621 mg/kg TS und ein Mittelwert von 3.490 mg/kg TS berechnet.

- Untersuchungsergebnisse – Nassschlamm:
 - LAS konnten auch im Nassschlamm in den vier untersuchten Proben über der Bestimmungsgrenze detektiert werden, wobei der maximale LAS-Gehalt 8.519 mg/kg TS betrug.
- Untersuchungsergebnisse – kompostierter Klärschlamm:
 - LAS waren in beiden kompostierten Klärschlammproben nachweisbar. Der Maximalwert lag bei 130 mg/kg TS.

Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der Kläranlagenzu- und abwässer der Vorstudie (UMWELTBUNDESAMT, 1999b)

- Die Kläranlagenzu- und abwässer wurden nicht auf den LAS-Gehalt untersucht.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass LAS in allen untersuchten Klärschlammproben nachgewiesen werden konnten, wobei die Konzentrationen dieser Substanzen in den kompostierten Schlammproben deutlich abnahmen. Die Maximalwerte überschreiten eindeutig den von der EU in einem Arbeitsdokument diskutierten Grenzwert von 2.600 mg/kg TS.

Vergleich mit Literaturdaten

Untersuchungen aus dem Jahr 1986 von 29 Kläranlagen in der Ostschweiz zeigten Messwerte von 50 bis 11.900 mg LAS pro kg Trockensubstanz (GIGER et al., 1987). DRESCHER-KADEN et al., (1989) berichteten über LAS Werte im Klärschlamm von Kläranlagen der Schweiz und Deutschland im Bereich von 15 bis 16.000 mg/kg TS.

Aus einer früheren Untersuchung (UMWELTBUNDESAMT, 1995a) des Zu- und Ablaufes zweier verschiedener kommunaler Kläranlagen (6 Stichproben zu verschiedenen Zeiten) geht hervor, dass LAS in der Kläranlage zum überwiegenden Teil abgebaut werden (siehe Tabelle 9).

Tabelle 9: Abbau von LAS in Kläranlagen (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, 1995a)

LAS	Dim.	Minimum	Maximum
LAS (Zulauf)	µg/l	400	3.500
LAS (Ablauf)	µg/l	11	55

Weiters untersuchte das Umweltbundesamt Klärschlamm von 16 kommunalen Kläranlagen (Klärschlammstabilisierung mit Faulturm; UMWELTBUNDESAMT, 1995b). Darüber hinaus wurden von der Pilotkläranlage Entsorgungsbetriebe Simmering Klärschlammproben auf ihren LAS-Gehalt analysiert (4 Proben; UMWELTBUNDESAMT, 2000). Es wurden folgende Resultate für LAS erzielt:

Tabelle 10: LAS in Klärschlämmen (Quellen: UMWELTBUNDESAMT, 1995b und 2000)

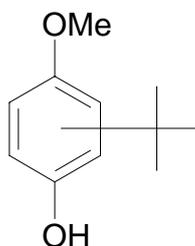
LAS	Dim.	Minimum	Maximum
LAS (n=16)	mg/kg TS	2.199	17.955
LAS (n=4)	mg/kg TS	149	4.218

Die in der vorliegenden Studie ermittelten Werte entsprechen den in der Literatur angegebenen Ergebnissen (GIGER et al., 1987; DRESCHER-KADEN et al., 1989).

LAS sind die nach heutigem Wissen am höchsten konzentrierte xenobiotische organische Substanzgruppe im Klärschlamm. Aus ökotoxikologischer Sicht scheint den LAS bezüglich der vorhandenen akuten Toxizität für Regenwürmer Bedeutung zuzukommen. Ein Klärschlammgrenzwert bzw. Richtwert für diesen Parameter gibt es derzeit in Österreich nicht. Wie bereits erwähnt, diskutiert die EU allerdings über einen Grenzwert von 2.600 mg/kg TS für LAS im Klärschlamm (SCOPE NEWSLETTER, 2000).

5.5 Butylhydroxyanisol (BHA)

Diese Substanz ist ein häufig verwendetes, lebensmittelrechtlich zugelassenes Antioxidans (E 320) für Fette und Öle sowie fetthaltige Lebensmittel. BHA wird auch in Kosmetika eingesetzt.



BHA wies im MCF7-Zellen-Test ein geringes östrogenes Potenzial auf. Dieses ist um den Faktor 10^6 bis 10^7 schwächer als die östrogene Wirkung von 17- β -Östradiol. Es ist noch abzuklären, ob diese Substanz auch in in-vivo-Tests eine östrogene Wirkung aufweist (GÜLDEN et al., 1997).

Derzeit existieren keine nationalen gesetzlichen Regelungen für die Begrenzung der Emissionen und Immissionen von Butylhydroxyanisol in Bezug auf Kläranlagenabwasser und Klärschlamm.

Untersuchungsergebnisse des Klärschlamm (siehe auch Tabellen 26-30, Anhang 1)

Tabelle 11: Untersuchungsergebnisse von Butylhydroxyanisol

BHA	Dim.	entw. Schlamm Min. – Max.	Nassschlamm Min. – Max.	komp. Schlamm Min. – Max.
BHA	mg/kg TS	n.n. – 0,06	n.n. – 0,02	n.n. – n.n.

- Untersuchungsergebnisse – entwässerter Schlamm:
 - In vier von 17 Proben konnte Butylhydroxyanisol über der Bestimmungsgrenze von 0,010 mg/kg TS nachgewiesen werden. Der Maximalwert betrug 0,06 mg/kg TS.
- Untersuchungsergebnisse – Nassschlamm:
 - Im Nassschlamm wurde nur bei einer von vier Proben ein Resultat über der Bestimmungsgrenze ermittelt. Der Wert betrug 0,02 mg/kg TS.
- Untersuchungsergebnisse – kompostierter Klärschlamm:
 - In den zwei kompostierten Klärschlammproben war Butylhydroxyanisol nicht nachweisbar.

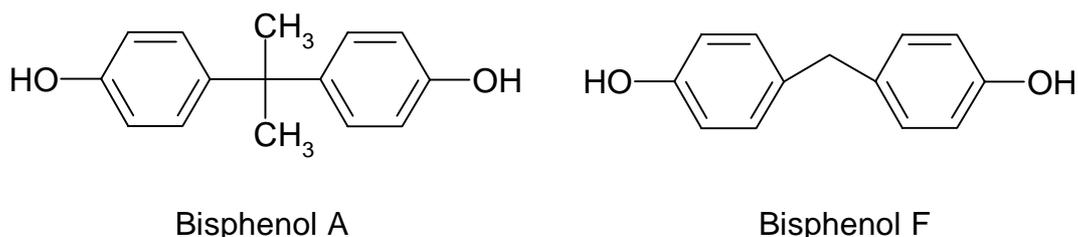
Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der Kläranlagenzu- und abwässer der Vorstudie (UMWELTBUNDESAMT, 1999b)

- Das Antioxidans war sowohl im Zu- als auch im Ablauf der Kläranlagen nachweisbar. In 13 von 14 Kläranlagenzuläufen und in 9 von 17 Abläufen konnte BHA über der Bestimmungsgrenze von 50 ng/l detektiert werden. Das Maximum im Ablauf betrug 137 ng/l.

Bei diesem Vergleich fällt auf, dass Butylhydroxyanisol im Klärschlamm nicht so häufig nachgewiesen werden konnte wie in den Kläranlagenzu- und abläufen. Nur in fünf der 23 Klärschlammproben konnte das Antioxidans quantifiziert werden.

5.6 Bisphenol A (BPA) und Bisphenol F (BPF)

Bisphenol A gehört zu den weltweit meistproduzierten Chemikalien und wird u. a. als Antioxidans in Kunststoffen bzw. als Ausgangsmaterial für die Herstellung von Polycarbonaten und Epoxidharzen verwendet. Bisphenol F wird ebenfalls für die Herstellung von Polycarbonaten und Epoxidharzen verwendet. Besonders günstige Eigenschaften haben Harzgemische von Bisphenol A und Bisphenol F.



In Österreich wurden im Jahre 1994 ungefähr 1.000 Tonnen Bisphenol A, ca. 15.000 Tonnen Polycarbonate sowie 13.000 Tonnen Epoxidharze importiert (JANSSEN et al., 1998). Die Polycarbonatmenge bezieht sich nur auf die Verwendung von Polycarbonatgranulat bzw. Flacherzeugnissen. Polycarbonate werden jedoch auch für Plastikflaschen und zur Auskleidung von Konservendosen verwendet. Angesichts der hohen Produktionsmengen liegen erstaunlich wenig Daten über das Verhalten und das Vorkommen von Bisphenol A in der Umwelt vor.

BPA erwies sich sowohl in in-vitro als auch in in-vivo-Untersuchungen als schwach östrogen wirksame Substanz (GÜLDEN et al., 1997). Die Wirksamkeit von Bisphenol A ist ca. um den Faktor 10^4 geringer als die von 17- β -Östradiol.

Derzeit existieren keine nationalen gesetzlichen Regelungen für die Begrenzung der Emissionen und Immissionen von Bisphenol A in Bezug auf Kläranlagenabwässer und Klärschlamm.

Untersuchungsergebnisse des Klärschlammes (siehe Tabellen 26-30, Angang 1)

Tabelle 12: Untersuchungsergebnisse der Bisphenole

Bisphenole	Dim.	entw. Schlamm	Nassschlamm	komp. Schlamm
		Min. – Max.	Min. – Max.	Min. – Max.
Bisphenol A	mg/kg TS	0,06 – 1,1	0,21 – 1,0	n.n. – 0,10
Bisphenol F	mg/kg TS	n.n. – 0,07	n.n. – n.n.	n.n. – 0,03

- Untersuchungsergebnisse – entwässerter Schlamm:
 - In allen 17 Proben lag der Bisphenol A - Gehalt über der Bestimmungsgrenze von 0,010 mg/kg TS. Der Maximalwert betrug 1,1 mg/kg TS. Der Median lag bei 0,28 mg/kg TS, der Mittelwert bei 0,37 mg/kg TS.
 - Bisphenol F hingegen wurde nur in sechs Proben über der Bestimmungsgrenze von 0,010 mg/kg TS identifiziert. Das Maximum lag bei 0,07 mg/kg TS.

- Untersuchungsergebnisse – Nassschlamm:
 - Auch in den vier Nassschlammproben konnte Bisphenol A quantifiziert werden (Maximalwert: 1,0 mg/kg TS).
 - Bisphenol F konnte in keiner der Proben nachgewiesen werden.
- Untersuchungsergebnisse – kompostierter Klärschlamm:
 - Bisphenol A wurde in einer der beiden kompostierten Proben mit einem Wert von 0,10 mg/kg TS nachgewiesen.
 - Bisphenol F wurde ebenfalls nur in einer Probe detektiert. Der Wert betrug 0,03 mg/kg TS.

Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der Kläranlagenzu- und abwässer der Vorstudie (UMWELTBUNDESAMT, 1999b)

- Bisphenol A wurde in den Kläranlagenzuläufen mit einem Maximalwert von 8.425 ng/l nachgewiesen. Die Bisphenol A-Konzentrationen im Ablaufwasser der Kläranlagen waren jedoch deutlich geringer. Das Maximum im Ablauf betrug 884 ng/l. Bisphenol F wurde in dieser Untersuchung nicht analysiert.

Bisphenol A konnte in allen Proben der Kläranlagenzu- und abwässer sowie mit Ausnahme von einer kompostierten Schlammprobe in allen Klärschlammproben nachgewiesen werden. Bisphenol F hingegen wurde im Klärschlamm in geringeren Mengen und weniger häufig detektiert.

Vergleich mit Literaturdaten

Tabelle 13: Bisphenol A-Werte im Klärschlamm (Quelle: WENZEL et al. 1998; UMWELTBUNDESAMT 2000*)

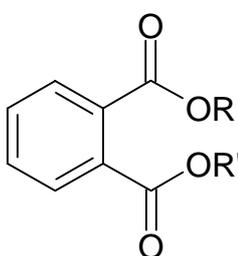
Parameter	Dim.	Probenanzahl	Min.	Max.	Median	MW
Bisphenol A, komm. Kläranlagen; <50.000 EW; keine Spitäler	mg/kg TS	16	0,01	0,78	0,17	0,24
Bisphenol A, komm. Kläranlage; >50.000 EW; mit Spitälern	mg/kg TS	7	0,14	0,86	0,36	0,39
Bisphenol A, komm. Kläranlage ohne Spitäler	mg/kg TS	9	0,02	1,4	0,18	0,29
Bisphenol A, industr. Kläranlage	mg/kg TS	1	0,37	0,37	-	-
Bisphenol A *, komm. Kläranlage; >1.000.000 EW	mg/kg TS	4	0,16	0,81	-	-

*:Quelle: UMWELTBUNDESAMT 2000

Die für Bisphenol A ermittelten Werte liegen in einer Größenordnung, die durch Untersuchungen von WENZEL et al. (1998) und durch vorhergehende Untersuchungen des Umweltbundesamtes bestätigt wird. Der Bisphenol A-Gehalt ist somit im Klärschlamm, im Hinblick auf mögliche Umweltauswirkungen, beachtenswert.

In einer früheren Studie des Umweltbundesamtes konnte Bisphenol F im Klärschlamm nicht nachgewiesen werden (UMWELTBUNDESAMT, 2000).

5.7 Phthalate



Phthalsäureester

Phthalsäureester gelangen u. a. in Kunststoffen (als Weichmacher), Pestiziden, Kosmetika und Parfums zur Verwendung. Sie sind auf Grund ihrer eingesetzten Menge wichtige Industriechemikalien.

In Österreich werden Phthalate nicht hergestellt. 1994 wurden jedoch 7.500 Tonnen Phthalate importiert. Zusätzlich werden Phthalate auch in fertigen Produkten eingeführt. Das Ökologie-Institut Wien schätzt daher die jährlich in Österreich in Umlauf gebrachte Phthalatmenge auf ca. 15.000 bis 20.000 Tonnen (JANSSEN et al., 1998).

Das mengenmäßig wichtigste Phthalat ist das Di(2-ethylhexyl)phthalat. Auf Grund seiner hohen Lipophilie und geringen Wasserlöslichkeit wird Di(2-ethylhexyl)phthalat von aquatischen Organismen bioakkumuliert (WAMS, 1987). Butylbenzylphthalat und Dibutylphthalat sind besser wasserlöslich und daher weniger lipophil. Diese Phthalate stehen auf Grund positiver in-vitro-Tests im Verdacht, schwach östrogen wirksam zu sein (JOBLING et al., 1995; SOTO et al., 1995). Neuere in-vivo-Untersuchungen (Uterusgewichts-Test an Ratten) konnten diese Ergebnisse jedoch nicht bestätigen, so dass die Frage bezüglich der endokrinentoxischen Relevanz dieser Phthalsäureester noch offen ist (GÜLDEN et al., 1997).

Derzeit existieren keine nationalen gesetzlichen Regelungen für die Begrenzung der Emissionen und Immissionen von Phthalaten in Bezug auf kommunale Abwässer und Klärschlamm. In einem Arbeitsdokument der EU wird für Di(2-ethylhexyl)phthalat im Klärschlamm ein Grenzwert von 100 mg/kg TS gefordert (SCOPE NEWSLETTER, 2000).

Untersuchungsergebnisse des Klärschlamm (siehe Tabellen 31-35, Anhang 1)

Tabelle 14: Untersuchungsergebnisse der Phthalate

Phthalate	Dim.	entw. Schlamm Min. – Max.	Nassschlamm Min. – Max.	komp. Schlamm Min. – Max.
Dimethylphthalat	mg/kg TS	n.n. – <BG	n.n. – n.n.	n.n. – n.n.
Diethylphthalat	mg/kg TS	n.n. – 4,4	n.n. – 0,31	n.n. – n.n.
Dibutylphthalat	mg/kg TS	n.n. – 0,69	n.n. – 0,31	n.n. – n.n.
Butylbenzylphthalat	mg/kg TS	n.n. – 0,27	n.n. – n.n.	n.n. – n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	mg/kg TS	n.n. – 47	n.n. – 42	2,7 – 14
Diocetylphthalat	mg/kg TS	n.n. – n.n.	n.n. – n.n.	n.n. – n.n.

- Untersuchungsergebnisse – entwässerter Schlamm:
 - Dimethylphthalat und Diocetylphthalat konnten in keiner der 17 Proben über den Bestimmungsgrenzen von 0,330 mg/kg TS bzw. 0,280 mg/kg TS nachgewiesen werden.
 - Butylbenzylphthalat konnte nur in einer und Dibutylphthalat nur in vier Schlammproben über den Bestimmungsgrenzen von 0,200 mg/kg TS bzw. 0,205 mg/kg TS quantifiziert werden. Der Maximalwert für Dibutylphthalat lag bei 0,69 mg/kg TS.
 - Diethylphthalat konnte in sieben Proben über der Bestimmungsgrenze von 0,215 mg/kg TS mit einem Maximalwert von 4,4 mg/kg TS ermittelt werden.
 - In 16 Proben wurde Di(2-ethylhexyl)phthalat nachgewiesen, wobei das Maximum bei 47 mg/kg TS lag. Der berechnete Median betrug 7,2 mg/kg TS, der Mittelwert betrug 16 mg/kg TS.
- Untersuchungsergebnisse – Nassschlamm:
 - Im Nassschlamm konnten Dimethylphthalat, Butylbenzylphthalat und Diocetylphthalat nicht nachgewiesen werden.
 - Diethylphthalat wurde in zwei der vier Proben analysiert, das Maximum lag bei 0,31 mg/kg TS. Dibutylphthalat und Di(2-ethylhexyl)phthalat konnten in drei Nassschlammproben bestimmt werden. Der Maximalwert betrug für Dibutylphthalat 0,31 mg/kg TS und für Di(2-ethylhexyl)phthalat 42 mg/kg TS.
- Untersuchungsergebnisse – kompostierter Klärschlamm:
 - Mit Ausnahme des Di(2-ethylhexyl)phthalat waren die Phthalate im kompostierten Klärschlamm nicht nachweisbar.

Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der Kläranlagenzu- und abwässer der Vorstudie (UMWELTBUNDESAMT, 1999b)

- Die höchsten Konzentrationen der untersuchten Phthalate im Zulauf der Kläranlagen erreichten Diethylphthalat mit einem Maximum von 26.000 ng/l, Dimethylphthalat mit einem Maximum von 17.000 ng/l und Di(2-ethylhexyl)phthalat mit einem Maximum von 7.500 ng/l. Im Ablauf der Kläranlagen war nur Dimethylphthalat mit einem Median (n = 17) von 1.000 ng/l regelmäßig detektierbar. Die im Verdacht stehenden östrogen wirksamen Phthalsäureester Dibutylphthalat bzw. Butylbenzylphthalat waren in den Kläranlagenabläufen nicht oder nur vereinzelt über den Bestimmungsgrenzen von 500 bzw. 400 ng/l nachweisbar.

Von den drei Substanzen Diethylphthalat, Di(2-ethylhexyl)phthalat und Dimethylphthalat, die im Zulauf die höchsten Konzentrationen aufwiesen, konnte Di(2-ethylhexyl)phthalat im Klärschlamm eindeutig am häufigsten und in den größten Mengen nachgewiesen werden. Dimethylphthalat wurde in den Klärschlammproben nicht nachgewiesen. Diese Substanz wurde allerdings im Ablauf der Kläranlagen regelmäßig detektiert.

Vergleich mit Literaturdaten

Tabelle 15: Phthalate im Klärschlamm (Quellen: FURTMANN, 1993; UMWELTBUNDESAMT, 2000*)

Parameter	Dim.	Min. – Max.	Min. – Max.*
Dimethylphthalat	mg/kg TS	941	n.n.
Diethylphthalat	mg/kg TS	0,5 – 3.780	< 0,14
Dibutylphthalat	mg/kg TS	0,7 – 3.210	< 0,18 – 0,19
Butylbenzylphthalat	mg/kg TS	2 – 12.800	n.n. – < 0,80
Di-(2-ethylhexyl)phthalat	mg/kg TS	3 – 58.300	23,4 – 34,4
Dioctylphthalat	mg/kg TS	0,7 – 2.610	n.n.

Im Vergleich mit der Literatur (FURTMANN, 1993) zeigt sich, dass die untersuchten Klärschlammproben sehr geringe Konzentrationen an Phthalaten aufweisen. Die in dieser Untersuchung erhaltenen Resultate entsprechen weitgehend den Ergebnissen einer bereits früher durchgeführten Klärschlammuntersuchung des Umweltbundesamtes (UMWELTBUNDESAMT, 2000).

5.8 Organozinnverbindungen



R...Butyl-, Heptyl-, Phenyl-

X...Anion, meist Halogenid

Organozinnverbindungen werden seit Mitte des letzten Jahrhunderts hergestellt und seit 1950 industriell verwendet.

Innerhalb dieser Verbindungsklasse zeichnet sich Tributylzinn (TBT) durch eine besonders hohe Toxizität aus und wird daher zu den toxischsten Umweltchemikalien gezählt, die jemals vom Menschen hergestellt worden sind (OEHLMANN et al., 1995). Tributylzinnverbindungen (TBT) sind organische Derivate des tetravalenten Zinns. Wegen seiner hohen Effektivität als Biozid wird TBT in zahlreichen Anwendungsbereichen eingesetzt, so in Antifoulingfarben, im Holz- und Materialschutz, in Dichtungs- und Vergussmassen, in Anstrichen und Klebstoffen sowie in Dämmstoffen (GÜLDEN et al., 1997). TBT werden hauptsächlich durch Auslaugen der Antifouling-Anstriche in die Oberflächengewässer eingetragen, im Materialschutz verwendete TBT können auch über kommunale Abwässer in die Umwelt gelangen.

Seit Beginn der 70er Jahre wurden zunehmend negative Effekte von TBT auf aquatische Organismen bekannt. Tributylzinn ist die bisher einzige androgen wirkende, nicht steroidale Substanz. Sie kann speziell bei weiblichen Meeresschnecken die Ausbildung männlicher Geschlechtsorgane induzieren (Imposex). Diese Wirkung konnte schon bei einer TBT-Konzentration von 5 ng/l (bezogen auf Zinn) festgestellt werden (GÜLDEN et al., 1997).

Tributylzinnverbindungen werden fotolytisch und vor allem biotisch zu Dibutyl-, Monobutyl- und anorganischen Zinnverbindungen abgebaut (OEHLMANN et al., 1995).

In Österreich sind Antifouling, die zinnorganische Verbindungen enthalten, durch die *Verordnung über das Verbot bestimmter gefährlicher Stoffe in Unterwasser-Anstrichmitteln* (BGBl. Nr. 577/1990), verboten.

Derzeit existieren keine nationalen gesetzlichen Regelungen für die Begrenzung der Emissionen und Immissionen von Organozinnverbindungen in Bezug auf Kläranlagenabwässer und Klärschlamm.

Untersuchungsergebnisse des Klärschlammes (siehe auch Tabellen 36-40, Anhang 1)

Tabelle 16: Untersuchungsergebnisse der Organozinnverbindungen

Organozinnverbindungen	Dim.	entw. Schlamm Min. – Max.	Nassschlamm Min. – Max.	komp. Schlamm Min. – Max.
Monobutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n. – 0,53	n.n. – 0,27	<BG – <BG
Dibutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n. – 2,0	n.n. – 0,39	n.n. – n.n.
Tributyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n. – 0,09	n.n. – n.n.	n.n. – n.n.
Tetrabutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n. – n.n.	n.n. – n.n.	n.n. – n.n.

- Untersuchungsergebnisse – entwässertes Schlamm:
 - Monobutylzinn und Dibutylzinn konnten in 13 von 17 untersuchten Proben über den Bestimmungsgrenzen nachgewiesen werden. Das Maximum für Monobutylzinn lag bei 0,53 mg/kg TS, es wurde ein Mittelwert von 0,24 mg/kg TS errechnet. Für Dibutylzinn betrug der Maximalwert 2,0 mg/kg TS und der Mittelwert 0,28 mg/kg TS.
 - Tributylzinn konnte nur in einer entwässerten Schlammprobe mit einem Wert von 0,090 mg/kg TS ermittelt werden. Tetrabutylzinn war im entwässerten Schlamm nicht nachweisbar.
- Untersuchungsergebnisse – Nassschlamm:
 - Im Nassschlamm wurde in zwei von vier Proben Monobutylzinn und in drei Proben Dibutylzinn quantifiziert. Das Maximum für Monobutylzinn lag bei 0,27 mg/kg TS, für Dibutylzinn bei 0,39 mg/kg TS. Tributylzinn und Tetrabutylzinn waren im Nassschlamm nicht nachweisbar.
- Untersuchungsergebnisse – kompostierten Klärschlamm:
 - Es konnten keine Analysenwerte über den Bestimmungsgrenzen detektiert werden.

Vergleich mit den Untersuchungsergebnissen der Kläranlagenzu- und abwässer der Vorstudie (UMWELTBUNDESAMT, 1999b)

- Tributylzinn konnte im Zulauf in acht Proben quantifiziert werden. Die höchste Tributylzinnkonzentration im Zulauf der untersuchten Kläranlagen betrug 20 ng/l. Im Ablaufwasser konnte das hochtoxische Tributylzinn viermal und Dibutylzinn einmal über der Bestimmungsgrenze von 10 ng/l im Ablaufwasser der Kläranlagen nachgewiesen werden. Monobutylzinn war die im Ablaufwasser am häufigsten detektierte Organozinnverbindung (fünf von 17 Proben > BG von 10 ng/l).

In den Klärschlammproben waren Monobutylzinn und Dibutylzinn am häufigsten nachweisbar. Tributylzinn konnte in dieser Studie nur in einer entwässerten Schlammprobe mit einem Wert von 0,09 mg/kg TS nachgewiesen werden.

Vergleich mit Literaturdaten

Organozinnverbindungen werden überwiegend an Schwebstoff-, Sediment- und Bodenpartikel adsorbiert (> 80 %). Eine massive Anreicherung in Sedimenten und im Klärschlamm ist die Folge.

In Klärschlammproben aus 27 verschiedenen Kläranlagen in der Schweiz wurden Tributylzinn – Konzentrationen im Bereich von 0,05 bis 0,4 mg/kg TS nachgewiesen (BÄTSCHER et al., 1999).

Klärschlammuntersuchungen über zinnorganische Verbindungen liegen auch von KALBFUS et al. (1989) aus Deutschland und von FENT et al. (1991) aus der Schweiz vor. Die durchschnittlichen Belastungen von Klärschlämmen an Organozinnverbindungen liegen unter 1 mg/kg TS. Der positive Nachweis in allen untersuchten Proben deutet auf eine größere Verbreitung hin. Bei einer Untersuchung von Brandenburger Klärschlämmen wurde eine permanente Belastung (Höchstwert: 9,8 mg/kg TS) mit Tributylzinn festgestellt (SCHNAAK et al., 1995).

Im Vergleich mit der internationalen Literatur zeigt sich, dass die in dieser Untersuchung ermittelten Konzentrationen an Organozinnverbindungen im Bereich der in der Literatur angegebenen Werte (<1 mg/kg TS) liegen.

Bei einer bereits früher durchgeführten Studie des Umweltbundesamtes (vier Proben; UMWELTBUNDESAMT, 2000) wurde für Monobutylzinn ein Maximalwert von 0,16 mg/kg TS und für Dibutylzinn ein Maximalwert von 0,11 mg/kg TS detektiert. Tributylzinn war damals nur in einer Probe mit einem Wert von 0,19 mg/kg TS nachweisbar. Tetrabutylzinn wurde zweimal nachgewiesen, das Maximum betrug 0,1 mg/kg TS.

6 KLÄRANLAGENBEZOGENE UNTERSUCHUNGSERGEBNISSE

Es wurden für jede Kläranlage die Daten dieser Klärschlammstudie zusammen mit den Untersuchungsergebnissen der Kläranlagenzu- und abläufe einer früheren Studie (UMWELTBUNDESAMT, 1999b) dargestellt (Tabellen 41-57, Anhang 2). Bei dieser Darstellung sind die unterschiedlichen Probenahmezeitpunkte zu beachten.

In einer Fragebogenaktion wurden nähere Informationen über die Kläranlagen erfragt. Ausgewählte Angaben wurden im Anschluss an die Darstellung der Untersuchungsergebnisse der einzelnen Anlagen angeführt. Da nicht immer alle Fragen beantwortet wurden, ist die Datenangabe bei einigen Kläranlagen lückenhaft. Es wurde darauf geachtet, die Wahrung der Anonymität zu gewährleisten, daher wurden die Zahlenwerte bei den Kläranlagenangaben gerundet.

Die verwendeten Abkürzungen sind im Abkürzungsverzeichnis (Anhang 5) aufgelistet.

Verfahrenstechnologische Aspekte

Es wurde versucht, Zusammenhänge zwischen den Eliminierungsraten bzw. den Konzentrationen der untersuchten Substanzen im Schlamm und der Kläranlagencharakteristik bzw. angewandter Verfahrenstechnik herzustellen. Für die Datenauswertung wurde SPSS 10.0 für Windows verwendet. Es wurde ein Ausreissertest durchgeführt, der allerdings bei dem vorhandenen Datenmaterial keine Aussage erlaubte. Weiters wurde eine Überprüfung auf Normalverteilung durchgeführt. Anschließend wurde mit Kreuzkorrelationen festgestellt, ob zwischen den einzelnen Erhebungsgruppen ein Zusammenhang besteht (Korrelationskoeffizient nach Pearson als Maß für den Zusammenhang). Eine statistische Auswertung ergab jedoch keine signifikanten Zusammenhänge (Signifikanzniveau von 0,01 bzw. 0,05) zwischen Eliminierungsraten, Ablaufkonzentrationen, Konzentrationen im Klärschlamm und der jeweiligen Kläranlagencharakteristik. Eine Ursache dafür könnte darin liegen, dass die untersuchten Fälle für diese Monitoringuntersuchung zwar ein breites Spektrum unterschiedlicher Kläranlagen umfassen und somit für jede dieser Kläranlagen charakteristische Ergebnisse erhalten wurden, durch die unterschiedlichen Charakteristika der beprobten Anlagen jedoch keine allgemein gültigen, gesicherten Aussagen über Zusammenhänge zwischen Verfahrenstechnik und Eliminierungsraten bzw. Schlammkonzentrationen getroffen werden können. Diese Aspekte werden in einem österreichischen, seit Juni 2000 laufenden Forschungsprojekt (ARCEM: Austrian Research Co-Operation on Endocrine Modulators) jedoch im Detail untersucht.

7 VERGLEICH DER SCHADSTOFFBELASTUNG DER VERSCHIEDENEN KLÄRSCHLAMMARTEN

Soweit möglich, wurde für jede Kläranlage ein direkter Vergleich der Konzentrationen der untersuchten Substanzen (bezogen auf die Trockensubstanz) von Nassschlamm, entwässertem Schlamm und kompostiertem Klärschlamm getroffen (Tabellen 17 bis 20).

Es sollte überprüft werden, ob die Substanzkonzentrationen im entwässerten Klärschlamm ca. den Gehalten im Nassschlamm entsprechen. Durch den Vergleich der Substanzmengen im entwässerten Schlamm bzw. im Nassschlamm mit den Ergebnissen der kompostierten Klärschlammproben sollte überprüft werden, ob eine Abnahme der Substanzen im Klärschlamm durch Kompostierung möglich ist. Da zwei der beprobten Kläranlagen eine eigene Kompostierung betreiben, konnten von diesen beiden Anlagen Kompostproben analysiert werden. Von einer Kläranlage wurde sowohl eine frische als auch eine ca. sechs Monate gelagerte, entwässerte Schlammprobe untersucht. In diesem Fall wollte man klären, ob es durch die Lagerung zu einer Veränderung der Substanzmengen im Klärschlamm gekommen ist.

Die Substanzkonzentrationen im entwässerten Schlamm entsprachen ungefähr den Gehalten (bezogen auf die Trockensubstanz) im Nassschlamm. Bei den Alkylphenolen zeigte sich die Tendenz, dass im entwässerten Klärschlamm die Konzentrationen geringer waren. Ein Grund für geringfügige Unterschiede der Untersuchungsergebnisse bei den verschiedenen Klärschlammarten könnte sein, dass Nassschlammproben, entwässerte Schlammproben und kompostierte Klärschlammproben zum gleichen Zeitpunkt, dadurch aber nicht von der gleichen Klärschlamm – Charge genommen wurden.

Beim Vergleich der Konzentrationen im entwässerten Schlamm bzw. im Nassschlamm mit den Konzentrationen im kompostierten Klärschlamm konnten eindeutig geringere Konzentrationen in den kompostierten Proben festgestellt werden. Dies ist aber zumindest teilweise auf die Vermischung des Klärschlammes mit Strukturmaterial wie z. B. Baum- und Strauchschnitt, Rinde, Holzwolle oder Häckselgut zurückzuführen.

Da nur zwei kompostierte Klärschlammproben zum Vergleich zur Verfügung standen, können keine gesicherten Aussagen über den Abbau der untersuchten Xenohormone durch Kompostierung gemacht werden. Im Rahmen eines Forschungsprojektes, welches vom Österreichischen Kommunalkredit gefördert wird, werden derzeit endokrin wirksame Tensidmetaboliten u. a. auf ihren Abbau bei der Klärschlammkompostierung untersucht. Weitere Untersuchungen mit organischen Substanzen, welche in höheren Konzentrationen im Klärschlamm vorkommen und/oder toxisch sind, sind dringend erforderlich.

Bei einem Vergleich der Substanzkonzentrationen einer frischen und einer ca. sechs Monate gelagerten, entwässerten Klärschlammprobe zeigte sich ebenfalls bei mehreren Substanzen eine Abnahme der Konzentration durch Lagerung. Auch in diesem Fall müssen zur Verifizierung dieser Ergebnisse weitere analytische Untersuchungen durchgeführt werden.

Tabelle 17: Untersuchungsergebnisse der Alkylphenole (anlagenbezogener Vergleich verschiedener Klärschlammmarten)

Vergleiche	Lab. Nr.	Nass- schlamm	entw. Schlamm	Nass- schlamm	entw. Schlamm	kompost. Schlamm	Nass- schlamm	entw. Schlamm	kompost. Schlamm	frisch*	gelagert*
	Dim.										
4-tert.- Butylphenol	mg/kg TS	S9905 1335/36	S9905 1337	S9906 1415**	S9906 1416**	S9906 1417	S9906 1512**	S9906 1513**	S9906 1514	S9905 1347	S9905 1348
		0,29	0,06	0,03	0,04	n.n.	0,15	0,08	0,05	0,26	0,21
4-sec.- Butylphenol	mg/kg TS	0,17	0,06	0,01	0,02	n.n.	0,01	n.n.	n.n.	n.n.	0,15
4-tert.- Amylphenol	mg/kg TS	0,03	n.n.	0,13	n.n.	n.n.	0,02	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
4-tert.- Octylphenol	mg/kg TS	0,07	0,05	0,04	0,05	n.n.	0,39	0,45	0,06	0,71	1,0
4-Nonyl- phenol techn.	mg/kg TS	2,5	4,1	56	50	2,5	70	49	7,5	25	21

*: entwässerter Schlamm

**: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung (60 bzw. 35 % Klärschlammanteil)

Tabelle 18: Untersuchungsergebnisse der Parameter Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS (anlagenbezogener Vergleich verschiedener Klärschlammarten)

Vergleiche	Lab. Nr.	Nass- schlamm	entw. Schlamm	Nass- schlamm	entw. Schlamm	kompost. Schlamm	Nass- schlamm	entw. Schlamm	kompost. Schlamm	frisch*	gelagert*
	Dim.										
NP1EO	mg/kg TS	1,4	1,3	4,0	4,5	0,12	5,0	4,1	0,25	4,0	2,4
NP2EO	mg/kg TS	1,5	0,67	0,40	0,42	<BG	10	13	n.n.	1,3	0,57
LAS	mg/kg TS	52	120	7.039	6.838	36	8.519	9.251	130	1.526	1.286
Butylhydroxy- anisol	mg/kg TS	0,02	0,02	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Bisphenol A	mg/kg TS	0,21	0,10	1,0	1,1	0,10	0,53	0,43	n.n.	0,06	0,10
Bisphenol F	mg/kg TS	n.n.	0,01	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,03	n.n.	0,07

*: entwässertes Schlamm

**: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung (60 bzw. 35 % Klärschlammanteil)

Tabelle 19: Untersuchungsergebnisse der Phthalate (anlagenbezogener Vergleich verschiedener Klärschlammmarten)

Vergleiche	Lab. Nr.	Nass- schlamm	entw. Schlamm	Nass- schlamm	entw. Schlamm	kompost. Schlamm	Nass- schlamm	entw. Schlamm	kompost. Schlamm	frisch*	gelagert*
	Dim.										
Dimethylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Diethylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	0,23	<BG	n.n.	0,31	0,28	n.n.	<BG	<BG
Dibutylphthalat	mg/kg TS	0,31	n.n.	0,22	n.n.	n.n.	0,24	0,21	n.n.	<BG	<BG
Butylbenzyl- phthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Di(2-ethylhexyl)- phthalat	mg/kg TS	13	8,4	32	26	2,7	42	41	14	1,3	7,2
Diocetylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

*: entwässertes Schlamm

**: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung (60 bzw. 35 % Klärschlammanteil)

Tabelle 20: Untersuchungsergebnisse der Organozinnverbindungen (anlagenbezogener Vergleich verschiedener Klärschlammarten)

Vergleiche	Lab. Nr.	Nass-	entw.	Nass-	entw.	kompost.	Nass-	entw.	kompost.	Nass-	entw.	kompost.	frisch*	gelagert*
	Dim.	schlamm	Schlamm	schlamm	Schlamm	Schlamm	schlamm	Schlamm	Schlamm	schlamm	Schlamm	Schlamm	S9905	S9905
Monobutyl-Sn-Kation	S9905	<BG	<BG	0,27	n.n.	<BG	0,17	0,15	<BG	0,17	0,15	<BG	0,52	0,23
Dibutyl-Sn-Kation	1335/36	0,10	<BG	0,39	0,25	n.n.	0,16	0,18	n.n.	0,16	0,18	n.n.	0,11	<BG
Tributyl-Sn-Kation	S9905	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<BG	n.n.
Tetrabutyl-Sn-Kation	1337	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	S9905	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1347	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1514	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1513**	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1512**	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1417	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1416**	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	1415**	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

*: entwässertes Schlamm

** : Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung (60 bzw. 35 % Klärschlammanteil)

ANHANG**Anhang 1: Darstellung der Untersuchungsergebnisse - nach Substanzgruppen geordnet****Alkylphenole**

Tabelle 21: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Alkylphenole

entwässerter Schlamm	Lab.Nr.	S9905	S9905	S9905	S9905	S9905	S9905	S9905	S9905	S9905	S9906	S9906	S9906
	Dim.	1331	1333	1337	1339 ²	1347	1348	1413 ¹	1414 ²	1416 ¹			
Lyophilisationsrückstand	[%]	22	27	24	44	46	42	23	40	27			
Glühverlust 550°C	[%]	56	52	50	35	32	28	53	31	39			
4-tert.-Butylphenol	mg/kg TS	0,11	0,09	0,06	0,09	0,26	0,21	0,12	0,06	0,04			
4-sec.-Butylphenol	mg/kg TS	n.n.	0,09	0,06	n.n.	n.n.	0,15	n.n.	n.n.	0,02			
4-tert.-Amylphenol	mg/kg TS	n.n.	0,02	n.n.	0,02	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.			
4-tert.-Octylphenol	mg/kg TS	0,50	0,25	0,05	0,50	0,71	1,0	0,95	0,24	0,05			
4-Nonylphenol techn.	mg/kg TS	65	53	4,1	11	25	21	60	56	50			

1: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

2: Klärschlamm wird nur deponiert oder verbrannt

Fortsetzung der Tabelle 21: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Alkylphenole

entwässerter Schlamm	Lab.Nr.	S9906	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908
	Dim.	1513 ¹	2154	2172 ¹	2153	2173	2189 ³	2262	2263 ^{2,3}			
Lyophilisationsrückstand	[%]	25	17	25	30	28	ca. 95	41	29			
Glühverlust 550°C	[%]	51	65	38	37	45	82	65	17			
4-tert.-Butylphenol	mg/kg TS	0,08	0,05	0,27	0,14	0,29	n.n.	0,10	0,04			
4-sec.-Butylphenol	mg/kg TS	n.n.	0,07	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,70	n.n.			
4-tert.-Amylphenol	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,30	n.n.			
4-tert.-Octylphenol	mg/kg TS	0,45	0,03	1,3	0,23	1,6	<BG	0,13	0,03			
4-Nonylphenol techn.	mg/kg TS	49	2,0	27	6,7	58	2,3	2,8	0,46			

1: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

2: Klärschlamm wird nur deponiert oder verbrannt

3: Klärschlamm industrieller Herkunft

Tabelle 22: Kenngrößen der Alkylphenole im entwässerten Schlamm

entwässerter Schlamm	Anzahl der Proben	Anzahl der Proben >BG	Dim.	Min.	Max.	Median	MW
4-tert.-Butylphenol	17	16	mg/kg TS	n.n.	0,29	0,09	0,12
4-sec.-Butylphenol	17	6	mg/kg TS	n.n.	0,70	-	-
4-tert.-Amylphenol	17	3	mg/kg TS	n.n.	0,30	-	-
4-tert.-Octylphenol	17	16	mg/kg TS	<BG	1,6	0,25	0,47
4-Nonylphenol techn.	17	17	mg/kg TS	0,46	65	25	29

Tabellen 23 und 24: Nassschlamm und kompostierter Klärschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Alkylphenole
Tabelle 23: Nassschlamm

Nassschlamm	Lab.Nr.	S9905	S9906	S9906	S9906	S9909
	Dim.	13335/36	1415 ¹	1415 ¹	1512 ¹	2292 ³
Lyophilisationsrückstand	[%]	4,2	4,2	4,2	5,4	4,2
Glühverlust 550°C	[%]	51	38	49	79	79
4-tert.-Butylphenol	mg/kg TS	0,29	0,03	0,15	0,01	0,15
4-sec.-Butylphenol	mg/kg TS	0,17	0,01	0,01	0,02	n.n.
4-tert.-Amylphenol	mg/kg TS	0,03	0,13	0,04	0,39	0,11
4-tert.-Octylphenol	mg/kg TS	2,5	56	70	0,37	0,37

¹: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

³: Klärschlamm industrieller Herkunft

Tabellen 23 und 24: Nassschlamm und kompostierter Klärschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Alkylphenole
Tabelle 24: kompostierter Klärschlamm

kompostierter Klärschlamm	Lab.Nr.	S9906
	Dim.	1417
Lyophilisationsrückstand	[%]	30
Glühverlust 550°C	[%]	27
4-tert.-Butylphenol	mg/kg TS	n.n.
4-sec.-Butylphenol	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	mg/kg TS	n.n.
4-Nonylphenol techn.	mg/kg TS	2,5

Tabelle 25: Kenngrößen der Alkylphenole im Nassschlamm

Nassschlamm	Anzahl der Proben	Anzahl der Proben >BG	Dim.	Min.	Max.
4-tert.-Butylphenol	4	4	mg/kg TS	0,03	0,29
4-sec.-Butylphenol	4	1	mg/kg TS	n.n.	0,17
4-tert.-Amylphenol	4	3	mg/kg TS	n.n.	0,13
4-tert.-Octylphenol	4	4	mg/kg TS	0,04	0,39
4-Nonylphenol techn.	4	4	mg/kg TS	0,37	70

Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS

Tabelle 26: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS

entwässerter Schlamm	Lab.Nr.	S9905 1331	S9905 1333	S9905 1337	S9905 1339 ²	S9905 1347	S9905 1348	S9906 1413 ¹	S9906 1414 ²	S9906 1416 ¹
	Dim.									
Lyophilisationsrückstand	[%]	22	27	24	44	46	42	23	40	27
Glühverlust 550°C	[%]	56	52	50	35	32	28	53	31	39
NP1EO	mg/kg TS	7,9	11	1,3	2,3	4,0	2,4	9,7	1,9	4,5
NP2EO	mg/kg TS	1,8	1,3	0,67	0,27	1,3	0,57	1,0	0,61	0,42
LAS	mg/kg TS	7.870	3.224	120	2.719	1.526	1.286	13.092	1.621	6.838
Butylhydroxyanisol	mg/kg TS	n.n.	n.n.	0,02	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Bisphenol A	mg/kg TS	0,27	0,51	0,10	0,59	0,06	0,10	0,75	0,56	1,1
Bisphenol F	mg/kg TS	n.n.	n.n.	0,01	n.n.	n.n.	0,07	n.n.	n.n.	n.n.

¹: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

²: Klärschlamm wird nur deponiert oder verbrannt

Fortsetzung der Tabelle 26: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS

entwässerter Schlamm	Lab.Nr.	S9906	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908
	Dim.	1513 ¹	2154	2172 ¹	2153	2173	2189 ³	2262	2263 ^{2;3}			
Lyophilisationsrückstand	[%]	25	17	25	30	28	ca. 95	41	29			
Glühverlust 550°C	[%]	51	65	38	37	45	82	65	17			
NP1EO	mg/kg TS	4,1	1,3	3,6	3,7	23	0,15	23	1,2			
NP2EO	mg/kg TS	13	1,2	0,31	1,4	1,6	<BG	4,2	<BG			
LAS	mg/kg TS	9.251	250	5.264	337	1.521	131	4.207	65			
Butylhydroxyanisol	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	0,05	0,06	n.n.	0,03	n.n.			
Bisphenol A	mg/kg TS	0,43	0,28	0,55	0,13	0,13	0,11	0,48	0,09			
Bisphenol F	mg/kg TS	n.n.	0,03	n.n.	0,03	0,04	0,05	0,03	n.n.			

¹: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

²: Klärschlamm wird nur deponiert oder verbrannt

³: Klärschlamm industrieller Herkunft

Tabelle 27: Kenngrößen der Parameter Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS im entwässerten Schlamm

entwässerter Schlamm	Anzahl der Proben	Anzahl der Proben >BG	Dim.	Min.	Max.	Median	MW
NP1EO	17	17	mg/kg TS	0,15	23	3,7	6,2
NP2EO	17	15	mg/kg TS	<BG	13	1,0	1,8
LAS	17	17	mg/kg TS	65	13.092	1.621	3.490
Butylhydroxyanisol	17	4	mg/kg TS	n.n.	0,06	-	-
Bisphenol A	17	17	mg/kg TS	0,06	1,1	0,28	0,37
Bisphenol F	17	6	mg/kg TS	n.n.	0,07	-	-

Tabellen 28 und 29: Nassschlamm und kompostierter Klärschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS

Tabelle 28: Nassschlamm

Nassschlamm	Lab.Nr.	S9905	S9906	S9906	S9906	S9909
	Dim.	13335/36	1415 ¹	1512 ¹	2292 ³	
Lyophilisationsrückstand	[%]	4,2	4,2	5,4	4,2	
Glühverlust 550°C	[%]	51	38	49	79	
NP1EO	mg/kg TS	1,4	4,0	5,0	10	
NP2EO	mg/kg TS	1,5	0,40	10	0,87	
LAS	mg/kg TS	52	7.039	8.519	74	
Butylhydroxyanisol	mg/kg TS	0,02	n.n.	n.n.	n.n.	
Bisphenol A	mg/kg TS	0,21	1,0	0,53	0,39	
Bisphenol F	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	

Tabelle 29: kompostierter Klärschlamm

kompostierter Klärschlamm	Lab.Nr.	S9906	S9906
	Dim.	1417	1514
Lyophilisationsrückstand	[%]	30	33
Glühverlust 550°C	[%]	27	40
NP1EO	mg/kg TS	0,12	0,25
NP2EO	mg/kg TS	<BG	n.n.
LAS	mg/kg TS	36	130
Butylhydroxyanisol	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Bisphenol A	mg/kg TS	0,10	n.n.
Bisphenol F	mg/kg TS	n.n.	0,03

¹: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

³: Klärschlamm industrieller Herkunft

Tabelle 30: Kenngrößen der Parameter Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS im Nassschlamm

Nassschlamm	Anzahl der Proben	Anzahl der Proben >BG	Dim.	Min.	Max.
NP1EO	4	4	mg/kg TS	1,4	10
NP2EO	4	4	mg/kg TS	0,40	10
LAS	4	4	mg/kg TS	52	8.519
Butylhydroxyanisol	4	1	mg/kg TS	n.n.	0,02
Bisphenol A	4	4	mg/kg TS	0,21	1,0
Bisphenol F	4	0	mg/kg TS	n.n.	n.n.

Phthalate

Tabelle 31: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Phthalate

entwässerter Schlamm	Lab.Nr.	S9905 1331	S9905 1333	S9905 1337	S9905 1339 ²	S9905 1347	S9905 1348	S9906 1413 ¹	S9906 1414 ²	S9906 1416 ¹
	Dim.									
Lyophilisationsrückstand	[%]	22	27	24	44	46	42	23	40	27
Glühverlust 550°C	[%]	56	52	50	35	32	28	53	31	39
Dimethylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Diethylphthalat	mg/kg TS	0,36	4,4	n.n.	0,24	<BG	<BG	0,26	n.n.	<BG
Dibutylphthalat	mg/kg TS	0,35	n.n.	n.n.	0,26	<BG	<BG	n.n.	n.n.	n.n.
Butylbenzylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	mg/kg TS	35	0,54	8,4	6,2	1,3	7,2	26	4,0	26
Dioctylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

¹: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

²: Klärschlamm wird nur deponiert oder verbrannt

Fortsetzung der Tabelle 31: entwässertes Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Phthalate

entwässertes Schlamm	Lab.Nr.	S9906	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908	S9908
	Dim.	1513 ¹	2154	2172 ¹	2153	2173	2189 ³	2262	2263 ^{2;3}			
Lyophilisationsrückstand	[%]	25	17	25	30	28	ca. 95	41	29			
Glühverlust 550°C	[%]	51	65	38	37	45	82	65	17			
Dimethylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<BG	n.n.	n.n.	n.n.			
Diethylphthalat	mg/kg TS	0,28	0,44	n.n.	<BG	0,22	n.n.	<BG	n.n.			
Dibutylphthalat	mg/kg TS	0,21	n.n.	n.n.	<BG	n.n.	n.n.	0,69	n.n.			
Butylbenzylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,27	n.n.			
Di(2-ethylhexyl)phthalat	mg/kg TS	41	6,2	8,6	4,2	43	n.n.	47	0,27			
Dioctylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.			

1: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

2: Klärschlamm wird nur deponiert oder verbrannt

3: Klärschlamm industrieller Herkunft

Tabelle 32: Kenngrößen der Phthalate im entwässerten Schlamm

entwässertes Schlamm	Anzahl der Proben	Anzahl der Proben > BG	Dim.	Min.	Max.	Median	MW
Dimethylphthalat	17	0	mg/kg TS	n.n.	<BG	-	-
Diethylphthalat	17	7	mg/kg TS	n.n.	4,4	-	-
Dibutylphthalat	17	4	mg/kg TS	n.n.	0,69	-	-
Butylbenzylphthalat	17	1	mg/kg TS	n.n.	0,27	-	-
Di(2-ethylhexyl)phthalat	17	16	mg/kg TS	n.n.	47	7,2	16
Dioctylphthalat	17	0	mg/kg TS	n.n.	n.n.	-	-

Tabellen 33 und 34: Nassschlamm und kompostierter Klärschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Phthalate

Tabelle 33: Nassschlamm

Nassschlamm	Lab.Nr.	S9905 1335/36	S9906 1415 ¹	S9906 1512 ¹	S9909 2292 ³
	Dim.				
Lyophilisationsrückstand	[%]	4,2	4,2	5,4	4,2
Glühverlust 550°C	[%]	51	38	49	79
Dimethylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Diethylphthalat	mg/kg TS	n.n.	0,23	0,31	n.n.
Dibutylphthalat	mg/kg TS	0,31	0,22	0,24	n.n.
Butylbenzylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	mg/kg TS	13	32	42	n.n.
Diocetylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

¹: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

³: Klärschlamm industrieller Herkunft

Tabelle 34: kompostierter Klärschlamm

kompostierter Klärschlamm	Lab.Nr.	S9906 1417	S9906 1514
	Dim.		
Lyophilisationsrückstand	[%]	30	33
Glühverlust 550°C	[%]	27	40
Dimethylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Diethylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Dibutylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Butylbenzylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	mg/kg TS	2,7	14
Diocetylphthalat	mg/kg TS	n.n.	n.n.

Tabelle 35: Kenngrößen der Phthalate im Nassschlamm

Nassschlamm	Anzahl der Proben	Anzahl der Proben > BG	Dim.	Min.	Max.
Dimethylphthalat	4	0	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Diethylphthalat	4	2	mg/kg TS	n.n.	0,31
Dibutylphthalat	4	3	mg/kg TS	n.n.	0,31
Butylbenzylphthalat	4	0	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	4	3	mg/kg TS	n.n.	42
Diocetylphthalat	4	0	mg/kg TS	n.n.	n.n.

Organozinnverbindungen

Tabelle 36: entwässertes Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Organozinnverbindungen

entwässertes Schlamm	Lab.Nr.	S9905 1331	S9905 1333	S9905 1337	S9905 1339 ²	S9905 1347	S9905 1348	S9906 1413 ¹	S9906 1414 ²	S9906 1416 ¹
	Dim.									
Lyophilisationsrückstand	[%]	22	27	24	44	46	42	23	40	27
Glühverlust 550°C	[%]	56	52	50	35	32	28	53	31	39
Monobutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	0,21	0,20	<BG	0,53	0,52	0,23	0,18	0,20	n.n.
Dibutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	0,19	0,16	<BG	0,64	0,11	<BG	0,24	0,16	0,25
Tributyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	<BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Tetrabutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

Fortsetzung der Tabelle 36: entwässertes Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Organozinnverbindungen

entwässertes Schlamm	Lab.Nr.	S9906 1513 ¹	S9908 2154	S9908 2172 ¹	S9908 2153	S9908 2173	S9908 2189 ³	S9908 2262	S9908 2263 ^{2;3}
	Dim.								
Lyophilisationsrückstand	[%]	25	17	25	30	28	ca. 95	41	29
Glühverlust 550°C	[%]	51	65	38	37	45	82	65	17
Monobutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	0,15	0,32	0,17	0,48	0,25	n.n.	0,51	n.n.
Dibutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	0,18	0,23	0,14	0,19	0,17	n.n.	2,0	n.n.
Tributyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	0,09	n.n.	n.n.	<BG	n.n.
Tetrabutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

1: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

2: Klärschlamm wird nur deponiert oder verbrannt

3: Klärschlamm industrieller Herkunft

Tabellen 37 und 38: Nassschlamm und kompostierter Klärschlamm – Darstellung der Untersuchungsergebnisse der Organozinnverbindungen
 Tabelle 37: Nassschlamm

Nassschlamm	Lab.Nr.	S9905	S9906	S9906	S9906	S9909
	Dim.	1335/36	1415 ¹	1415 ¹	1512 ¹	2292 ³
Lyophilisationsrückstand	[%]	4,2	4,2	4,2	5,4	4,2
Glühverlust 550°C	[%]	51	38	49	79	79
Monobutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	<BG	0,27	0,17	n.n.	n.n.
Dibutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	0,10	0,39	0,16	n.n.	n.n.
Tributyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Tetrabutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

1: Klärschlamm kommt vollständig zur Kompostierung

3: Klärschlamm industrieller Herkunft

Tabelle 38: kompostierter Klärschlamm

kompostierter Klärschlamm	Lab.Nr.	S9906	S9906
	Dim.	1417	1514
Lyophilisationsrückstand	[%]	30	33
Glühverlust 550°C	[%]	27	40
Monobutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	<BG	<BG
Dibutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Tributyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Tetrabutyl-Sn-Kation	mg/kg TS	n.n.	n.n.

Tabelle 39: Kenngrößen der Organozinnverbindungen im entwässerten Schlamm

Entwässerter Schlamm	Anzahl der Proben	Anzahl der Proben > BG	Dim.	Min.	Max.	Median	MW
Monobutyl-Sn-Kation	17	13	mg/kg TS	n.n.	0,53	0,20	0,24
Dibutyl-Sn-Kation	17	13	mg/kg TS	n.n.	2,0	0,17	0,28
Tributyl-Sn-Kation	17	1	mg/kg TS	n.n.	0,09	-	-
Tetrabutyl-Sn-Kation	17	0	mg/kg TS	n.n.	n.n.	-	-

Tabelle 40: Kenngrößen der Organozinnverbindungen im Nassschlamm

Nassschlamm	Anzahl der Proben	Anzahl der Proben > BG	Dim.	Min.	Max.
Monobutyl-Sn-Kation	4	2	mg/kg TS	n.n.	0,27
Dibutyl-Sn-Kation	4	3	mg/kg TS	n.n.	0,39
Tributyl-Sn-Kation	4	0	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Tetrabutyl-Sn-Kation	4	0	mg/kg TS	n.n.	n.n.

Anhang 2: Kläranlagenbezogene Untersuchungsergebnisse

Tabelle 41: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 1

Kläranlage 1	Dim.	Zulauf	Ablauf	Dim.	Klärschlamm S9905 1331*
		W9804 1788	W9804 1789		
4-tert.-Butylphenol	ng/l	n.a.	109	mg/kg TS	0,11
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,50
4-Nonylphenol techn.	ng/l	864	603	mg/kg TS	65
NP1EO	ng/l	2.978	142	mg/kg TS	7,9
NP2EO	ng/l	8.977	191	mg/kg TS	1,8
LAS	-	-	-	mg/kg TS	7.870
Butylhydroxyanisol	ng/l	113	92	mg/kg TS	n.n.
Bisphenol A	ng/l	n.a.	659	mg/kg TS	0,27
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.
Dimethylphthalat	ng/l	6.200	1.200	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	8.000	<400	mg/kg TS	0,36
Dibutylphthalat	ng/l	<500	<500	mg/kg TS	0,35
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	2.800	<1.000	mg/kg TS	35
Dioctylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	<10	10	mg/kg TS	0,21
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	19	n.n.	mg/kg TS	0,19
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	<10	<10	mg/kg TS	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 1:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)

Bemessungsgröße der Anlage	derzeit	~50.000	EW
Industrieanteil		~70	%
- Gemessene Zulaufwassermengen

Q im Jahresmittel		~6.400	m ³ /d
Mittelwert im Monat vor der Probenahme		~5.500	m ³ /d
- Schlammfall

Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS)		~80	m ³ /d
Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt		~40	kg/m ³
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässerter Schlamm

		~200	kg/m ³ TS
		~120	kg/m ³ oTS
		~460	t TS/a

Tabelle 42: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 2

Kläranlage 2	Zulauf		Ablauf		Klärschlamm S9905 1333*
	Dim.	W9805 2154	W9805 2155	Dim.	
4-tert.-Butylphenol	ng/l	124	58	mg/kg TS	0,09
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,09
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,02
4-tert.-Octylphenol	ng/l	137	<50	mg/kg TS	0,25
4-Nonylphenol techn.	ng/l	6.775	1.448	mg/kg TS	53
NP1EO	ng/l	10.260	860	mg/kg TS	11
NP2EO	ng/l	3.209	<100	mg/kg TS	1,3
LAS	-	-	-	mg/kg TS	3.224
Butylhydroxyanisol	ng/l	115	<50	mg/kg TS	n.n.
Bisphenol A	ng/l	499	392	mg/kg TS	0,51
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.
Dimethylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	550	<400	mg/kg TS	4,4
Dibutylphthalat	ng/l	<500	<500	mg/kg TS	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	4.700	<1.000	mg/kg TS	0,54
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	<10	mg/kg TS	0,20
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	<10	mg/kg TS	0,16
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	<10	n.n.	mg/kg TS	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 2:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorentfernung
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)
 Bemessungsgröße der Anlage ~120.000 EW
 Industrieanteil ~70 %
- Gemessene Zulaufwassermengen
 Q im Jahresmittel ~14.000 m³/d
 Mittelwert im Monat vor der Probenahme ~15.000 m³/d
- Schlammfall
 Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS) ~70 m³/d
 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt ~40 kg/m³
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässerter Schlamm ~1.000 t TS/a

Tabelle 43: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 3

Kläranlage 3	Dim.	Zulauf W9805 2031	Ablauf W9805 2032	Dim.	Klärschlamm	
					S9905 1335/36*	S9905 1337**
4-tert.-Butylphenol	ng/l	63	<50	mg/kg TS	0,29	0,06
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,17	0,06
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,03	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	69	<50	mg/kg TS	0,07	0,05
4-Nonylphenol techn.	ng/l	1.410	395	mg/kg TS	2,5	4,1
NP1EO	ng/l	1.595	143	mg/kg TS	1,4	1,3
NP2EO	ng/l	1.007	<100	mg/kg TS	1,5	0,67
LAS	-	-	-	mg/kg TS	52	120
Butylhydroxyanisol	ng/l	77	<50	mg/kg TS	0,02	0,02
Bisphenol A	ng/l	509	129	mg/kg TS	0,21	0,10
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.	0,01
Dimethylphthalat	ng/l	4.700	460	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	5.100	<400	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Dibutylphthalat	ng/l	<500	<500	mg/kg TS	0,31	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	1.800	<1.000	mg/kg TS	13	8,4
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	n.n.	mg/kg TS	<BG	<BG
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	<10	<10	mg/kg TS	0,10	<BG
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	<10	<10	mg/kg TS	n.n.	n.n.

*: Nassschlamm

**: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 3:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorentfernung
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)
 Bemessungsgröße der Anlage ~100.000 EW
 Industrieanteil ~60 %
- Gemessene Zulaufwassermengen
 Q im Jahresmittel ~19.000 m³/d
- Schlammanfall
 Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS) ~80 m³/d
 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt <10 kg/m³
- Entwässerter Schlamm
 ~20 kg/m³ TS
 ~430 t TS/a

Tabelle 44: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 4

Kläranlage 4	Dim.	Zulauf		Dim.	Klärschlamm S9905 1339*
		W9805 2020	W9805 2021		
4-tert.-Butylphenol	ng/l	104	<50	mg/kg TS	0,09
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,02
4-tert.-Octylphenol	ng/l	135	102	mg/kg TS	0,50
4-Nonylphenol techn.	ng/l	1.096	554	mg/kg TS	11
NP1EO	ng/l	2.780	167	mg/kg TS	2,3
NP2EO	ng/l	27.468	<100	mg/kg TS	0,27
LAS	-	-	-	mg/kg TS	2.719
Butylhydroxyanisol	ng/l	143	76	mg/kg TS	n.n.
Bisphenol A	ng/l	8.425	585	mg/kg TS	0,59
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.
Dimethylphthalat	ng/l	2.100	800	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	8.500	<400	mg/kg TS	0,24
Dibutylphthalat	ng/l	<500	<500	mg/kg TS	0,26
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	3.300	<1.000	mg/kg TS	6,2
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	29	14	mg/kg TS	0,53
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	17	<10	mg/kg TS	0,64
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	<10	<10	mg/kg TS	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 4:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorentfernung
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)

Bemessungsgröße der Anlage	~140.000	EW
Industrieanteil	~60	%
- Gemessene Zulaufwassermengen

Mittelwert im Monat vor der Probenahme	~21.000	m ³ /d
--	---------	-------------------
- Schlammanfall

Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS)	~220	m ³ /d
Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt	~40	kg/m ³
- Entwässerter Schlamm

	~410	kg/m ³ TS
	~2.500	t TS/a

Tabelle 45: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 5

Kläranlage 5	Dim.	Zulauf W9803 1545	Ablauf W9803 1546	Dim.	Klärschlamm	
					S9905 1347*	S9905 1348**
4-tert.-Butylphenol	ng/l	241	185	mg/kg TS	0,26	0,21
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.	0,15
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	362	<50	mg/kg TS	0,71	1,0
4-Nonylphenol techn.	ng/l	2.640	1.450	mg/kg TS	25	21
NP1EO	ng/l	2.300	<100	mg/kg TS	4,0	2,4
NP2EO	ng/l	2.966	185	mg/kg TS	1,3	0,57
LAS	-	-	-	mg/kg TS	1.526	1.286
Butylhydroxyanisol	ng/l	232	127	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Bisphenol A	ng/l	n.a.	787	mg/kg TS	0,06	0,10
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.	0,07
Dimethylphthalat	ng/l	3.600	1.000	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	8.100	<400	mg/kg TS	<BG	<BG
Dibutylphthalat	ng/l	1.000	<500	mg/kg TS	<BG	<BG
Butylbenzylphthalat	ng/l	410	<400	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	2.700	<1.000	mg/kg TS	1,3	7,2
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	<10	n.n.	mg/kg TS	0,52	0,23
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	21	n.n.	mg/kg TS	0,11	<BG
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	14	n.n.	mg/kg TS	<BG	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm, neu

**: entwässerter Klärschlamm, alt

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 5:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorentfernung
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)
 Bemessungsgröße der Anlage ~170.000 EW
 Industrieanteil ~70 %
- Gemessene Zulaufwassermengen
 Q im Jahresmittel ~23.000 m³/d
- Schlammanfall
 Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS) ~90 m³/d
 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt ~80 kg/m³
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässerter Schlamm ~450 kg/m³ TS
 ~130 kg/m³ oTS
 ~3.300 t TS/a

Tabelle 46: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 6

Kläranlage 6	Zulauf		Ablauf		Klärschlamm	
	Dim.	W9803 1540	W9803 1541	Dim.	S9906 1413*	
4-tert.-Butylphenol	ng/l	226	<50	mg/kg TS	0,12	
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.	
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.	
4-tert.-Octylphenol	ng/l	59	<50	mg/kg TS	0,95	
4-Nonylphenol techn.	ng/l	4.333	177	mg/kg TS	60	
NP1EO	ng/l	4.338	<100	mg/kg TS	9,7	
NP2EO	ng/l	9.578	221	mg/kg TS	1,0	
LAS	-	-	-	mg/kg TS	13.092	
Butylhydroxyanisol	ng/l	n.a.	137	mg/kg TS	n.n.	
Bisphenol A	ng/l	1.281	176	mg/kg TS	0,75	
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.	
Dimethylphthalat	ng/l	17.000	2.600	mg/kg TS	n.n.	
Diethylphthalat	ng/l	17.000	450	mg/kg TS	0,26	
Dibutylphthalat	ng/l	2300	530	mg/kg TS	n.n.	
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.	
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	7.500	<1.000	mg/kg TS	26	
Dioctylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.	
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	17	<10	mg/kg TS	0,18	
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	18	<10	mg/kg TS	0,24	
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	16	12	mg/kg TS	n.n.	

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 6:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)

Bemessungsgröße der Anlage	≥ 300.000	EW
Industrieanteil	~50	%
- Gemessene Zulaufwassermengen

Q im Jahresmittel	~34.000	m ³ /d
-------------------	---------	-------------------
- Schlammfall

Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS)	~180	m ³ /d
Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt	~40	kg/m ³
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässerter Schlamm

	~230	kg/m ³ TS
	~110	kg/m ³ oTS
	~2.700	t TS/a

Tabelle 47: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 7

Kläranlage 7	Zulauf		Ablauf		Klärschlamm S9906 1414*
	Dim.	W9804 1973	W9804 1974	Dim.	
4-tert.-Butylphenol	ng/l	67	65	mg/kg TS	0,06
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,24
4-Nonylphenol techn.	ng/l	9.382	1.890	mg/kg TS	56
NP1EO	ng/l	2.582	<100	mg/kg TS	1,9
NP2EO	ng/l	6.723	169	mg/kg TS	0,61
LAS	-	-	-	mg/kg TS	1.621
Butylhydroxyanisol	ng/l	54	<50	mg/kg TS	n.n.
Bisphenol A	ng/l	6.870	243	mg/kg TS	0,56
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.
Dimethylphthalat	ng/l	5.800	870	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	13.000	430	mg/kg TS	n.n.
Dibutylphthalat	ng/l	870	<500	mg/kg TS	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	<BG
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	7.000	<1.000	mg/kg TS	4,0
Dioctylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	11	19	mg/kg TS	0,20
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	31	23	mg/kg TS	0,16
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	20	<10	mg/kg TS	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 7:

- Kohlenstoffentfernung
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)

Bemessungsgröße der Anlage	≥ 300.000	EW
Industrieanteil	~50	%
- Gemessene Zulaufwassermengen

Q im Jahresmittel	~170.000	m ³ /d
-------------------	----------	-------------------
- Schlammfall

Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS)	~920	m ³ /d
Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt	~50	kg/m ³
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässerter Schlamm

	~360	kg/m ³ TS
	~40	t TS/d

Tabelle 48: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 8

Kläranlage 8	Dim.	Zulauf	Ablauf	Dim.	Klärschlamm		
		W9804 1957	W9804 1958		S9906 1415*	S9906 1416**	S9906 1417***
4-tert.-Butylphenol	ng/l	110	154	mg/kg TS	0,03	0,04	n.n.
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,01	0,02	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,13	n.n.	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	195	57	mg/kg TS	0,04	0,05	n.n.
4-Nonylphenol techn.	ng/l	1.433	209	mg/kg TS	56	50	2,5
NP1EO	ng/l	2.199	<100	mg/kg TS	4,0	4,5	0,12
NP2EO	ng/l	8.388	<100	mg/kg TS	0,40	0,42	<BG
LAS	-	-	-	mg/kg TS	7.039	6.838	36
Butylhydroxyanisol	ng/l	83	90	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Bisphenol A	ng/l	225	884	mg/kg TS	1,0	1,1	0,10
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Dimethylphthalat	ng/l	8.800	1.000	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	14.000	<400	mg/kg TS	0,23	<BG	n.n.
Dibutylphthalat	ng/l	1.500	<500	mg/kg TS	0,22	n.n.	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	6.600	<1.000	mg/kg TS	32	26	2,7
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	<10	mg/kg TS	0,27	n.n.	<BG
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	n.n.	mg/kg TS	0,39	0,25	n.n.
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	<10	<10	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.

*: Nassschlamm

**: entwässerter Klärschlamm

***: kompostierter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 8:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)
 Bemessungsgröße der Anlage ~100.000 EW
 Industrieanteil ~70 %
- Gemessene Zulaufwassermengen
 Q im Jahresmittel ~10.000 m³/d
 Mittelwert im Monat vor der Probenahme ~9.000 m³/d
- Schlammanfall
 Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS) ~350 m³/d
 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt ~30 kg/m³
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässerter Schlamm ~260 kg/m³ TS
 ~970 t TS/a

Tabelle 49: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 9

Kläranlage 9	Dim.	Zulauf	Ablauf	Dim.	Klärschlamm		
		W9803 1309	W9803 1310		S9906 1512*	S9906 1513**	S9906 1514***
4-tert.-Butylphenol	ng/l	88	213	mg/kg TS	0,15	0,08	0,05
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,01	n.n.	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,02	n.n.	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	43	76	mg/kg TS	0,39	0,45	0,06
4-Nonylphenol techn.	ng/l	627	205	mg/kg TS	70	49	7,5
NP1EO	ng/l	3.130	149	mg/kg TS	5,0	4,1	0,25
NP2EO	ng/l	1.876	<100	mg/kg TS	10	13	n.n.
LAS	-	-	-	mg/kg TS	8.519	9.251	130
Butylhydroxyanisol	ng/l	71	131	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Bisphenol A	ng/l	387	784	mg/kg TS	0,53	0,43	n.n.
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.	n.n.	0,03
Dimethylphthalat	ng/l	7.100	970	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	26.000	<400	mg/kg TS	0,31	0,28	n.n.
Dibutylphthalat	ng/l	890	<500	mg/kg TS	0,24	0,21	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	3.200	<1.000	mg/kg TS	42	41	14
Dioctylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	<10	11	mg/kg TS	0,17	0,15	<BG
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	14	<10	mg/kg TS	0,16	0,18	n.n.
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	11	14	mg/kg TS	n.n.	n.n.	n.n.

*: Nassschlamm

**: entwässertes Klärschlamm

***: kompostierter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 9:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)
Bemessungsgröße der Anlage ~110.000 EW
- Gemessene Zulaufwassermengen
Q im Jahresmittel ~15.000 m³/d
- Schlammfall
Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS) ~1.000 m³/d
- Schlammstabilisierung
- Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässertes Schlamm ~3.000 m³
(~20% TS)

Tabelle 50: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 10

Kläranlage 10	Dim.	Zulauf		Dim.	Klärschlamm S9908 2154*
		W9803 1633	W9803 1634		
4-tert.-Butylphenol	ng/l	89	<50	mg/kg TS	0,05
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,07
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	183	<50	mg/kg TS	0,03
4-Nonylphenol techn.	ng/l	1.763	256	mg/kg TS	2,0
NP1EO	ng/l	8.305	208	mg/kg TS	1,3
NP2EO	ng/l	10.129	<100	mg/kg TS	1,2
LAS	-	-	-	mg/kg TS	250
Butylhydroxyanisol	ng/l	118	<50	mg/kg TS	n.n.
Bisphenol A	ng/l	196	<50	mg/kg TS	0,28
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	0,03
Dimethylphthalat	ng/l	4.400	1.200	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	7.200	<400	mg/kg TS	0,44
Dibutylphthalat	ng/l	<500	3.000	mg/kg TS	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	2.200	1.200	mg/kg TS	6,2
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	<10	n.n.	mg/kg TS	0,32
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	<10	n.n.	mg/kg TS	0,23
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	<10	mg/kg TS	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 10:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorentfernung
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)

Bemessungsgröße der Anlage	<10.000	EW
Industrieanteil	~50	%
- Gemessene Zulaufwassermengen

Q im Jahresmittel	~1.400	m ³ /d
Mittelwert im Monat vor der Probenahme	~1.400	m ³ /d
- Schlammfall

Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS)	~20	m ³ /d
Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt	<1	kg/m ³
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob unbeheizt
- Entwässerter Schlamm

	~50	t TS/a
--	-----	--------

Tabelle 51: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 11

Kläranlage 11	Dim.	Zulauf		Dim.	Klärschlamm S9908 2172*
		W9802 1087	W9802 1088		
4-tert.-Butylphenol	ng/l	153	90	mg/kg TS	0,27
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	375	<50	mg/kg TS	1,3
4-Nonylphenol techn.	ng/l	3.300	<100	mg/kg TS	27
NP1EO	ng/l	951	<100	mg/kg TS	3,6
NP2EO	ng/l	3.318	<100	mg/kg TS	0,31
LAS	-	-	-	mg/kg TS	5.264
Butylhydroxyanisol	ng/l	218	132	mg/kg TS	n.n.
Bisphenol A	ng/l	585	468	mg/kg TS	0,55
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.
Dimethylphthalat	ng/l	11.000	780	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	15.000	<400	mg/kg TS	n.n.
Dibutylphthalat	ng/l	1.500	<500	mg/kg TS	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	7.000	<1.000	mg/kg TS	8,6
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	18	13	mg/kg TS	0,17
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	15	n.n.	mg/kg TS	0,14
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	14	<10	mg/kg TS	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 11:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorentfernung
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)

Bemessungsgröße der Anlage	≥300.000	EW
Industrieanteil	~60	%
- Gemessene Zulaufwassermengen

Q im Jahresmittel	~85.000	m ³ /d
Mittelwert im Monat vor der Probenahme	~66.000	m ³ /d
- Schlammfall

Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS)	~2.400	m ³ /d
Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt	<10	kg/m ³
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässerter Schlamm

	~220	kg/m ³ TS
	~130	kg/m ³ oTS
	3.800	t TS/a

Tabelle 52: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 12

Kläranlage 12	Dim.	Zulauf		Dim.	Klärschlamm S9908 2153*
		W9804 1621	W9804 1622		
4-tert.-Butylphenol	ng/l	91	<50	mg/kg TS	0,14
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	172	160	mg/kg TS	0,23
4-Nonylphenol techn.	ng/l	1.673	420	mg/kg TS	6,7
NP1EO	ng/l	3.676	<100	mg/kg TS	3,7
NP2EO	ng/l	1.360	<100	mg/kg TS	1,4
LAS	-	-	-	mg/kg TS	337
Butylhydroxyanisol	ng/l	57	<50	mg/kg TS	0,05
Bisphenol A	ng/l	3.263	<50	mg/kg TS	0,13
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	0,03
Dimethylphthalat	ng/l	5.200	1.700	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	6.400	<400	mg/kg TS	<BG
Dibutylphthalat	ng/l	730	<500	mg/kg TS	<BG
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	4.400	<1.000	mg/kg TS	4,2
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	11	n.n.	mg/kg TS	0,48
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	n.n.	mg/kg TS	0,19
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	<10	n.n.	mg/kg TS	0,09

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 12:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorentfernung
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)

Bemessungsgröße der Anlage	~120.000	EW
Industrieanteil	~70	%
- Gemessene Zulaufwassermengen

Q im Jahresmittel	~19.000	m ³ /d
Mittelwert im Monat vor der Probenahme	~19.000	m ³ /d
- Schlammfall

Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS)	~120	m ³ /d
--	------	-------------------
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässerter Schlamm (inkl. Konditionierungsmittel)

	~1.600	t TS/a
--	--------	--------

Tabelle 53: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 13

Kläranlage 13	Dim.	Zulauf	Ablauf	Dim.	Klärschlamm S9908 2173*
		W9803 1350	W9803 1351		
4-tert.-Butylphenol	ng/l	101	<50	mg/kg TS	0,29
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	84	77	mg/kg TS	1,6
4-Nonylphenol techn.	ng/l	6.972	407	mg/kg TS	58
NP1EO	ng/l	3.214	226	mg/kg TS	23
NP2EO	ng/l	2.928	<100	mg/kg TS	1,6
LAS	-	-	-	mg/kg TS	1.521
Butylhydroxyanisol	ng/l	n.a.	<50	mg/kg TS	0,06
Bisphenol A	ng/l	693	67	mg/kg TS	0,13
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	0,04
Dimethylphthalat	ng/l	9.300	1.800	mg/kg TS	<BG
Diethylphthalat	ng/l	13.000	<400	mg/kg TS	0,22
Dibutylphthalat	ng/l	<500	<500	mg/kg TS	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	4.000	<1.000	mg/kg TS	43
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	19	<10	mg/kg TS	0,25
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	11	n.n.	mg/kg TS	0,17
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	11	10	mg/kg TS	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 13:

- Kohlenstoffentfernung, Nitrifikation, Denitrifikation, Phosphorentfernung
- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)

Bemessungsgröße der Anlage	~80.000	EW
Industrieanteil	~60	%
- Gemessene Zulaufwassermengen

Q im Jahresmittel	~14.000	m ³ /d
Mittelwert im Monat vor der Probenahme	~16.000	m ³ /d
- Schlammfall

Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS)	~70	m ³ /d
Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt	~60	kg/m ³
- Schlammstabilisierung
 - Anaerob mesophil (~33-38°C)
- Entwässerter Schlamm

	~250	kg/m ³ TS
	~130	kg/m ³ oTS
	~840	t TS/a

Tabelle 54: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 14

Kläranlage 14	Dim.	Zulauf W9805 2274	Ablauf W9805 2275	Dim.	Klärschlamm S9908 2189*
4-tert.-Butylphenol	ng/l	-	72	mg/kg TS	n.n.
4-sec.-Butylphenol	ng/l	-	77	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	-	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	-	241	mg/kg TS	<BG
4-Nonylphenol techn.	ng/l	-	n.a.	mg/kg TS	2,3
NP1EO	ng/l	-	281	mg/kg TS	0,15
NP2EO	ng/l	-	2.164	mg/kg TS	<BG
LAS	-	-	-	mg/kg TS	131
Butylhydroxyanisol	ng/l	-	57	mg/kg TS	n.n.
Bisphenol A	ng/l	-	196	mg/kg TS	0,11
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	0,05
Dimethylphthalat	ng/l	-	<400	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	-	<400	mg/kg TS	n.n.
Dibutylphthalat	ng/l	-	<500	mg/kg TS	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	-	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	-	<1.000	mg/kg TS	n.n.
Diocetylphthalat	ng/l	-	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	-	n.n.	mg/kg TS	n.n.
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	-	n.n.	mg/kg TS	n.n.
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	-	<10	mg/kg TS	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 14:

- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf CSB)
 Bemessungsgröße der Anlage ≥ 300.000 EW
 Industrieanteil ~ 100 %
- Gemessene Zulaufwassermengen
 Q im Jahresmittel ~ 7.200 m³/d
 Mittelwert im Monat vor der Probenahme ~ 7.100 m³/d
- Schlammstabilisierung (durch Trocknung)
- Entwässerter Schlamm ~ 150 kg/m³ TS

Tabelle 55: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 15

Kläranlage 15	Dim.	Zulauf	Ablauf	Dim.	Klärschlamm S9908 2262*
		W9803 1536	W9803 1537		
4-tert.-Butylphenol	ng/l	887	448	mg/kg TS	0,10
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,70
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,30
4-tert.-Octylphenol	ng/l	<50	196	mg/kg TS	0,13
4-Nonylphenol techn.	ng/l	598	105	mg/kg TS	2,8
NP1EO	ng/l	3.182	n.a.	mg/kg TS	23
NP2EO	ng/l	7.533	<100	mg/kg TS	4,2
LAS	-	-	-	mg/kg TS	4.207
Butylhydroxyanisol	ng/l	80	102	mg/kg TS	0,03
Bisphenol A	ng/l	476	419	mg/kg TS	0,48
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	0,03
Dimethylphthalat	ng/l	11.000	<400	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	12.000	<400	mg/kg TS	<BG
Dibutylphthalat	ng/l	720	<500	mg/kg TS	0,69
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	0,27
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	5.300	1.600	mg/kg TS	47
Dioctylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	13	<10	mg/kg TS	0,51
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	12	<10	mg/kg TS	2,0
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	11	11	mg/kg TS	<BG

*: entwässerter Klärschlamm

Es sind keine näheren Angaben zu Kläranlage 15 bekannt, da vom Betreiber keine zusätzlichen Informationen zur Verfügung gestellt wurden.

Tabelle 56: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 16

Kläranlage 16	Dim.	Zulauf		Dim.	Klärschlamm S9908 2263*
		W9802 1083	W9803 1084		
4-tert.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,04
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,03
4-Nonylphenol techn.	ng/l	249	132	mg/kg TS	0,46
NP1EO	ng/l	169	207	mg/kg TS	1,2
NP2EO	ng/l	790	<100	mg/kg TS	<BG
LAS	-	-	-	mg/kg TS	65
Butylhydroxyanisol	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	n.n.
Bisphenol A	ng/l	<50	<50	mg/kg TS	0,09
Bisphenol F	-	-	-	mg/kg TS	n.n.
Dimethylphthalat	ng/l	760	670	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Dibutylphthalat	ng/l	<500	<500	mg/kg TS	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	<1.000	<1.000	mg/kg TS	0,27
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	<10	mg/kg TS	n.n.
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	<10	mg/kg TS	n.n.
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	10	n.n.	mg/kg TS	n.n.

*: entwässerter Klärschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte 1998) zur Kläranlage 16:

- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)
 Bemessungsgröße der Anlage ~30.000 EW
 Industrieanteil ~100 %
- Gemessene Zulaufwassermengen
 Q im Jahresmittel ~13.000 m³/d
- Schlammanfall
 Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS) ~330 m³/d
 Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt <10 kg/m³
- Entwässerter Schlamm
 ~2.000 kg/m³ TS
 ~30 kg/m³ oTS
 ~2.600 t TS/a

Tabelle 57: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 17

Kläranlage 17	Dim.	Zulauf I	Zulauf II	Ablauf	Dim.	Klär- schlamm S9908 2292*
		W9805 2229	W9805 2230	W9805 2231		
4-tert.-Butylphenol	ng/l	816	-	<50	mg/kg TS	0,15
4-sec.-Butylphenol	ng/l	<50	-	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Amylphenol	ng/l	<50	-	<50	mg/kg TS	n.n.
4-tert.-Octylphenol	ng/l	<50	-	<50	mg/kg TS	0,11
4-Nonylphenol techn.	ng/l	604	-	920	mg/kg TS	0,37
NP1EO	ng/l	11.360	1.300	192	mg/kg TS	10
NP2EO	ng/l	20.570	797	<100	mg/kg TS	0,87
LAS	-	-	-	-	mg/kg TS	74
Butylhydroxyanisol	ng/l	103	-	<50	mg/kg TS	n.n.
Bisphenol A	ng/l	4.633	-	<50	mg/kg TS	0,39
Bisphenol F	-	-	-	-	mg/kg TS	n.n.
Dimethylphthalat	ng/l	980	2.000	<400	mg/kg TS	n.n.
Diethylphthalat	ng/l	2.500	4.700	<400	mg/kg TS	n.n.
Dibutylphthalat	ng/l	840	890	<500	mg/kg TS	n.n.
Butylbenzylphthalat	ng/l	<400	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Di(2-ethylhexyl)phthalat	ng/l	<1.000	<1.000	<1.000	mg/kg TS	n.n.
Diocetylphthalat	ng/l	<400	<400	<400	mg/kg TS	n.n.
Monobutyl-Sn-Kation	ng/l	<10	n.n.	n.n.	mg/kg TS	n.n.
Dibutyl-Sn-Kation	ng/l	n.n.	n.n.	n.n.	mg/kg TS	n.n.
Tributyl-Sn-Kation	ng/l	<10	<10	n.n.	mg/kg TS	n.n.

*: Nassschlamm

Nähere Angaben (Jahresmittelwerte) zur Kläranlage 17:

- Kenngrößen der Anlage (bezogen auf BSB₅)
Industrieanteil ~100 %
- Gemessene Zulaufwassermengen
Q im Jahresmittel ~15.000 m³/d
- Schlammfall
Gesamtmenge anfallender Schlämme (PS + ÜS) ~530 m³/d
Durchschnittlicher Trockensubstanzgehalt ~630 kg/m³
- Schlammstabilisierung
- Getrennte aerobe Stabilisierung
- Entwässerter Schlamm ~4.300 t TS/a

Anhang 3: Codierung der Proben pro Kläranlage

Tabelle 58: Auflistung der Proben und deren Bezeichnungen pro Kläranlage

Klär-anlage	Zulauf	Ablauf	entw. Schlamm	Nass-schlamm	kompost. Klär-schlamm
1	W9804 1788	W9804 1789	S9905 1331	-	-
2	W9805 2154	W9805 2155	S9905 1333	-	-
3	W9805 2031	W9805 2032	S9905 1337	S9905 1335/36	-
4	W9805 2020	W9805 2021	S9905 1339	-	-
5	W9803 1545	W9803 1546	S9905 1347 S9905 1348	-	-
6	W9803 1540	W9803 1541	S9906 1413	-	-
7	W9804 1973	W9804 1974	S9906 1414	-	-
8	W9804 1957	W9804 1958	S9906 1416	S9906 1415	S9906 1417
9	W9803 1309	W9803 1310	S9906 1513	S9906 1512	S9906 1514
10	W9803 1633	W9803 1634	S9908 2154	-	-
11	W9802 1087	W9802 1088	S9908 2172	-	-
12	W9804 1621	W9804 1622	S9908 2153	-	-
13	W9803 1350	W9803 1351	S9908 2173	-	-
14	W9805 2274	W9805 2275	S9908 2189	-	-
15	W9803 1536	W9803 1537	S9908 2262	-	-
16	W9802 1083	W9803 1084	S9908 2263	-	-
17	W9805 2229 W9805 2230	W9805 2231	-	S9908 2292	-

Anmerkungen:

- Von der Kläranlage 5 wurden zwei entwässerte Schlammproben untersucht (S9905 1347: frische Probe, S9905 1348: ca. 6 Monate gelagerte Probe).
- Von der Kläranlage 17 wurden zwei Abläufe beprobt.

Anhang 4: Literaturverzeichnis

- AHEL, M.; GIGER, W. (1985): Determination of alkylphenols and alkylphenol mono- and diethoxylates in environmental samples by high-performance liquid chromatography. *Analytical Chemistry* 57, 1577-1583.
- BÄTSCHER, R.; STUDER, C.; FENT, K. (1999): Stoffe mit endokriner Wirkung in der Umwelt. BUWAL-Schriftenreihe Umwelt, Nr. 308, Bern.
- BRUNNER, P.H.; CAPRI, S.; MARCOMINI, A.; GIGER, W. (1988): Occurrence and behaviour of linear alkylbenzenesulphonates, nonylphenol, nonylphenol mono- and nonylphenol diethoxylates in sewage and sewage sludge treatment. *Wat. Res.*, 22, 12, 1465-1472.
- CHALAUX, N.; BAYONA, J.M.; ALBAIGES, J. (1994): Determination of nonylphenols and pentafluorobenzyl derivatives by capillary gas chromatography with electroncapture and mass spectrometric detection in environmental matrices. *Journal of Chromatography, A*. 686, 275-281.
- DRESCHER-KADEN, U.; MATHHIES, M.; BRÜGGEMANN, R. (1989): Organische Schadstoffe in Klärschlämmen. *GWF-Wasser, Abwasser* 130. Jhg., 12/89, 613.
- FENT, K.; MÜLLER, D. (1991): Occurrence of Organotins in Municipal Wastewater and Sewage Sludge in a Treatment plant. *Environ. Sci. Technol.* 25, 489-493.
- FURTMANN, K. (1993): Phthalate in der aquatischen Umwelt. LWA- Materialien Nr. 6/93.
- GIGER, W.; BRUNNER, P.H.; SCHAFFNER, Ch. (1984): 4-Nonylphenol in sewage sludge: Accumulation of toxic metabolites from nonionic surfactants, *Science*, 225, 623-625.
- GIGER, W.; AHEL, M.; KOCH, M.; LAUBSCHER, H.U.; SCHAFFNER, Ch.; SCHNEIDER, J. (1986): Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactants and of nitrilotriacetate in sewage treatment. *Wat. Sci. Tech.*, 19. 449-460.
- GIGER, W.; BRUNNER, P. H.; AHEL, M.; MC EVOY, J.; MARCOMINI, A.; SCHAFFNER, C. (1987): Organische Waschmittelinhaltsstoffe und deren Abbauprodukte in Abwasser und Klärschlamm. *Gas-Wasser-Abwasser*, 67 Jg., 111ff.
- GÜLDEN, M.; TURAN, A.; SEIBERT, H. (1997): Substanzen mit endokriner Wirkung in Oberflächengewässern. Texte, 46/97, Umweltbundesamt Berlin.
- HARRIES, J.E.; SHEAHAN, D. A.; JOBLING, S.; MATTHIESSEN, P.; NEALL, P.; SUMPTER, J. P.; TYLOR, T.; ZAMAN, N.(1997): Estrogenic activity in five United Kingdom rivers detected by measurements of vitellogenesis in caged male trout. *Environ. Toxicol. Chem.* 16, 1997: 534-542.
- JANSSEN, I.; FELLINGER, R. & SCHRAMM, C. (1998): Ökologische Relevanz von hormonell wirksamen Substanzen in Österreich. Im Auftrag des BMUJF, Band 44.
- JOBLING, S.; REYNOLDS, T.; WHITE, R.; PARKER, M.G. & SUMPTER, J.P. (1995): A variety of environmentally persistent chemicals, including some phthalate plasticizers, are weakly estrogenic. *Environm. Health Perspect.*, 103, 581-587.
- JOBST, H.(1995): Chlorophenols and Nonylphenols in sewage sludges. 1.Occurence in sewage sludges of western German treatment plants from 1987-1989. *Acta Hydrochim. Hydrobiol.* 23, 20-25.
- KALBFUS, W.; STADLER, E. (1989): Abschätzung des Eintrags und der Verteilung von organischen Substanzen in Oberflächengewässern, Sedimenten, Klärschlämmen und Böden. Abschlußbericht UBA Forschungsvorhaben 106 05 064.
- KUNKEL, E. (1987): Tenside Surfactants Detergents, 24, 280 in THIELE, B.; GÜNTHER, K. & SCHWUGER, M.J.: Alkylphenol ethoxylates: Trace analysis and environmental behaviour. *Chemical Reviews*, 97, 8, 3247-3272.
- LEE, H.B. & PEART, T.E. (1995): Determination of 4-Nonylphenol in effluent and sludge from sewage treatment plants. *Analytical Chemistry*, 67, 1976-1980.

- MARCOMINI, A.; GIGER, W.; BRUNNER, P.H.; MCEVOY, J. (1986): In Recycling international; Thome-Kozmiensky, K.J., Ed.; EF/Verlag für Energie und Umwelttechnik. Berlin, 2, 917 in THIELE, B.; GÜNTHER, K.; SCHWUGER, M.J.: Alkylphenol ethoxylates: Trace analysis and environmental behaviour. Chemical Reviews, 97, 8, 3247-3272.
- MARCOMINI, A.; GIGER, W.; CAPEL, P.D. (1987): Determination of linear alkylbenzenesulfonates, alkylphenol polyethoxylates and nonylphenol in waste water by high-performance liquid chromatography. Journal of Chromatography, 403, 243-252.
- MARCOMINI, A.; TORTATO, C.; CAPRI, S. & LIBERATORI, A. (1993): Ann. Chim. 83, 461 in THIELE, B.; GÜNTHER, K.; SCHWUGER, M.J.: Alkylphenol ethoxylates: Trace analysis and environmental behaviour. Chemical Reviews, 97, 8, 3247-3272.
- NAYLOR, C.G.; MIEURE, J.P.; ADAMS, W.J.; WEEKS, J.A.; CASTALDI, F.J.; OGLE, L.D.; ROMANO, R. (1992): Alkylphenol ethoxylates in the environment. J. Am. Oil Chem. Soc., 69, 7, 695-703.
- NAYLOR, C.G.; WILLIAMS, J.B.; VARINEAU, P.T. & WEBB, D.A. (1996): In Proceedings of the 4th World Surfactants Congress, Barcelona, Spain, 4, 378 in THIELE, B.; GÜNTHER, K. & SCHWUGER, M.J.: Alkylphenol ethoxylates: Trace analysis and environmental behaviour. Chemical Reviews, 97, 8, 3247-3272.
- OEHLMANN, J.; SCHULTE-OEHLMANN, U.; STROBEN, E.; BETTIN, C.; FIORINI, P. (1995): Androgene Effekte zinnorganischer Verbindungen bei Mollusken. In UMWELTBUNDESAMT BERLIN: Umweltchemikalien mit endokriner Wirkung, Texte 65/95.
- OLLSON, P.; BORG, B.; BRUNSTRÖM, B.; HAKANSSON, H.; KLASSON-WEHLER, E. (1998): Endocrine disrupting substances. Swedish environmental protection agency, Stockholm.
- REISNER-OBERLEHNER, M. (1998): Bestehende gesetzliche Regelungen und internationale Aktivitäten. In WIENER MITTEILUNGEN (1998), Bd 153, 131-138.
- SCHNAAK, W.; DONAU, R.; ENGELKE, M.; HENSCHEL, K.P.; JOHN, T.; KÜCHLER, T.; PLÖGER, U.; RAAB, M.; SCHIMMIG, G.; SÜSSENBACH, D.; WRONSKI, B.; ZYDEK, G. (1995): Untersuchungen zum Vorkommen von ausgewählten organischen Schadstoffen im Klärschlamm und deren ökotoxikologischen Bewertung bei der Aufbringung von Klärschlamm auf Böden sowie Ableitung von Empfehlungen für Normwerte. Schlußbericht zum Forschungsvorhaben A8-11/93. Fraunhofer Institut, Bergholz-Rehbrücke, Deutschland.
- SCOPE NEWSLETTER (2000): EU considers tighter sludge spreading rules. Published in SCOPE NEWSLETTER, No. 47 from June 2000. CEFIC avenue E. Van Nieuwenhyse 4, bte 2 B1160, Brussels Belgium.
- SOTO, A.M.; SONNSCHEIN, C.; CHUNG, K.L.; FERNANDEZ, M.F.; OLEA, N.; OLEA SERRANO, F. (1995): The e-screen assay as a tool to identify estrogens: an update on estrogenic environmental pollutants. Environm. Health Perspect. 103/7, 113-122.
- SWEATMAN, A.J. (1994): Development and application of multi-residue analytical method for the determination of n-alkanes, linear alkylbenzenes, polynuclear aromatic hydrocarbons and 4-nonylphenol in digested sewage sludges. Wat. Res., 28, 2, 343-353.
- TSCHUI, M.; BRUNNER, P.H. (1985): Die Bildung von 4-Nonylphenol aus 4-Nonylphenolmono- und diethoxylat bei der Schlammfäulung. Vom Wasser, 65, 9-19.
- UMWELTBUNDESAMT (1995a): LAS in der Umwelt – Literaturstudie und Untersuchung zu Waschmittelinhaltsstoffen. UBA-BE-95-105.
- UMWELTBUNDESAMT (1995b): Analytische Untersuchungen von Klärschlamm. Analysenbericht. UBA-BE-046.
- UMWELTBUNDESAMT (1997): Zur Situation der Verwertung und Entsorgung des kommunalen Klärschlammes in Österreich. Monographie. UBA-M095.
- UMWELTBUNDESAMT (1998): Nonylphenole in der Umwelt – Übersicht und erste Analyseergebnisse. UBA-BE-121.
- UMWELTBUNDESAMT (1999A): HORMONELL WIRKSAME SUBSTANZEN IN FLIEßGEWÄSSERN. DATENBERICHT UBA-BE-150.

- UMWELTBUNDESAMT (1999b): Hormonell wirksame Substanzen im Zu- und Ablauf von Kläranlagen. Datenbericht UBA-BE-151.
- UMWELTBUNDESAMT (2000): Abwasser- und Klärschlamm- Untersuchungen in der Pilotkläranlage Entsorgungsbetriebe Simmering (EbS). Monografie, Band 121.
- WAHLBERG, C.; RENBERG, L. & WIDEQVIST, U. (1990): Determination of nonylphenol and nonylphenol ethoxylates as their pentafluorobenzoates in water, sewage sludge and biota. *Chemosphere*, 20, 1/2, 179-195.
- WAMS, T.J. (1987): Diethylhexylphthalate as Environmental Contaminant – A Review. *Sci. Total Environ.* 66, 1-16.
- WARHURST, A.M. (1995): An environmental assessment of alkylphenol ethoxylates and alkylphenols. *Friends of the earth*.
- WENZEL, A.; KÜCHLER, T.; HENSCHER, K.P.; SCHNAACK, W.; DIETRICH, M.; MÜLLER, J. (1998): Konzentrationen östrogen wirksamer Substanzen in Umweltmedien. Umweltbundesamt/Fraunhofer Institut für Umweltchemie und Ökotoxikologie Schmallenberg und Bergholz-Rehbrücke. Berlin, Umweltforschungsplan Vol UFOPLAN 216 01 011/11, p.88.
- ZELLNER, A.; KALBFUS, W. (1997): Belastung bayerischer Gewässer durch Nonylphenole. In: *Stoffe mit endokriner Wirkung im Wasser. Münchener Beiträge zur Abwasser-, Fischerei- und Flußbiologie*, Band 50. Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft, Institut für Wasserforschung- (Hrsg.), Oldenbourg- Verlag München.

Anhang 5: Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
APEO	Alkylphenoethoxylat
BG	Bestimmungsgrenze
BHA	Butylhydroxyanisol
BPA	Bisphenol A
BPF	Bisphenol F
d	Tag
DBT	Dibutylzinnverbindungen
entw.	entwässert
komp.	kompostiert
Lab.Nr.	Labornummer
LAS	lineare Alkylbenzolsulfonate
Max.	Maximum
MBT	Monobutylzinnverbindungen
Min.	Minimum
MW	Mittelwert
n	Anzahl der Proben
n.a.	nicht auswertbar
NG	Nachweisgrenze
n.n.	nicht nachweisbar
NP	Nonylphenol
-	nicht analysiert
NPEO	Nonylphenoethoxylat
NP1EO	Nonylphenolmonoethoxylat
NP2EO	Nonylphenoldiethoxylat
oTS	organische Trockensubstanz
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PS	Primärschlamm
TBT	Tributylzinnverbindungen
TS	Trockensubstanz
ÜS	Überschussschlamm

Anhang 6: Tabellenverzeichnis

<i>Tabelle 1: Art der Klärschlammproben</i>	11
<i>Tabelle 2: Anzahl der Kläranlagen pro Bundesland</i>	11
<i>Tabelle 3: Nachweis- und Bestimmungsgrenzen der untersuchten Parameter in Klärschlammproben.</i>	15
<i>Tabelle 4: Untersuchungsergebnisse der Alkylphenole</i>	18
<i>Tabelle 5: Literaturdaten von Nonylphenol im Klärschlamm</i>	20
<i>Tabelle 6: Untersuchungsergebnisse der Nonylphenoethoxylate</i>	21
<i>Tabelle 7: Literaturdaten von Nonylphenoethoxylaten im Klärschlamm</i>	22
<i>Tabelle 8: Untersuchungsergebnisse der LAS</i>	23
<i>Tabelle 9: Abbau von LAS in Kläranlagen</i>	24
<i>Tabelle 10: LAS in Klärschlämmen</i>	25
<i>Tabelle 11: Untersuchungsergebnisse von Butylhydroxyanisol</i>	26
<i>Tabelle 12: Untersuchungsergebnisse der Bisphenole</i>	27
<i>Tabelle 13: Bisphenol A-Werte im Klärschlamm</i>	28
<i>Tabelle 14: Untersuchungsergebnisse der Phthalate</i>	30
<i>Tabelle 15: Phthalate im Klärschlamm</i>	31
<i>Tabelle 16: Untersuchungsergebnisse der Organozinnverbindungen</i>	33
<i>Tabelle 17: Untersuchungsergebnisse der Alkylphenole (anlagenbezogener Vergleich verschiedener Klärschlammarten)</i>	37
<i>Tabelle 18: Untersuchungsergebnisse der Parameter Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS (anlagenbezogener Vergleich verschiedener Klärschlammarten)</i>	38
<i>Tabelle 19: Untersuchungsergebnisse der Phthalate (anlagenbezogener Vergleich verschiedener Klärschlammarten)</i>	39
<i>Tabelle 20: Untersuchungsergebnisse der Organozinnverbindungen (anlagenbezogener Vergleich verschiedener Klärschlammarten)</i>	40
<i>Tabelle 21: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Alkylphenole</i>	41
<i>Fortsetzung Tabelle 21: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Alkylphenole</i>	42
<i>Tabelle 22: Kenngrößen der Alkylphenole im entwässerten Schlamm</i> ⁴²	
<i>Tabelle 23: Nassschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Alkylphenole</i>	43
<i>Tabelle 24: kompostierter Klärschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Alkylphenole</i>	43
<i>Tabelle 25: Kenngrößen der Alkylphenole im Nassschlamm</i>	43
<i>Tabelle 26: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS</i>	44
<i>Fortsetzung Tabelle 26: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS</i>	45
<i>Tabelle 27: Kenngrößen der Parameter Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS im entwässerten Schlamm</i>	45
<i>Tabelle 28: Nassschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/ Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS</i>	46

<i>Tabelle 29: kompostierter Klärschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/ Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 30: Kenngrößen der Parameter Nonylphenoethoxylate, Bisphenole, Butylhydroxyanisol und LAS im Nassschlamm.....</i>	<i>46</i>
<i>Tabelle 31: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Phthalate.....</i>	<i>47</i>
<i>Fortsetzung Tabelle 31: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Phthalate.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 32: Kenngrößen der Phthalate im entwässerten Schlamm.....</i>	<i>48</i>
<i>Tabelle 33: Nassschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Phthalate.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 34: kompostierter Klärschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/ Phthalate.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 35: Kenngrößen der Phthalate im Nassschlamm.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabelle 36: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Organozinnverbindungen.....</i>	<i>50</i>
<i>Fortsetzung Tabelle 36: entwässerter Schlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Organozinnverbindungen.....</i>	<i>50</i>
<i>Tabelle 37: Nassschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Organozinnverbindungen.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabelle 38: kompostierter Klärschlamm – tabellarische Darstellung der Untersuchungsergebnisse/Organozinnverbindungen.....</i>	<i>51</i>
<i>Tabelle 39: Kenngrößen der Organozinnverbindungen im entwässerten Schlamm.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 40: Kenngrößen der Organozinnverbindungen im Nassschlamm.....</i>	<i>52</i>
<i>Tabelle 41: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 1.....</i>	<i>53</i>
<i>Tabelle 42: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 2.....</i>	<i>54</i>
<i>Tabelle 43: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 3.....</i>	<i>55</i>
<i>Tabelle 44: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 4.....</i>	<i>56</i>
<i>Tabelle 45: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 5.....</i>	<i>57</i>
<i>Tabelle 46: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 6.....</i>	<i>58</i>
<i>Tabelle 47: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 7.....</i>	<i>59</i>
<i>Tabelle 48: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 8.....</i>	<i>60</i>
<i>Tabelle 49: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 9.....</i>	<i>61</i>
<i>Tabelle 50: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 10.....</i>	<i>62</i>
<i>Tabelle 51: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 11.....</i>	<i>63</i>
<i>Tabelle 52: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 12.....</i>	<i>64</i>
<i>Tabelle 53: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 13.....</i>	<i>65</i>
<i>Tabelle 54: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 14.....</i>	<i>66</i>
<i>Tabelle 55: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 15.....</i>	<i>67</i>
<i>Tabelle 56: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 16.....</i>	<i>68</i>
<i>Tabelle 57: Untersuchungsergebnisse der Kläranlage 17.....</i>	<i>69</i>
<i>Tabelle 58: Auflistung der Proben und deren Bezeichnungen pro Kläranlage.....</i>	<i>70</i>