

EMISSIONEN ORGANISCHER UND ANORGANISCHER STOFFE AUS KOMMUNALEN KLÄRANLAGEN

Manfred Clara
Monika Denner
Oliver Gans
Sigrid Scharf
Georg Windhofer
Matthias Zessner

REPORT
REP-0247

Wien, 2009

Projektleitung

Georg Windhofer (Umweltbundesamt)

AutorInnen

Manfred Clara (Umweltbundesamt)

Monika Denner (Umweltbundesamt)

Oliver Gans (Umweltbundesamt)

Sigrid Scharf (Umweltbundesamt)

Georg Windhofer (Umweltbundesamt)

Matthias Zessner (Technische Universität Wien)

Übersetzung

Brigitte Read (Umweltbundesamt)

Lektorat

Yvonne Spira (Umweltbundesamt)

Maria Deweis (Umweltbundesamt)

Satz/Layout

Ute Kutschera (Umweltbundesamt)

Unser besonderer Dank gilt allen beteiligten Kläranlagenbetreibern für die Kooperation und die konstruktive Zusammenarbeit.

Diese Publikation wurde im Auftrag des Bund-Bundesländer Arbeitskreises C zur Wasserrahmenrichtlinie (Emissionen und Maßnahmen) erstellt und vom Lebensministerium (Sektion VII) und den Ämtern der neun Landesregierungen finanziert.

Weitere Informationen zu Umweltbundesamt-Publikationen unter: <http://www.umweltbundesamt.at/>

Impressum

Medieninhaber und Herausgeber: Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5, 1090 Wien/Österreich

Eigenvervielfältigung

Gedruckt auf CO₂-neutralem 100 % Recyclingpapier.

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2009

Alle Rechte vorbehalten

ISBN 978-3-99004-047-8

INHALT

ZUSAMMENFASSUNG	5
SUMMARY	13
1 EINLEITUNG	15
2 KLÄRANLAGENKATEGORISIERUNG	17
2.1 Festlegung der Kategorien	17
2.1.1 Einleiterstruktur im Einzugsgebiet:.....	17
2.1.2 Ausbaugröße.....	18
2.1.3 Nicht berücksichtigte Parameter	18
2.1.4 Kategoriendefinition und -kurzbeschreibung.....	19
2.2 Kläranlagenzuordnung	21
2.2.1 Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet.....	21
2.2.2 Ausbaugröße.....	21
2.2.3 Zuordnung der Kläranlagen zu den Kategorien	22
2.2.4 Kläranlagenauswahl.....	23
3 KRITERIEN FÜR DIE STOFFEINGRENZUNG/STOFFAUSWAHL	27
4 CHEMISCHE ANALYTIK	28
4.1 Prioritäre und prioritär gefährliche Stoffe	28
4.1 Sonstige Stoffe	30
5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION	33
5.1 Ergebnisse der Kategorisierung	33
5.2 Prioritäre Stoffe	35
5.2.1 Ergebnisse der Stoffeingrenzung.....	35
5.2.2 Ergebnisse prioritäre Pflanzenschutzmittel.....	38
5.2.3 Ergebnisse prioritärer und prioritär gefährlicher Stoffe (außer Pflanzenschutzmittelwirkstoffe).....	40
5.2.4 Zusammenfassung prioritäre Stoffe	54
5.3 Sonstige geregelte Stoffe	54
5.3.1 Ergebnisse sonstige geregelte Pflanzenschutzmittel	57
5.3.2 Ergebnisse sonstige Stoffe (ausgenommen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe).....	58
5.3.3 Zusammenfassung sonstige Stoffe.....	69
5.4 Verhalten ausgewählter Stoffe und Stoffgruppen bei der biologischen Abwasserreinigung	70
5.4.1 Prioritäre Stoffe und Stoffgruppen	71
5.4.2 Sonstige Stoffe und Stoffgruppen	74
5.4.3 Fazit Stoffbilanzierungen.....	76

6	UNTERSUCHUNGEN IN ANDEREN EUROPÄISCHEN LÄNDERN	79
6.1	Deutschland	79
6.2	Schweiz	80
6.3	Niederlande	81
6.4	Frankreich	82
6.5	Dänemark	84
6.6	Schweden	85
6.7	Zusammenfassung	86
7	LITERATURVERZEICHNIS	87
8	ANHÄNGE	94
	Anhang 1: Stoffliste mit Angabe der Umweltqualitätsnormen	94
	Anhang 2: Bestimmungs- (BG) und Nachweisgrenzen (NG) der untersuchten Stoffe in µg/l	97
	Anhang 3: Zusammenfassung der Ergebnisse von Modul 1	102
	Anhang 4: Zusammenfassung der Ergebnisse von Modul 2 (Ablaufmonitoring)	107
	Anhang 5: Zusammenfassung der Ergebnisse von Modul 2 (Bilanzierung)	110

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Festlegung der verschiedenen Kategorien (IE: Indirekteinleiteranteil).....	19
Abbildung 2: Zusammenhang zwischen berechneten einwohnerspezifischen Zulauffrachten [mg/EW/d] und dem Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet: a) die Variabilität der spezifischen Einwohnerfrachten und die Maximalwerte der spezifischen Einwohnerfrachten steigen mit zunehmendem Indirekteinleiteranteil b) die spezifischen Einwohnerfrachten sinken mit zunehmendem Indirekteinleiteranteil.	34
Abbildung 3: Mittelwerte [$\mu\text{g/l}$] und Maximalwerte der Ablaufmessungen kommunaler Kläranlagen relativ zur jeweiligen Umweltqualitätsnorm für Atrazin, Benzol, Isoproturon, Simazin, C ₁₀₋₁₃ Chloralkane und Blei.	37
Abbildung 4: Ergebnisse der Messungen der prioritären und der prioritär gefährlichen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe im Ablauf kommunaler Kläranlagen:	39
Abbildung 5: Ergebnisse der Messungen der im Ablauf kommunaler Kläranlagen untersuchten prioritären und der prioritär gefährlichen Stoffe bzw. Stoffgruppen (ausgenommen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe):	41
Abbildung 6: Darstellung der Mittelwerte relativ zur Umweltqualitätsnorm UQN für die im Ablauf kommunaler Kläranlagen untersuchten prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe bzw. Stoffgruppen (ausgenommen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe).....	42
Abbildung 7: Summen der gemessenen Konzentrationen der Kongenere BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153 und BDE 154 in 15 Zu- und 60 Ablaufproben kommunaler Kläranlagen (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).....	44
Abbildung 8: Vergleich der Konzentrationen polybromierter Diphenylether in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen in den Jahren 2002, 2007 und 2008.	44
Abbildung 9: Cadmiumkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).	46
Abbildung 10: Diuron [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Ablaufproben kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).....	48

Abbildung 11: Nonylphenole [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Ablaufproben kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).....	49
Abbildung 12: Messungen von Nonylphenolen in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen in Österreich während der letzten 10 Jahre (UMWELTBUNDESAMT 1998; UMWELTBUNDESAMT 1999; ARCEM 2003; CLARA et al. 2005; CLARA et al. 2007).....	51
Abbildung 13: Tributylzinnverbindungen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).	52
Abbildung 14: Untersuchungsergebnisse [$\mu\text{g/l}$] zu Tributylzinn in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen in Österreich (UMWELTBUNDESAMT 2002).	53
Abbildung 15: Mittelwerte [$\mu\text{g/l}$] und Schwankungsbereich der Ablaufmessungen in kommunaler Kläranlagen in Relation zur jeweiligen Umweltqualitätsnorm für Benzylchlorid, Bisphenol-A, Dibutylzinnverbindungen, 2,4-Dichlorphenol, Phosalon und Arsen.	56
Abbildung 16: Ergebnisse der Messungen der untersuchten sonstigen Stoffe bzw. Stoffgruppen im Ablauf kommunaler Kläranlagen (ausgenommen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe):.....	59
Abbildung 17: Darstellung der Mittelwerte relativ zur Umweltqualitätsnorm für AOX, EDTA, NTA, Trichlorfon und Selen im Ablauf kommunaler Kläranlagen; bei Kupfer und Zink: ● bezogen auf die härteabhängige höchste UQN; ● bezogen auf die härteabhängige geringste UQN.....	60
Abbildung 18: AOX [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen.	61
Abbildung 19: EDTA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Ablaufproben kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).	62
Abbildung 20: NTA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Ablaufproben kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).	63
Abbildung 21: Kupfer [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).....	65

Abbildung 22: Selen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).....	67
Abbildung 23: Zink [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).....	68
Abbildung 24: Ergebnisse der Bilanzierung für Phosphor und die ausgewählten prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe bzw. Stoffgruppen in kommunalen Kläranlagen.	71
Abbildung 25: Ergebnisse der Bilanzierung für Phosphor und für die ausgewählten sonstigen Stoffe bzw. Stoffgruppen in kommunalen Kläranlagen.....	74

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1:	Kläranlagenzuordnung aufgrund des Indirekteinleiteranteils.	21
Tabelle 2:	Kläranlageneinteilung aufgrund der Ausbaugröße.....	21
Tabelle 3:	Kläranlagenzuordnung für 420 Anlagen.....	22
Tabelle 4:	Zuordnung der Kläranlagen (Anzahl) nach dem angewandten Reinigungsverfahren (SBR: Sequencing Batch Reactor).....	23
Tabelle 5:	Charakterisierung der beprobten Kläranlagen (M: Mischkanalisation, T: Trennkanalisation, C: Kohlenstoffentfernung, P: Phosphorentfernung, N...Nitrifikation, D: Denitrifikation).....	25
Tabelle 6:	Liste der prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe gemäß Anhang X WRRL.....	36
Tabelle 7:	In Modul 2 untersuchte prioritäre und prioritär gefährliche Stoffe bzw. Stoffgruppen im Ablauf kommunaler Kläranlagen.....	38
Tabelle 8:	Zusammenfassung der Ergebnisse für die untersuchten Pflanzenschutzmittel in kommunalen Kläranlagen.....	38
Tabelle 9:	Zusammenfassung der Ergebnisse der im Ablauf von Kläranlagen untersuchten prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe (außer Pflanzenschutzmittel).....	40
Tabelle 10:	Cadmiumkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten.....	46
Tabelle 11:	Nonylphenole [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Zahlen in Klammern sind Mittelwerte).....	50
Tabelle 12:	Liste der sonstigen untersuchten Stoffe bzw. Stoffgruppen in kommunalen Kläranlagen.....	55
Tabelle 13:	In Modul 2 untersuchte sonstige Stoffe bzw. Stoffgruppen in kommunalen Kläranlagen.....	57
Tabelle 14:	Zusammenfassung der Ergebnisse für die untersuchten sonstigen Pflanzenschutzmittel in kommunalen Kläranlagen.....	57
Tabelle 15:	Zusammenfassung der Ergebnisse der untersuchten sonstigen Stoffe und Stoffgruppen (außer Pflanzenschutzmittel) in kommunalen Kläranlagen.....	58
Tabelle 16:	EDTA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten. Die Werte in Klammern sind Mittelwerte.....	63
Tabelle 17:	Kupferkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten. (Die Werte in Klammern sind Mittelwerte).....	65
Tabelle 18:	Selenkonzentrationen in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten. (Werte in Klammern sind Mittelwerte).....	67

Tabelle 19: Zinkkonzentrationen in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten. Werte in Klammern sind Mittelwerte.....	69
Tabelle 20: Zusammenfassung der Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockensubstanz] der Schlammuntersuchungen kommunaler Kläranlagen.....	70
Tabelle 21: Bilanzierungsanlage 1: Massenflüsse [g/d bzw. % des Zulaufs] der untersuchten prioritären Stoffe und von Phosphor.....	72
Tabelle 22: Bilanzierungsanlage 2: Massenflüsse [g/d bzw. % des Zulaufs] der untersuchten prioritären Stoffe und von Phosphor.....	72
Tabelle 23: Bilanzierungsanlage 1: Massenflüsse [g/d bzw. % des Zulaufs] der untersuchten sonstigen Stoffe.....	75
Tabelle 24: Bilanzierungsanlage 2: Massenflüsse [g/d bzw. % des Zulaufs] der untersuchten sonstigen Stoffe.....	75
Tabelle 25: Zu- und Ablaufkonzentrationen kommunaler Kläranlagen [$\mu\text{g}/\text{l}$] (Minimum und Maximum) und mittlere Entfernung [%] ausgewählter Stoffe (FAHLENKAMP et al. 2008).....	80
Tabelle 26: Ergebnisse der Untersuchungen prioritärer und sonstiger Stoffe in Kläranlagenabläufen in der Schweiz (GÄLLI et al. 2009).	80
Tabelle 27: Ergebnisse der niederländischen Studie: im Ablauf kommunaler Kläranlagen als relevant eingestufte Stoffe nach DE JONG et al. (2005).....	81
Tabelle 28: Literaturwerte zu prioritären und sonstigen Stoffen und Stoffgruppen in Zu- und Abläufen sowie Klärschlämmen kommunaler Kläranlagen [$\mu\text{g}/\text{l}$] (RUEL et al. 2008).	83
Tabelle 29: Prioritäre und sonstige Stoffe und Stoffgruppen in Zu- und Abläufen [$\mu\text{g}/\text{l}$] französischer Kläranlagen (ESPERANZA et al. 2008).	83
Tabelle 30: Ergebnisse der dänischen Studie: Konzentrationen [$\mu\text{g}/\text{l}$] prioritärer und sonstiger Stoffe bzw. Stoffgruppen in Zu- und Abläufen dänischer Kläranlagen (NOVANA 2005).....	85
Tabelle 31: Prioritäre und sonstige Stoffe bzw. Stoffgruppen, die aufgrund von Literaturdaten im Ablauf kommunaler Kläranlagen von Relevanz sein könnten.	86

ZUSAMMENFASSUNG

Im Zuge der Untersuchungen wurde kommunales Abwasser auf die 33 prioritären Stoffe bzw. Stoffgruppen gemäß Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) und 47 sonstigen Stoffe bzw. Stoffgruppen untersucht, die in der Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG) geregelt sind. Ziele des Projektes waren

- die Erhebung von Daten zum Vorkommen dieser Stoffe in kommunalen Abwässern,
- die Schaffung fachlicher Grundlagen zur Unterstützung in Verwaltungsverfahren und
- die Eingrenzung der prioritären Stoffe, für die die Emissionsregisterverordnung (EmRegV-OW) die verpflichtende Erfassung der Jahresfracht durch Einzelmessungen vorschreibt.

In einem ersten Modul wurden 15 Kläranlagenzu- und -abläufe auf über 100 Einzelstoffe untersucht. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde eine Stoffeingrenzung durchgeführt und mit Literaturwerten abgeglichen. Der Analysenumfang konnte auf 16 Stoffe bzw. Stoffgruppen eingeschränkt werden, die in einem zweiten Modul bei neun Kläranlagen ein Jahr lang zweimonatlich in den Abläufen gemessen wurden. Zudem wurden bei zwei Beprobungszyklen Pflanzenschutzmittel analysiert, um die Ergebnisse des ersten Projektmoduls abzusichern.

Basierend auf den Ergebnissen der Untersuchungen in den Abläufen kommunaler Kläranlagen werden die folgenden prioritären Stoffe bzw. Stoffgruppen als relevant eingestuft, wobei als Relevanzkriterium das Umweltqualitätsziel gemäß RL 2008/105/EG bzw. QZV Chemie OG herangezogen wurde. Diese für Kläranlagenabläufe relevanten Stoffe und Stoffgruppen sind in der folgenden Tabelle zusammengefasst.

Tabelle: In Abläufen kommunaler Kläranlagen als relevant eingestufte prioritäre und sonstige Stoffe und Stoffgruppen.

Prioritäre Stoffe	Sonstige Stoffe
Polybromierte Diphenylether	Adsorbierbare organische Halogene AOX
Cadmium	Ethylendiamintetraessigsäure EDTA
Diuron	Nitilotriessigsäure NTA
Nonylphenole	Kupfer
Tributylzinnverbindungen	Selen
	Zink

Somit konnten die für den Ablauf kommunaler Kläranlagen relevanten Stoffe von ursprünglich rund 110 Einzelsubstanzen auf elf Stoffe eingegrenzt werden. Von diesen werden vier Substanzen für die verpflichtende Erfassung der Jahresfrachten durch Einzelmessungen im Zuge der Emissionsregisterverordnung (EmRegV-OW) vorgeschlagen:

- Cadmium
- Diuron
- Nonylphenole
- Tributylzinnverbindungen

Ziele der Untersuchung

11 relevante Stoffe

4 verpflichtend zu messende Stoffe

polybromierte Diphenylether Bei den polybromierten Diphenylethern lagen nahezu alle Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze. Es wird empfohlen, die Untersuchung zu wiederholen, sobald die analytische Bestimmung dieser Stoffgruppe im Bereich der Umweltqualitätsnorm möglich ist. Dadurch sollten die Unsicherheiten, bedingt durch analytische Nachweise unterhalb der Bestimmungsgrenzen und den großen Unterschied zwischen Bestimmungs- und Nachweisgrenze ausgeschlossen werden können, bevor eine verpflichtende Messung dieser Stoffgruppe vorgeschrieben wird.

Abbauverhalten ausgewählter Stoffe Zusätzlich zu diesen Ablaufbeprobungen wurden ausgewählte Stoffe und Stoffgruppen aus zwei Kläranlagen bilanziert, um Aussagen über das Verhalten dieser Stoffe bei der Abwasserreinigung treffen zu können. Von den prioritären Stoffen werden nur Nonylphenole abgebaut, wohingegen Diuron in der Kläranlage nicht zurückgehalten wird und Cadmium, polybromierte Diphenylether und Tributylzinnverbindungen im Klärschlamm angereichert werden.

Es ist nicht auszuschließen, dass in dieser Studie als nicht relevant im Kläranlagenablauf eingestufte Stoffe bzw. Stoffgruppen im Einzelfall doch von Bedeutung sein könnten. Eine Veränderung der verfügbaren Daten (größerer Datenumfang, Änderung des Referenzkriteriums/Gütezieles) kann auch zu abweichenden Schlussfolgerungen führen.

SUMMARY

Municipal wastewaters were investigated regarding the occurrence of the 33 priority substances according to the Water Framework Directive (WFD; Directive 60/2000/EC) and the 47 other substances of national concern according to national legislation setting environmental quality standards for surface waters (Ordinance on Ecological Quality Objectives for Surface Waters – Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer). The project aims were

- the generation of data on the occurrence of these compounds in municipal wastewaters,
- the generation of a technical basis to assist administrative procedures and
- the restriction of the number of priority substances for which the determination of discharged annual loads on the basis of emission measurements is obligatory under the Emission Register Ordinance.

In a first module 15 wastewater treatment plant influent and effluent samples were analysed for more than 100 substances. Based on the results of this screening, the number of substances to be monitored over one year was restricted to 16 compounds and compared to literature values. In a second module these 16 substances were observed in effluent samples of nine wastewater treatment plants at two-month intervals. Additionally, active ingredients contained in plant protection products were analysed during two sampling campaigns in order to evaluate the results observed during module one.

Based on the results of these investigations the following substances are regarded as relevant in municipal wastewater treatment plant effluents, with the environmental quality standards according to Directive 2008/105/EC and national Austrian legislation (Ordinance on Ecological Quality Objectives for Surface Waters (Chemicals)) being the criteria for evaluation. These priority – and other – substances identified as relevant in treated wastewater are summarised in the table.

Table: Relevant priority and other substances in treated municipal wastewater.

priority substances	other substances
polybrominated diphenyl ether	adsorbable organohalogens (AOX)
cadmium	ethylenediaminetetraacetic acid (EDTA)
diuron	nitrilotriacetic acid (NTA)
nonylphenols	copper
tributyltin compounds	selenium
	zinc

Hence eleven out of approx. 110 substances were identified as relevant in the treated sewage. Four of these eleven compounds are proposed for the obligatory determination of discharged annual loads by emission measurements in line with the respective national legislation (Emission Register Ordinance – Emissionsregisterverordnung). The four substances are:

- Cadmium
- Diuron
- Nonylphenols
- Tributyltin compounds

Nearly all measurements for the brominated diphenyl ethers were below the analytical limit of quantification. It is recommended that the measurements should be repeated as soon as an appropriate analytical method is available in order to avoid uncertainties due to the indicated difficulties. With the currently available methodology it does not make sense to make the determination of discharged loads by effluent measurements an obligatory requirement.

In addition to effluent monitoring, selected compounds were subjected to a mass balance calculation in two wastewater treatment plants, in order to obtain information on the fate of these compounds during wastewater treatment. Of the investigated priority substances only nonylphenol is (at least partially) degraded, whereas diuron is not removed at all. Diuron concentrations in influent and in the effluent samples were comparable. Cadmium, brominated diphenyl ethers as well as tributyltin compounds were removed during treatment and the major removal pathway for these compounds was through adsorption on sludge.

From the results obtained it cannot be excluded that compounds which were found to be of no relevance for treated municipal wastewater in the present study might be of importance in individual cases. Variations and changes of the dataset (larger dataset, changes of the relevance criteria/environmental quality standards) might also lead to other, potentially differing conclusions.

1 EINLEITUNG

Durch die Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG) werden Umweltqualitätsnormen (UQN) festgelegt. Viele synthetische und nicht-synthetische Schadstoffe gelangen über Abwassereinleitungen auch aus kommunalen Abwasserreinigungsanlagen in die Oberflächengewässer. Derartige Einleitungen sind gemäß Wasserrechtsgesetz (WRG; § 32 Abs. 2) bewilligungspflichtig und unter Anwendung des kombinierten Ansatzes zu bewerten. Die Behörde hat bei der Bewilligung die Emission gemäß dem Stand der Technik zu begrenzen. Sollte diese Emissionsbegrenzung nicht ausreichen, um eine Einhaltung der Umweltqualitätsziele im betroffenen Wasserkörper zu gewährleisten, sind über den Stand der Technik hinausgehende Maßnahmen zum Schutz des Gewässers aufzuerlegen.

Umweltqualitätsnormen

kombinierter Ansatz

Für kommunale Kläranlagen liegen kaum Angaben zum Vorkommen der in den Anhängen A und B der QZV Chemie OG aufgelisteten Schadstoffe in Zu- und Abläufen und über das Entfernungspotenzial vor.

Die wesentlichen Ziele der Studie sind:

Ziele der Studie

- Verbesserung des Wissenstandes zu
 - Vorkommen der 72 synthetischen und nicht-synthetischen Schadstoffe bzw. Stoffgruppen der QZV Chemie OG in kommunalem Abwasser.
 - jenen Stoffen und Stoffgruppen, für die mit RL 2008/105/EG auf Europäischer Ebene Umweltqualitätsnormen festgelegt worden sind.
 - Verhalten dieser Stoffe in kommunalen Kläranlagen.
- Schaffung fachlicher Grundlagen als Entscheidungshilfe in Verwaltungsvorfahren.
- Eingrenzung der Stoffe der Kategorie B (Spalte IV, Tabelle 2, Anlage A der Emissionsregisterverordnung (EmRegV-OW) für kommunale Kläranlagen als Datengrundlage für den Ministererlass.

Es ist *nicht Ziel* und auch *nicht zulässig*, basierend auf den Ergebnissen der Messungen einen Stand der Technik bzgl. der untersuchten Stoffe und Stoffgruppen für kommunale Kläranlagen abzuleiten.

Das Untersuchungsprogramm wurde in zwei Module gegliedert: In einem ersten Modul wurden die österreichischen Kläranlagen einer Kategorisierung unterzogen und 15 ausgewählte Vertreter der verschiedenen Kategorien auf die 72 Stoffe bzw. Stoffgruppen der Anhänge A und B der QZV Chemie OG untersucht. Zusätzlich zu diesen 72 Substanzen wurden auch solche berücksichtigt, für die auf Europäischer Ebene Umweltqualitätsnormen (RL 2008/105/EG) festgelegt wurden. Insgesamt wurden über 100 Einzelsubstanzen untersucht. Diese sind in Anhang 1 angeführt. Unter Berücksichtigung von Literaturdaten und der Ergebnisse der Beprobung wurde eine Eingrenzung der zu analysierenden Parameter durchgeführt.

Modul 1: Auswahl aus > 100 Stoffen

Im Zuge des zweiten Projektmoduls wurde ein Monitoringprogramm mit diesem in Modul 1 eingegrenzten Analysenumfang durchgeführt. Dazu wurden neun Kläranlagenabläufe ein Jahr lang zweimonatlich beprobt.

Modul 2: Monitoring der Auswahl

Zusätzlich wurden diese Kläranlagenabläufe im Zeitraum April bis Juli bei zwei Probenahmezyklen auf alle in der QZV Chemie OG geregelten Pflanzenschutzmittelwirkstoffe analysiert. Das Ziel dieser Untersuchung war, die im

Analyse von Pflanzenschutzmitteln

Rahmen von Modul 1 getroffenen Aussagen bzgl. der Pflanzenschutzmittel zu validieren und abzusichern. Die Beprobung in Modul 1 wurde im September durchgeführt und damit außerhalb der Hauptanwendungszeit der meisten Pflanzenschutzmittel. Nichtsdestotrotz wurden verschiedene Wirkstoffe in mehreren Kläranlagenabläufen nachgewiesen.

Während diese Ablaufbeprobungen dazu dienen, die Datenlage bezüglich der zu untersuchenden Stoffe und Stoffgruppen zu verdichten, sollten zudem Aussagen zum Verhalten ausgewählter Substanzen bei der Abwasserreinigung gewonnen werden. Dazu wurden zwei einstufige Kläranlagen über zehn Tage beprobt und eine Bilanzierung durchgeführt. Um eine solche durchführen zu können, war es erforderlich, auch den Belebtschlamm zu analysieren.

Die Ergebnisse wurden sowohl mit Literaturdaten als auch mit Ergebnissen ähnlicher Studien in anderen europäischen Ländern verglichen.

2 KLÄRANLAGENKATEGORISIERUNG

2.1 Festlegung der Kategorien

Im Zuge der Auswahl der für die Kategorisierung relevanten Kriterien wurden die folgenden Parameter berücksichtigt:

Kriterienauswahl

- Einleiterstruktur im Einzugsgebiet,
- Ausbaugröße,
- Angewandtes Reinigungsverfahren/Verfahrenstechnik,
- Reinigungsleistung,
- Entwässerungssystem.

Die in weiterer Folge dargestellte Kategorisierung basierte auf den Kriterien Einleiterstruktur im Einzugsgebiet und Ausbaugröße. Die Parameter Reinigungsverfahren, Reinigungsleistung und Entwässerungssystem wurden nicht berücksichtigt.

2.1.1 Einleiterstruktur im Einzugsgebiet

Für die Bestimmung des Indirekteinleiteranteils (IE) im Einzugsgebiet wurden für die einzelnen Kläranlagen die angeschlossenen Einwohner (E) ermittelt. Die Datenbasis hierfür waren zum einen die Meldungen der Bundesländer (Daten aus der Kläranlagendatenbank) und die Daten der Kläranlagen-Nachbarschaften (KAN) mit Stand der Zustandsberichte 2002 (ÖWAV 2002). Aus diesen Angaben wurde die aktuelle BSB₅-Belastung, resultierend aus den angeschlossenen Einwohnern, errechnet (mit 60 g BSB₅/E/d) und mit den gemeldeten Frachten aus den genannten Datengrundlagen verglichen. Für jene Anlagen, für die Daten verfügbar waren, wurde aus der Differenz der errechneten und der gemessenen Frachten der IE-Anteil bestimmt. Waren aus beiden Datengrundlagen die entsprechenden Angaben (BSB₅-Zulauffrachten) verfügbar, wurden die Ergebnisse miteinander verglichen, wobei eine sehr gute Übereinstimmung festgestellt wurde. Soweit vorhanden, wurden neben dem BSB₅- auch die CSB-Werte in der Berechnung berücksichtigt, um eine weitere Vergleichsmöglichkeit (Plausibilitätsprüfung) zu haben.

Indirekteinleiteranteil

Die Einleiterstruktur im Einzugsgebiet wird als wesentlichstes Kategorisierungselement betrachtet. Es werden drei Klassen unterschieden:

Indirekteinleiterklassen

- IE < 25 %: Indirekteinleiteranteil praktisch vernachlässigbar, die Zusammensetzung der Abwässer kann als rein häuslich bezeichnet werden.
- 25 ≤ IE ≤ 75 %: gemischtes Einzugsgebiet mit mittlerer bis hoher industrieller bzw. gewerblicher Nutzung. Umfasst die meisten Kläranlagen.
- IE > 75 %: Einzugsgebiet mit sehr starker industrieller bzw. gewerblicher Nutzung. Der industrielle Abwasseranteil ist als dominant anzusehen; starke Prägung der Abwassercharakteristik aufgrund des hohen Industrieabwasseranteils.

Basierend auf der beschriebenen Vorgehensweise wurden die österreichischen Kläranlagen nach Abstimmung mit den Bundesländern diesen drei IE-Klassen zugeordnet.

2.1.2 Ausbaugröße

Unterteilungskriterium: 5.000 EW

Bei der Ausbaugröße wurde als Unterteilungskriterium die Kapazität von 5.000 EW angesetzt. Mit dieser Größenordnung ist eine Änderung der Reinigungsleistung gefordert (von Nitrifikation auf Stickstoffentfernung), womit sich Bemessungs- und Betriebsparameter der jeweiligen Kläranlage ändern. Bei der Kläranlagenzuordnung und -auswahl für die Beprobungskampagnen wurde darauf geachtet, dass aus der Kategorie < 5.000 EW Ausbaugröße eine nicht Stickstoff entfernende Anlage ausgewählt wurde, um einen allenfalls auftretenden Unterschied in der Reinigungsleistung auch in den Ergebnissen entsprechend abzubilden.

Diese Einteilung wurde u. a. auch deshalb gewählt, da verschiedene Untersuchungen zum Ergebnis gelangt sind, dass ab einem Schlammalter von mehr als zehn Tagen auch eine Vielzahl abbaubarer organischer Verbindungen entfernt werden kann (ARCEM 2003; POSEIDON 2004). Ein Bemessungsschlammalter von zehn Tagen ist laut ATV-A131 (ATV-DVWK 2000) für die Bemessung von stickstoffentfernenden Kläranlagen anzusetzen, wird aber auch von Kläranlagen mit simultaner Schlammstabilisierung eingehalten bzw. deutlich überschritten. Damit ist das Einteilungskriterium Ausbaugröße auch an die Reinigungsleistung gekoppelt.

große Kläranlagen: 150.000 EW

Die Klasse der Kläranlagen mit einem IE-Anteil zwischen 25 % und 75 % weist die meisten Anlagen aus und wurde daher nochmals nach der Größe unterteilt. „Große“ Anlagen wurden in einer eigenen Gruppe zusammengefasst, wobei die Grenze für diese Kategorie mit einer Ausbaugröße von 150.000 EW festgesetzt wurde.

industriell geprägte Kläranlagen

Bei den Kläranlagen mit IE-Anteilen größer 75 % wurde keine Einteilung nach der Größe durchgeführt. Aufgrund des hohen gewerblichen/industriellen Anteils ist davon auszugehen, dass die Abwassercharakteristik der Zuläufe dieser Anlagen nicht mehr jener eines kommunalen Abwassers entspricht. Anstelle der Ausbaugröße wird vorgeschlagen, die Hauptbranche als Unterscheidungskriterium anzusetzen, insofern die Zuordnung zu einer solchen möglich ist.

2.1.3 Nicht berücksichtigte Parameter

Das angewandte Reinigungsverfahren, die Reinigungsleistung und die Art des Entwässerungssystems wurden nicht für die Kategorisierung herangezogen.

- Die **Reinigungsleistung** wurde bei der Kläranlagenkategorisierung indirekt über die Anlagengröße berücksichtigt – die Projektkläranlagen wiesen Ausbaugrößen größer oder gleich 2.000 EW auf. Durch das Auswahlkriterium Ausbaugröße wurde auch die Änderung der Reinigungsleistung ab einer Kapazität von mehr als 5.000 EW (von Stickstoffoxidation (Nitrifikation) auf Stickstoffentfernung) berücksichtigt.
- Das **Reinigungsverfahren** wurde bei der Kategorisierung nicht berücksichtigt, da aufgrund der zahlreichen Kombinationen eine unüberschaubare Vielzahl von Unterteilungen vorzunehmen gewesen wäre. Dieser Parameter führt daher zu keiner praktikablen Einteilung. Zudem ist unabhängig von der angewandten Verfahrenstechnik die geforderte Reinigungsleistung zu erbringen und diese geht über die Ausbaugröße in die Kategorisierung ein.

- Die **Art der Siedlungsentwässerung** wird nicht als Kategorisierungskriterium herangezogen, da eine klare Trennung zwischen den verschiedenen installierten Systemen nicht möglich ist. Die meisten Siedlungsräume weisen eine Mischung der zwei Hauptentwässerungsverfahren (Misch- und Trennkana­lisation) auf. Es müsste demnach eine weitere Einteilung nach den jeweiligen Anteilen der Kanalsysteme durchgeführt werden, welche nicht als sinnvoll erachtet wird.

2.1.4 Kategoriendefinition und -kurzbeschreibung

Basierend auf den zuvor beschriebenen Einstufungskriterien Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet und Ausbaugröße werden 6 Kategorien definiert.

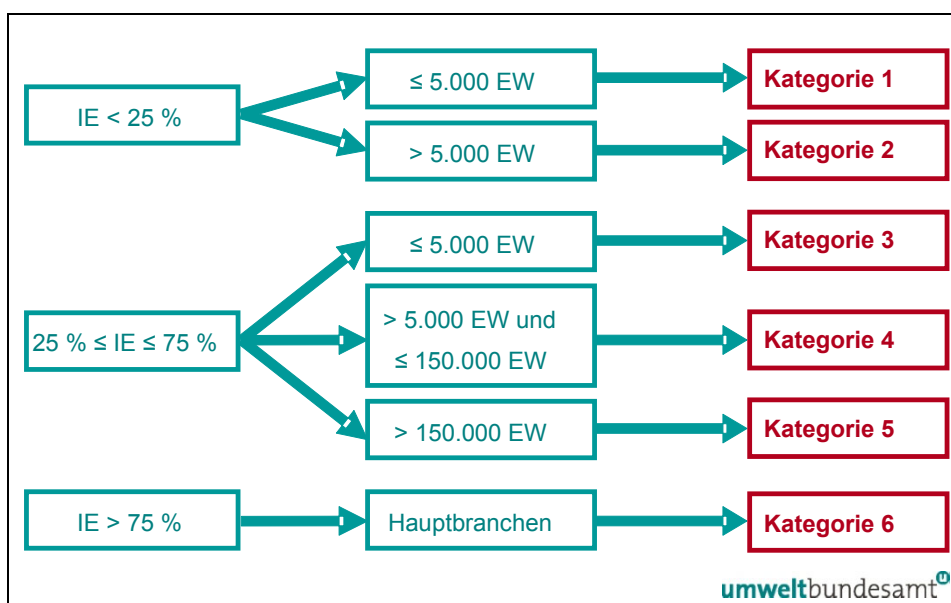


Abbildung 1: Festlegung der verschiedenen Kategorien (IE: Indirekteinleiteranteil).

Kategorie 1

Anlagen mit einem Indirekteinleiteranteil von weniger als 25 % und mit einer Ausbaugröße kleiner oder gleich 5.000 EW. In diese Kategorie fallen vor allem kleine, nicht Stickstoff entfernende Anlagen mit einem Einzugsgebiet mit sehr geringer industrieller/gewerblicher Nutzung.

Kategorie 2

Anlagen mit einem Indirekteinleiteranteil von weniger als 25 % und einer Ausbaupazität größer 5.000 EW. Diese Kategorie fasst Stickstoff entfernende Kläranlagen mit einem Einzugsgebiet mit sehr geringer industrieller/gewerblicher Nutzung zusammen.

Kurzbeschreibung der Kategorien

Kategorie 3

Anlagen mit einem Indirekteinleiteranteil zwischen 25 und 75 % und einer Ausbaugröße kleiner oder gleich 5.000 EW. In diese Kategorie fallen vor allem kleine, nicht Stickstoff entfernende Anlagen. Die industrielle/gewerbliche Nutzung im Einzugsgebiet schwankt in einem breiten Bereich, von einer geringen Nutzung bis hin zu einem sehr stark von Industrie/Gewerbe beeinflussten Einzugsgebiet.

Kategorie 4

Anlagen mit einem Indirekteinleiteranteil zwischen 25 und 75 % und einer Ausbaukapazität zwischen 5.000 und 150.000 EW. Kategorie 4 fasst Stickstoff entfernende Anlagen mit einem Einzugsgebiet zusammen, das von einer geringen industriellen/gewerblichen Nutzung bis hin zu einem sehr stark von Industrie/Gewerbe beeinflussten Entwässerungsgebiet reicht. Es ist davon auszugehen, dass diese Kategorie die meisten Kläranlagen enthalten wird und somit die für Österreich „typische“ kommunale Kläranlage repräsentiert.

Kategorie 5

Anlagen mit einem Indirekteinleiteranteil zwischen 25 und 75 % und einer Ausbaukapazität von mehr als 150.000 EW. Kategorie 5 fasst Stickstoff entfernende Anlagen mit einem Einzugsgebiet zusammen, das von einer geringen industriellen/gewerblichen Nutzung bis hin zu einem sehr stark von Industrie/Gewerbe beeinflussten Entwässerungsgebiet reicht. Diese Kategorie wurde eingeführt, um den großen Kläranlagen, die einen großen Teil der angeschlossenen Einwohnerwerte in Österreich aufnehmen (rd. 50 %) auch in der Kategorisierung ein entsprechendes Gewicht zu geben. Die Grenze wurde mit 150.000 EW angesetzt, da Anlagen ab 150.000 EW auch im Kommissionsbericht zur RL 91/271/EWG als so genannte „big cities“ bzw. „big discharger“ zu berichten sind. Eine Größendefinition für „große“ Anlagen wurde nicht gefunden.

Kategorie 6

Anlagen mit einem Indirekteinleiteranteil größer 75 %. Aufgrund des hohen gewerblichen/industriellen Anteils ist davon auszugehen, dass die Abwassercharakteristik der Zuläufe dieser Anlagen nicht mehr jener eines kommunalen Abwassers entspricht, sondern in Abhängigkeit von den jeweiligen Einleitern eine sehr spezifische Zusammensetzung aufweist. Eine weitere Unterteilung dieser Kategorie nach der Ausbaugröße wird nicht als sinnvoll erachtet. Als Unterscheidungskriterium ist die Hauptbranche relevant, insofern eine solche identifiziert und zugeordnet werden kann.

2.2 Kläranlagenzuordnung

2.2.1 Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet

Für 420 der 636 österreichischen Kläranlagen mit einer Kapazität größer oder gleich 2.000 EW waren Daten verfügbar, um eine Zuordnung entsprechend der in Kapitel 2.1.1 beschriebenen Methodik vorzunehmen.

Anteil der Indirekteinleiter

Tabelle 1: Kläranlagenzuordnung aufgrund des Indirekteinleiteranteils.

IE-Anteil [%]	Anzahl Kläranlagen		Kapazität	
	absolut	relativ [%]	absolut [EW]	relativ [%]
IE < 25 %	167	39,8	1.909.840	10,5
25 % ≤ IE ≤ 75 %	231	55,0	13.446.156	73,8
IE > 75 %	22	5,2	2.851.627	15,7
Gesamt	420	100	18.207.623	100

Über 50 % der Anlagen, für die Daten verfügbar waren, weisen einen Indirekteinleiteranteil zwischen 25 und 75 % auf. Auch die Klasse mit einem IE-Anteil kleiner 25 % umfasst mit 167 Anlagen rund 40 % der berücksichtigten Kläranlagen, wohingegen stark industriell/gewerblich beeinflusste Kläranlagen – bezogen auf die Anlagenanzahl – nur einen geringen Anteil ausmachen.

Bei Berücksichtigung der Ausbaupkapazität wird der Einfluss der Klasse mit einem IE-Anteil zwischen 25 und 75 % weiter hervorgehoben. Rund 74 % der Anlagenkapazität liegen in diesen Bereich. Die Klassen mit IE-Anteilen kleiner 25 % bzw. größer 75 % sind in etwa vergleichbar und liegen bei rd. 11 % bzw. 16 %. Das Verhältnis der Ausbaupkapazität zur Kläranlagenanzahl deutet bereits darauf hin, dass die Gruppe mit einem IE-Anteil kleiner 25 % vor allem kleinere Anlagen umfasst.

2.2.2 Ausbaugröße

261 von 636 Kläranlagen weisen eine Ausbaugröße kleiner oder gleich 5.000 EW auf. 355 Kläranlagen liegen in der Größenklasse größer 5.000 EW und kleiner oder gleich 150.000 EW und 20 Anlagen sind auf eine Ausbaugröße von mehr als 150.000 EW bemessen (siehe Tabelle 2).

Zuordnung nach Ausbaugröße

Tabelle 2: Kläranlageneinteilung aufgrund der Ausbaugröße.

Ausbaugröße [EW]	Anzahl Kläranlagen		Ausbaupkapazität [EW]	
	absolut [-]	relativ [%]	absolut [EW]	relativ [%]
≤ 5.000 EW	261	41,0	865.694	4,1
5.000–150.000 EW	355	55,9	9.699.815	45,9
> 150.000 EW	20	3,1	10.574.267	50,0
Gesamt	636	100	21.139.776	100

Die meisten Kläranlagen weisen eine Ausbaugröße zwischen 5.000 und 150.000 EW auf. Mehr als die Hälfte der berücksichtigten Anlagen (rund 56 %) fällt in diese Klasse. Mit 41 % bzw. 261 Anlagen umfasst auch die Klasse der kleinen Anlagen mit einer Ausbaupkapazität von kleiner oder gleich 5.000 EW eine große Anzahl von Kläranlagen, wohingegen nur 20 Kläranlagen (rund 3 %) auf eine Kapazität von mehr als 150.000 EW ausgebaut sind.

Ähnlich der Verteilung nach dem Indirekteinleiteranteil wird dieses Bild durch Berücksichtigung der Ausbaupkapazität relativiert. Während die Klasse der Anlagen kleiner oder gleich 5.000 EW zwar rund 41 % der Anlagen beinhaltet, umfasst diese Kategorie bezogen auf die Ausbaupkapazität nur 4 %, wohingegen die 20 großen Anlagen (Anlagen größer 150.000 EW) mit einer Gesamtkapazität von 10.574.267 EW die Hälfte des anfallenden Abwassers behandeln. Die andere Hälfte (rund 46 %) wird von den 355 Kläranlagen mit Ausbaupgrößen zwischen 5.000 und 150.000 EW entsorgt.

2.2.3 Zuordnung der Kläranlagen zu den Kategorien

Die Zuordnung der Kläranlagen zu den sechs definierten Kategorien ist in Tabelle 3 zusammengefasst. Diese Zuordnung konnte für 420 Kläranlagen durchgeführt werden.

Tabelle 3: Kläranlagenzuordnung für 420 Anlagen.

	IE-Anteil [%]	Ausbaugröße [EW]	Anzahl [-]	Anzahl [%]	Ausbaupkapazität [EW]	Ausbaupkapazität [%]
Kategorie 1	≤ 25	≤ 5.000	96	22,9	314.897	1,7
Kategorie 2	≤ 25	> 5.000	71	16,9	1.594.943	8,8
Kategorie 3	25–75	≤ 5.000	58	13,8	205.696	1,1
Kategorie 4	25–75	5.000–150.000	161	38,3	5.641.210	31,0
Kategorie 5	25–75	> 150.000	12	2,9	7.599.250	41,7
Kategorie 6	> 75	–	22	5,2	2.851.627	15,7
Gesamt			420	100	18.207.623	100

Kategorie 1 umfasst mit 96 Anlagen rund 23 % der berücksichtigten Kläranlagen, aber nur rund 2 % der berücksichtigten Ausbaupkapazität. In Kategorie 2 finden sich 17 % der Anlagen und 9 % der EW wieder. Kategorie 3 beinhaltet mit 58 Kläranlagen zwar 14 % der berücksichtigten Kläranlagen, ist jedoch mit einem relativen Anteil von 1 % der gesamt betrachteten Ausbaupkapazität die kleinste Gruppe. Die relevantesten Kategorien sind Kategorie 4 und Kategorie 5. Mit 161 Anlagen sind 38 % der Kläranlagen der Kategorie 4 zugeordnet, die Ausbaupkapazität umfasst 31 %. Bezogen auf die Ausbaupkapazität ist Kategorie 5 hervorzuheben, die 42 % der Gesamtkapazität abdeckt, anlagenbezogen jedoch nur 3 % der betrachteten Kläranlagen beinhaltet. Kategorie 6 umfasst Kläranlagen mit überwiegend industriellem Einfluss. In diese Kategorie fallen mit 22 der 420 nur 5 % der berücksichtigten Anlagen, die 16 % der insgesamt berücksichtigten Ausbaupkapazität behandeln.

Kategorien 4 + 5 am relevantesten

2.2.4 Kläranlagenauswahl

Bei der Auswahl der Kläranlagen für die Beprobung für Modul 1 wurde neben den Parametern für die Kategorisierung auch die angewandte Verfahrenstechnik berücksichtigt (ÖWAV 2006). Für 589 Kläranlagen konnte eine Zuordnung durchgeführt werden.

Das bei Weitem am häufigsten eingesetzte Verfahren ist das *Belebtschlammverfahren*. Die Zuordnung ist in Tabelle 4 zusammengefasst.

Berücksichtigung Verfahrenstechnik

Tabelle 4: Zuordnung der Kläranlagen (Anzahl) nach dem angewandten Reinigungsverfahren (SBR: Sequencing Batch Reactor).

	Belebungsverfahren		Biofilmverfahren		Summe
	Einstufig (inkl. SBR)	Zweistufig	Einstufig	Zweistufig Biofilm/Belebung	
≤ 5.000 EW	197	4	19	4	224
> 5.000 EW	330	17	3	15	365
Summe	527	21	22	19	589

Von den 589 Kläranlagen werden 548 (rund 93 %) nach dem Belebtschlammverfahren betrieben. Die weitere Unterscheidung nach der Betriebsweise zeigt, dass der überwiegende Teil der Anlagen einstufig betrieben wird und rund 4 % zweistufige Belebungsanlagen sind. Die zweistufig betriebenen Anlagen sind überwiegend Anlagen mit einer Ausbaupkapazität von mehr als 5.000 EW. Nur 22 der 589 (rund 4 %) Anlagen werden nach dem Biofilmverfahren betrieben. Eine dieser Gruppe vergleichbare Anzahl von Anlagen wird zweistufig in einer Kombination aus Biofilm- und Belebtschlammverfahren betrieben.

Für die Beprobung wurden schwerpunktmäßig Anlagen gewählt, die nach dem Belebungsverfahren betrieben werden, wobei hauptsächlich einstufige, aber auch einige zweistufige Anlagen ausgewählt wurden. Zum Vergleich wurden auch einzelne Tropfkörperanlagen bzw. Kombinationen von Biofilm- und Belebungsverfahren ausgewählt.

Im Rahmen der Untersuchungen in Modul 1 wurden Vertreter aller sechs Kategorien beprobt. Dabei wurde ein Schwerpunkt auf die Kategorien 4 und 5 gelegt, da diese Kategorien den maßgeblichen Anteil der österreichischen Kläranlagen beinhalten (bezogen auf die Ausbaupkapazität). Die ausgewählten Kläranlagen berücksichtigen rund 35 % der in Österreich installierten Reinigungskapazität.

Im Zuge des Ablaufmonitorings für Modul 2 wurden nur Vertreter der Kategorien 4 und 5 berücksichtigt. Da kommunale Kläranlagen erst mit einer Ausbaupkapazität größer 10.000 EW unter die Messverpflichtung gemäß Anlage A, Tabelle 2 der Emissionsregisterverordnung (EmRegV-OW) fallen, wurde auf die weitere Untersuchung der Kategorien 1 und 3 verzichtet. Zudem wurde die Kategorie 6 von weiteren Untersuchungen ausgeschlossen, da die Abwassercharakteristik sehr stark von der dominierenden Industriebranche beeinflusst ist und daher die Vergleichbarkeit mit kommunalem Abwasser nicht gegeben ist. Dies haben auch die Ergebnisse von Modul 1 bestätigt. Kategorie 2 umfasst zwar 71 Kläranlagen, aber nur etwa 9 % der Anlagenkapazität. Aus diesen Gründen wurde im Rahmen von Modul 2 das Hauptaugenmerk auf Kläranlagen der Kategorien 4 und 5 gelegt, da diese zwei Kategorien in Summe rund 73 % der Anlagenkapazität

Modul 2: Kategorien 4+5

(der zuordenbaren Kläranlagen) beinhalten. Auch für die Bilanzierung wurde jeweils ein Vertreter der Kategorien 4 und 5 ausgewählt. In Modul 2 werden über die Projektkläranlagen rund 30 % der in Österreich installierten Reinigungskapazität berücksichtigt.

Die Verteilung der für die Beprobung ausgewählten Kläranlagen auf die sechs Kategorien, die Angabe des jeweiligen Reinigungsverfahrens sowie eine Kurzcharakterisierung des Entwässerungssystems und der Indirekteinleiter im Einzugsgebiet ist in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Charakterisierung der beprobten Kläranlagen (M: Mischkanalisation, T: Trennkanalisation, C: Kohlenstoffentfernung, P: Phosphorentfernung, N...Nitrifikation, D: Denitrifikation).

		Kategorie	Kanal	Reinigung	Verfahren	Indirekteinleiter
Modul 1	Zu- und Ablaufbeprobung	1	T 100 %	C, P, N	Einstufige Belebungsanlage	Kfz-Betriebe Fremdenverkehr
		2	M 90 %; T 10 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Fremdenverkehr Gewerbe gemischt
		2	M 70 %; T 30 %	C, P, N, D	Zweistufige Biologie (Belebung + Tropfkörper)	Getränkeindustrie Molkerei Krankenhaus
		3	M 95 %; T 5 %	C, P, N, (D)	Einstufige Belebungsanlage	Gewerbe gemischt
		3	M 80 %; T 20 %	C, P, N	Tropfkörper	Gewerbe gemischt
		4	M 80 %; T 20 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Großküchen Deponiesickerwasser sonstige Industrie
		4	M 90 %; T 10 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Konservenindustrie Weinbau Deponiesickerwasser
		4	M 60 %; T 40 %	C, P, N, D	Zweistufige Belebungsanlage	Molkerei Gewerbe gemischt
		4	M 45 %; T 55 %	C, P, N, D	Zweistufige Biologie (Belebung + Tropfkörper)	Fleischverarbeitung Fremdenverkehr Wäschereien
		5	M 70 %; T 30 %	C, P, N, D	Zweistufige Belebungsanlage	Lebensmittelindustrie Gastronomie Metallverarbeitung
		5	M 95 %; T 5 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Papier-/Zellstoff Chemische Industrie Metallverarbeitung
		5	M 80 %; T 20 %	C, P, N, D	Zweistufige Belebungsanlage	Fremdenverkehr Gewerbe gemischt
6	M 70 %; T 30 %	C, P, N, D	Zweistufige Belebungsanlage	Getränkeindustrie Kartoffelverarbeitung Papier-/Zellstoff		

		Kategorie	Kanal	Reinigung	Verfahren	Indirekteinleiter
Modul 1	Zu- und Ablaufbeprobung	6	M 70 %; T 30 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Chemische Industrie Mineralölverarbeitung Brauerei
		6	–	C, P; N-Dosierung	Einstufige Belebungsanlage	Papier-/Zellstoff
Modul 2	Ablaufmonitoring	4	M 90 %; T 10 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Konservenindustrie Weinbau Deponiesickerwasser
		4	T 100 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Fremdenverkehr
		4	M 15 %; T 85 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Fremdenverkehr Gewerbe gemischt
		5	M 35 %; T 65 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Deponiesickerwasser Galvanik Getränkeindustrie
		5	M 30 %; T 70 %	C, P, N, D	Zweistufige Belebungsanlage	Fremdenverkehr Molkerei Fleischverarbeitung
		5	M 80 %; T 20 %	C, P, N, D	Zweistufige Belebungsanlage	Fremdenverkehr Gewerbe gemischt
		5	M 95 %; T 5 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Papier-/Zellstoff Chemische Industrie Metallverarbeitung
		5	M 70 %; T 30 %	C, P, N, D	Zweistufige Belebungsanlage	Brauerei Krankenhaus Wäscherei
		5	M 90 %; T 10 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Brauerei Getränkeindustrie Metallverarbeitung
		Bilanzierung	4	M 95 %; T 5 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage
	5		M 90 %; T 10 %	C, P, N, D	Einstufige Belebungsanlage	Brauerei Getränkeindustrie Metallverarbeitung

3 KRITERIEN FÜR DIE STOFFEINGRENZUNG/STOFFAUSWAHL

Bei den Beprobungen im Rahmen von Modul 1 wurden die Zu- und Abläufe von 15 ausgewählten Kläranlagen auf der Basis von Tagesmischproben untersucht. Die Beprobung erfolgte einmalig im September 2007.

Modul 1: Auswahl relevanter Stoffe

Wesentliches Ziel von Modul 1 war die Eingrenzung des Untersuchungsumfanges für Modul 2. Folgende Stoffe wurden von den weiteren Untersuchungen ausgeschlossen:

- Stoffe, die in keiner der untersuchten Ablaufproben nachgewiesen wurden.
- Stoffe, bei denen der Maximalwert der 15 Ablaufmesswerte unterhalb der halben Umweltqualitätsnorm lag.

Damit erfolgt eine Gegenüberstellung von Emissionsmessungen mit einem Immissionsgrenzwert. Dies ist nur bedingt zulässig, erscheint jedoch in Ermangelung eines geeigneten Relevanzkriteriums als sinnvoll. Für die Bewertung wurden die Umweltqualitätsnormen nach QZV Chemie OG und nach RL 2008/105/EG herangezogen, wobei jeweils die strengere Umweltqualitätsnorm als Ausscheidungskriterium angesetzt wurde.

Neben diesen allgemein geltenden Ausschlusskriterien wurde für verschiedene Stoffe eine Einzelstoffbetrachtung durchgeführt. Dadurch konnte der Parameterumfang für die chemische Analytik in Modul 2 weiter eingeschränkt werden.

Die Beprobungen im Zuge von Modul 2 dienen der Verdichtung der Datenlage und der Identifikation von Stoffen, die in den Erlass zur Emissionsregisterverordnung (EmRegV-OW; § 5 Abs. 6) aufgenommen werden sollen.

Modul 2: Stoffe gem. EmRegV-OW

Neun Kläranlagenabläufe wurden im Zweimonatsrhythmus während eines Jahres auf der Basis von Tagesmischproben untersucht. Zusätzlich zu diesem Ablaufmonitoring wurden zwei Kläranlagen ausgewählt, bei denen für ausgesuchte Stoffe eine Bilanzierung durchgeführt wurde. Dafür wurden über einen Zeitraum von 10 Tagen Tagesmischproben von Zu- und Ablauf gezogen und im Labor zu Zweitagesmischproben gemischt und analysiert. Im Zuge der Bilanzierungen wurden auch Schlammproben (Primärschlamm und Belebtschlamm) analysiert.

Die Beprobungen in Modul 1 erfolgte im September und somit außerhalb des Anwendungszeitraumes für die meisten Pflanzenschutzmittel (PSM). Um die Aussagen aus Modul 1 zu bestätigen, wurden an zwei Beprobungsterminen alle Ablaufproben zusätzlich auf Pflanzenschutzmittel untersucht. Ziel war die Absicherung der Ergebnisse aus Modul 1.

Für die Stoffauswahl wurden zwei Kriterien angesetzt:

Auswahlkriterien

- Der Mittelwert aller Ablaufmessungen aus Modul 1 und Modul 2 eines Stoffes ist größer als die halbe Umweltqualitätsnorm.
- Zumindest für eine Kläranlage ist der Mittelwert der Ablaufmesswerte aus Modul 2 größer als die Umweltqualitätsnorm (nicht auf PSM anwendbar).

Erfüllt ein Stoff eines dieser zwei Kriterien, so wird er zur Aufnahme in den Erlass zur EmRegV-OW (§ 5 Abs. 6) vorgeschlagen. Auf die PSM ist nur das erste Kriterium anwendbar, da in Modul 2 nur zwei Messwerte pro Kläranlage vorliegen und daher die Anwendung des zweiten Kriteriums nicht zulässig ist.

4 CHEMISCHE ANALYTIK

Berechnungskonvention

Es wurden über 100 Einzelsubstanzen untersucht, die in Anhang 1 aufgelistet sind. Bei der Datenauswertung wurden analytische Nachweise unterhalb der Nachweisgrenze (n. n.) gleich null gesetzt und Nachweise unter der Bestimmungsgrenze (< BG) mit dem Mittelwert aus Nachweis- und Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Bei Stoffgruppen wie z. B. den polybromierten Diphenylethern, die mehrere Einzelsubstanzen umfassen, wurden die Einzelstoffe auch nach dieser Berechnungskonvention ausgewertet und für die Summenbildung herangezogen. Die folgenden Kapitel beinhalten eine Kurzbeschreibung der angewandten Analysemethoden. Die jeweiligen Bestimmungs- (BG) und Nachweisgrenzen (NG) sind in Anhang 2 angeführt.

4.1 Analytik prioritärer und prioritär gefährlicher Stoffe

Die kurzkettigen **Chloralkane** (C₁₀₋₁₃) wurden von der TU München bestimmt. Die Bestimmungsgrenze lag bei 0,1 µg/l.

Chloraromaten (Alachlor, Chlorpyrifos, Endosulfan, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Hexachlorcyclohexan, Pentachlorbenzol, Trifluralin, Trichlorbenzole):

Nach Zugabe von deuterierten bzw. C₁₃-markierten Surrogatstandards wurden die Proben mehrmals mit Pentan extrahiert. Nach einer säulenchromatographischen Reinigung an Kieselgel wurden die Analyten mittels Gaschromatographie und Massenspektrometrie (GC-MS) quantifiziert.

Multielementanalyse (DEHP, Isoproturon, Pentachlorphenol, Trichlorbenzole, Hexachlorbutadien; EPA Screening; nur Modul 1):

Nach Zugabe eines Surrogat-Cocktails zu einem Probenaliquot wurden die Proben mit Dichlormethan mehrmals bei unterschiedlichen pH-Stufen extrahiert. Die Detektion erfolgte über GC-MS. Bei phenolischen Nachweisen wurde ein Aliquot des Extraktes mit Diazomethan derivatisiert und mittels GC-MS gemessen. Sowohl BG als auch NG wurden für jede Probe bestimmt.

Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) (nur Modul 2):

Nach Zugabe eines deuterierten Surrogatstandards erfolgte eine flüssig-flüssig Extraktion mit n-Hexan mit anschließender Säulenreinigung mittels Aluminiumoxid. Die Bestimmung erfolgte gaschromatographisch mit GC-MS und electrospray ionisation im positiven Modus. Die Quantifizierung erfolgte nach der externen Standardmethode unter Zugabe eines Injektionsstandards (Methylpalmitat) und Wiederfindungskorrektur über den zugesetzten deuterierten Surrogatstandard.

Herbizide (Atrazin, Chlorfenvinphos, Diuron, Simazin, Isoproturon):

Nach Zugabe eines Surrogat-Mixes wurde die Wasserprobe auf pH 8 eingestellt und mit Dichlormethan extrahiert. Nach erfolgter Anreicherung und Lösungsmittelwechsel auf Methanol (MeOH) wurden die Extrakte einer Flüssigchromatographie, gekoppelt an eine Tandemmassenspektrometrie (LC-MS/MS Analyse) zugeführt. Sowohl BG als auch NG wurden für jede Probe bestimmt.

Polyaromatische Kohlenwasserstoffe (PAK; nur Modul 1: Naphthalin, Fluoranthen, Benzo(b)fluoranthen, Benzo(k)fluoranthen, Anthracen, Benzo(a)pyren, Benzo(g,h,i)perylene, Indeno(1,2,3-cd)pyren):

Nach Zugabe von deuterierten Surrogatstandards wurden die Wasserproben mit n-Hexan extrahiert. Das Clean-up erfolgte über Kieselgel-Säulenchromatographie. Für die Endbestimmung wurde Hochleistungsflüssigkeitschromatographie (HPLC) mit Fluoreszenz und Photodiodenarray-Detektion verwendet.

Polybromierte Diphenylether (PBDE: 2,2,4,4-Tetrabromdiphenyl (BDE 47), 2,2,4,4,5-Pentabromdiphenyl (BDE 99), 2,2,4,4,6-Pentabromdiphenyl (BDE 100), 2,2,4,4,5,5-Hexabromdiphenyl (BDE 153), 2,2,4,4,5,6-Hexabromdiphenyl (BDE 154)):

Nach Dotation mit C₁₃-markierten polybromierten Diphenylether-Kongeneren erfolgte eine flüssig-flüssig Extraktion der Probe mit Toluol. Die Extrakte der Proben wurden einer vierstufigen säulenchromatographischen Reinigung unterzogen. Die Bestimmung der PBDE wurde mittels Gaschromatographie/High Resolution Massenspektrometrie durchgeführt.

Schwermetalle (Quecksilber, Cadmium, Blei, Nickel):

Die Bestimmung von Cadmium, Blei und Nickel erfolgte mit ICP-MS (Inductively Coupled Plasma – Massenspektrometrie) gemäß Basisnorm ÖNORM EN ISO 17294-2 (modifiziert). Die Bestimmung von Quecksilber erfolgte nach Reduktion mit Natriumborhydrid mittels Fließinjektions (FIMS)-Kaldampf-AAS (Atomabsorptionsspektroskopie) nach Basisnorm ÖNORM EN 1483 (modifiziert). Blei wurde nur in Modul 1 untersucht.

Flüchtige organische Verbindungen (VOC; nur Modul 1: Benzol, Dichlormethan, 1,2-Dichlorethan, Trichlormethan):

Die Analyse erfolgte unter Verwendung interner Standards mit GC-MSD und Headspace gemäß ÖNORM EN ISO 10301.

Alkylphenole (Nonylphenole (NP) und Octylphenole (OP)):

Nach Zugabe von deuterierten Surrogatstandards wurden die Wasserproben angesäuert (pH < 3) und über eine Festphasenkartusche extrahiert. Die Elution erfolgte mit einem Methanol/Methyl-tert-butylether-Gemisch. Die Alkylphenole wurden über LC-MS/MS bestimmt.

Tributylzinnverbindungen (TBT):

Nach Zugabe eines Surrogatstandards und eines Natriumacetat-Puffers erfolgte die Derivatisierung mit Natriumtetraethylborat. Die Derivate wurden mit n-Hexan extrahiert und über Kieselgel und eventuell Alox-Säulchen gereinigt. GC-MS wurde für die Endbestimmung verwendet.

4.2 Analytik sonstiger Stoffe

Benzidin (nur Modul 1):

200 ml Probe wurden mit Natronlauge (NaOH) auf pH 12 gestellt und nach Zugabe eines Kontrollstandards mittels flüssig-flüssig Extraktion mit Dichlormethan extrahiert. Nach einem Lösungsmittelwechsel auf Wasser/Methanol wurde Benzidin mittels HPLC und Fluoreszenzdetektion gemessen.

Fluorid (nur Modul 1):

Fluorid wurde über ionenchromatographische Bestimmung gemäß ÖNORM EN ISO 10 304-1 analysiert.

Der Summenparameter **adsorbierbare organische Halogene (AOX)** wurde durch ein akkreditiertes Labor gemäß DIN EN ISO 9562 analysiert.

Chloraromaten (Aldrin, p,p-DDT, DDT (3 zusätzl. Isomere), Dieldrin, Endrin, Isodrin, Chlordane, Heptachlor, Pentachlornitrobenzol):

Analyse analog zu jener der prioritären Stoffen dieser Stoffgruppe (Beschreibung siehe Kapitel 4.1).

Chloressigsäure (Monochloressigsäure):

Die Analysen wurden vom IFA Tulln durchgeführt. Monochloressigsäure wurde mittels Anionenaustausch-Festphasenextraktion extrahiert und mit methanolischer Schwefelsäure eluiert. Direkt im Elutionsmittel wurde eine Derivatisierung zu Monochloressigsäure-methylester durchgeführt. Der entstehende Methylester wurde mit Diisopropylether als Extraktionsmittel ausgeschüttelt und der Extrakt mittels GC-MS analysiert.

Bisphenol-A:

Nach Zugabe von deuterierten Surrogatstandards wurden die Wasserproben angesäuert (pH < 3) und über eine Festphasenkartusche extrahiert. Die Elution erfolgte mit einem Methanol/Methyl-tert-butylether Gemisch. Die Bestimmung erfolgte über LC-MS/MS.

Dimethylamin:

Wurde nach Zugabe eines deuterierten Surrogatstandards im alkalischen Medium mit Diethylchlorthiophosphat (DECTP) zu N-Diethylthio-phosphorylderivaten umgesetzt. Die Extraktion erfolgte mit n-Hexan. Die Extrakte wurden über GC-MS gemessen.

Multielementanalyse (EPA-Screening; 1,3-Dichlor-2-propanol, 2,4-Dichlorphenol, 2,5-Dichlorphenol, Benzylchlorid.):

Nach Zugabe eines Surrogat-Cocktails zu einem Probenaliquot wurden die Proben mit Dichlormethan mehrmals bei unterschiedlichen pH-Stufen extrahiert. Die Detektion erfolgte über GC-MS. Bei phenolischen Nachweisen wurde ein Aliquot des Extraktes mit Diazomethan derivatisiert und mittels GC-MS gemessen.

Herbizide (Sebuthylazin, Omethoat, Phosalon, Mevinphos):

Analyse analog zu jener der prioritären Stoffe aus dieser Stoffgruppe (Beschreibung siehe Kapitel 4.1).

Komplexbildner (Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA) und Nitrioloessigsäure (NTA)):

Nach Zusatz von deuteriertem NTA und EDTA als Surrogatstandards wurden die Wasserproben bis auf die Trockene eingeengt. Die Veresterung des Rückstandes erfolgte mit Acetylchlorid/n-Butanol. Die Bestimmung der Butylester wurde mit GC-MS durchgeführt.

Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS): Die Wasserproben wurden mit einem Surrogatstandard dotiert und über eine Festphase extrahiert. Nach erfolgter Elution wurden die Analyten über HPLC Fluoreszenzdetektion nachgewiesen.

Schwermetalle (Silber, Arsen, Chrom, Selen, Kupfer und Zink):

Die Bestimmung erfolgte mit ICP-MS gemäß Basisnorm ÖNORM EN ISO 17294-2 (modifiziert).

Trichlorfon:

Die Wasserprobe wurde mit Ammoniumacetat versetzt und über eine Festphasensäule extrahiert. Nach erfolgter Elution mit Methanol wurde Trichlorfon mittels LC-MS/MS analysiert.

Nitrit:

Die spektroskopische Bestimmung von Nitrit als NO₂-N erfolgte gemäß ON EN 26777.

Ammonium:

Die spektroskopische Bestimmung von Ammonium als $\text{NH}_4\text{-N}$ erfolgte gemäß ON ISO 7150 TI.1.

Cyanid leicht freisetzbar:

Freisetzung und spektroskopische Bestimmung von Cyanid leicht freisetzbar erfolgten gemäß ÖNORM M 6285 (modifiziert).

Flüchtige organische Verbindungen (VOC; 1,2-Dichlorethen, Trichlorethen, Tetrachlormethan, Tetrachlorethen, Ethylbenzol, Xylole, Isopropylbenzol):

Die Analyse erfolgte unter Verwendung interner Standards mit GC-MSD und Headspace gemäß ÖNORM EN ISO 10301.

Zinnorganika (Dibutylzinnverbindungen; DBT):

Die Analyse erfolgte analog zu jener von Tributylzinn (siehe Kapitel 4.2).

5 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

5.1 Ergebnisse der Kategorisierung

Die Kläranlagen wurden nach den Kriterien Ausbaupkapazität und Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet sechs Kategorien zugeteilt. Dieser Zuordnung liegen die Annahmen zugrunde, dass die Ausbaupkapazität auch die Reinigungsleistung mitberücksichtigt (Nitrifikation versus Stickstoffentfernung) und der Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet das Vorkommen bestimmter untersuchter Stoffe und Stoffgruppen im Kläranlagenzulauf bestimmt.

Für eine Bewertung wurden die gemessenen Zulaufkonzentrationen der untersuchten Stoffe und Stoffgruppen in Abhängigkeit vom CSB im Zulauf auf einwohnerspezifische Frachten umgerechnet, wobei als Referenzfracht 110 g CSB/EW/d herangezogen wurden. Diese einwohnerspezifischen Zulauffrachten wurden in Relation zum Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet gesetzt. Dabei wurden drei Indirekteinleiterklassen unterschieden: Klasse 1 enthält die Anlagen der Kategorien 1 und 2 mit einem Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet kleiner 25 %, Klasse 2 die Anlagen der Kategorien 3, 4 und 5 mit einem Indirekteinleiteranteil zwischen 25 und 75 % und Klasse 3 die Anlagen der Kategorie 6 mit einem Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet von größer 75 %. Eine statistische Auswertung ist nicht möglich, da die Klassen 1 und 3 jeweils nur drei Anlagen umfassen. Die Ergebnisse lassen jedoch erste grobe Aussagen zu.

Die Auswertungen wurden auf Stoffe und Stoffgruppen beschränkt, die in fast allen Zuläufen nachweisbar waren. Es ist zu beobachten, dass für einige Substanzen ein direkter Zusammenhang zum Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet zu bestehen scheint, wohingegen bei anderen kein Zusammenhang festzustellen ist. Während bei einigen Stoffen bzw. Stoffgruppen die einwohnerspezifischen Frachten [mg/EW/d] mit steigendem Indirekteinleiteranteil ansteigen (z. B. Cadmium, Fluoranthene, Nickel, Trichlormethan), sinken diese bei anderen Stoffen bzw. Stoffgruppen mit steigendem Indirekteinleiteranteil (polybromierte Diphenylether (PBDE), DEHP, Nonylphenole, Tributylzinnverbindungen, LAS). Die Ergebnisse sind in Abbildung 2 dargestellt.

Dies deutet darauf hin, dass die Belastung mit polybromierten Diphenylethern, DEHP, Nonylphenolen und Tributylzinnverbindungen nicht auf industrielle Einleiter zurückzuführen ist, sondern diese vielmehr sehr stark aus dem häuslichen bzw. kleingewerblichen Bereich emittiert werden. VETHAAK et al. (2005) erzielten ein vergleichbares Ergebnis für DEHP und beobachteten die höchsten DEHP-Konzentrationen im häuslichen Abwasser. Es ist jedoch zu beachten, dass die Klassen diesbezüglich nicht sehr klar abgrenzbar sind, da auch ein Indirekteinleiteranteil von rund 50 % hauptsächlich auf Kleingewerbe bzw. ein gemischtes Siedlungsgebiet und nicht auf wenige Hauptindirekteinleiter zurückzuführen sein kann. Dies erklärt zum Teil die große Streuung der berechneten einwohnerspezifischen Frachten.

Eine Auswertung nach den Indirekteinleiterbranchen ist nicht sinnvoll, da für die verschiedenen Branchen bzw. Branchenkombinationen nicht ausreichend Daten vorliegen.

Zusammenhang EW-spezifische Frachten
...

... und Indirekteinleiteranteil

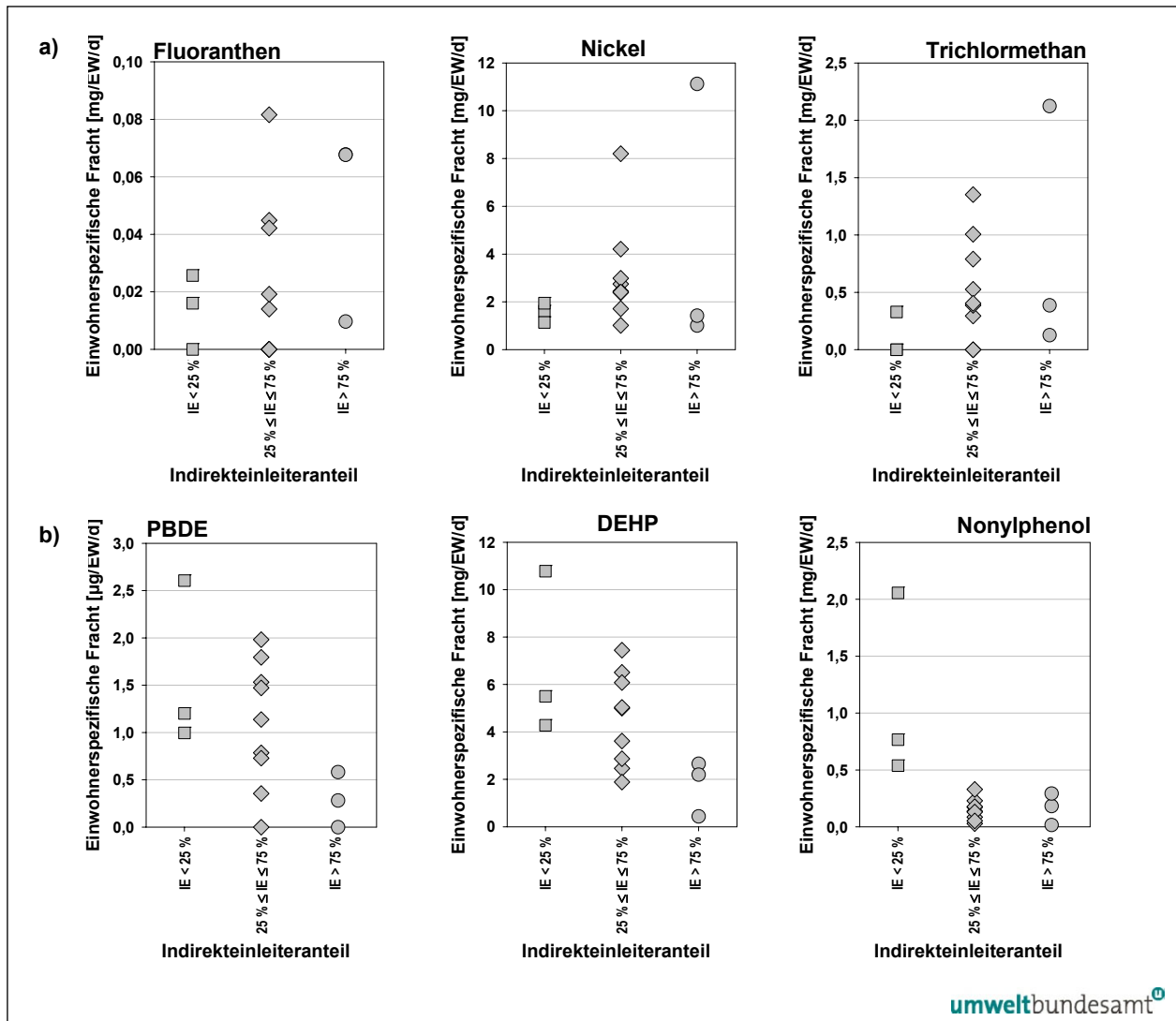


Abbildung 2: Zusammenhang zwischen berechneten einwohnerspezifischen Zulauffrachten [mg/EW/d] und dem Indirekteinleiteranteil im Einzugsgebiet:

- a) die Variabilität der spezifischen Einwohnerfrachten und die Maximalwerte der spezifischen Einwohnerfrachten steigen mit zunehmendem Indirekteinleiteranteil
- b) die spezifischen Einwohnerfrachten sinken mit zunehmendem Indirekteinleiteranteil.

Berechnung der Entfernungsraten

Aus den gemessenen Zu- und Ablaufkonzentrationen wurden Entfernungsraten berechnet. Diese stellen nur grobe Schätzungen dar und sind mit erheblichen Unsicherheiten verbunden, da sie nicht auf einer längerfristigen Bilanzierung beruhen, sondern nur aus einer Konzentrationsmessung im Zu- und Ablauf abgeschätzt wurden. Teilweise wurden auch negative Entfernungsraten ermittelt, wenn die Ablaufkonzentrationen über den Zulaufkonzentrationen lagen. Diese Entfernungsraten und die Ablaufkonzentrationen sowie einwohnerspezifische Ablauffrachten wurden dem Reinigungsverfahren gegenübergestellt. Es wurden nur geringfügige Unterschiede zwischen den verschiedenen Verfahren festgestellt. Bei einigen Stoffen bzw. Stoffgruppen wurden für den Tropfkörper im Vergleich zu den anderen Verfahren geringere Entfernungsraten bestimmt (polybromierte Diphenylether, Nonylphenole). Dabei ist jedoch zu beachten,

dass bei den Untersuchungen nur ein Tropfkörper berücksichtigt wurde. Die meisten der untersuchten Kläranlagen werden nach dem Belebungsverfahren betrieben und auch die Ergebnisse dieser Anlagen zeigen einen großen Schwankungsbereich. Für die meisten der untersuchten Stoffe und Stoffgruppen liegt auch das Ergebnis für den Tropfkörper innerhalb dieses Schwankungsbereiches.

Auch eine Gegenüberstellung einstufiger und zweistufiger Anlagen zeigt keine deutlichen Unterschiede. Einzig bei den Metallen (z. B. Nickel, Kupfer und Zink) scheint bei den zweistufigen Kläranlagen im Vergleich zu den einstufigen ein verstärkter Rückhalt zu erfolgen.

5.2 Prioritäre Stoffe

5.2.1 Ergebnisse der Stoffeingrenzung

Das Europäische Parlament und der Rat haben mit der Entscheidung Nr. 2455/2001/EG eine Liste von 33 prioritären Stoffen verabschiedet und der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) als Anhang X beigefügt. Mit RL 2008/105/EG wurde der Anhang X der WRRL neu gefasst: Es wird nunmehr zwischen prioritären und prioritär gefährlichen Stoffen unterschieden. Während der Eintrag der prioritären Stoffe in die Gewässer schrittweise zu reduzieren ist, sollen Einleitungen von prioritär gefährlichen Stoffen ganz eingestellt werden. Tabelle 6 enthält die Liste der prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe gemäß Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie.

33 prioritäre Stoffe

Im Zuge der Stoffeingrenzung wurden 15 Kläranlagenzu- und -ablaufproben untersucht. Bei Anwendung der in Kapitel 3 angeführten Ausscheidungskriterien verbleiben für weitere Untersuchungen die in Tabelle 6 hervorgehobenen Stoffe bzw. Stoffgruppen.

Tabelle 6: Liste der prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe gemäß Anhang X WRRL.

prioritär gefährliche Stoffe	prioritäre Stoffe
● Anthracen	● Alachlor
● Bromierte Diphenylether (PBDE)	● Atrazin
● Cadmium und Cadmiumverbindungen	● Benzol
● C ₁₀₋₁₃ -Chloralkane	● Chlorfenvinphos
● Endosulfan	● Chlorpyrifos
● Hexachlorbenzol	● 1,2-Dichlorethan
● Hexachlorbutadien	● Dichlormethan
● Hexachlorcyclohexan	● Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)
● Quecksilber und Quecksilberverbindungen	● Diuron
● Nonylphenole (4-Nonylphenol)	● Fluoranthen
● Pentachlorbenzol	● Isoproturon
● Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	● Blei und Bleiverbindungen
● Benzo(a)pyren	● Naphthalin
● Benzo(b)fluoranthen	● Nickel und Nickelverbindungen
● Benzo(k)fluoranthen	● Octylphenole
● Benzo(g,h,i)perylen	● Pentachlorphenol
● Indeno(1,2,3-cd)pyren	● Simazin
● Tributylzinnverbindungen (Tributylzinn-Kation)	● Trichlorbenzole
	● Trichlormethan (Chloroform)
	● Trifluralin

Bei den Metallen (Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber) wurden die Gesamtgehalte gemessen und die Auswertungen mit diesen Gesamtgehalten durchgeführt, wohingegen sich die Umweltqualitätsnormen auf die gelöste (bei 0,45 µm filtrierte) Fraktion beziehen.

ausgeschlossene Substanzen

Von den 33 prioritären bzw. prioritär gefährlichen Stoffen wurden 9 Stoffe bzw. Stoffgruppen (Alachlor, Chlorfenvinphos, Endosulfan, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Pentachlorphenol, Pentachlorbenzol, Trichlorbenzole und Trifluralin) weder im Zu- noch im Ablauf nachgewiesen.

Weitere 7 Stoffe (Anthracen, 1,2-Dichlorethan, Naphthalin, Fluoranthen, Benzo(a)pyren, Benzo(b)fluoranthen und Benzo(k)fluoranthen) wurden zwar im Zu- lauf einzelner Kläranlagen, jedoch in keiner der untersuchten Ablaufproben nachgewiesen.

Sechs Stoffe (Atrazin, Benzol, Isoproturon, Simazin, C₁₀₋₁₃ Chloralkane und Blei) wurden zwar in den untersuchten Ablaufproben nachgewiesen, die maximal gemessenen Ablaufkonzentrationen lagen jedoch unterhalb der halben Umweltqualitätsnorm (siehe Abbildung 3), weshalb diese Stoffe in Modul 2 nicht weiter berücksichtigt wurden.

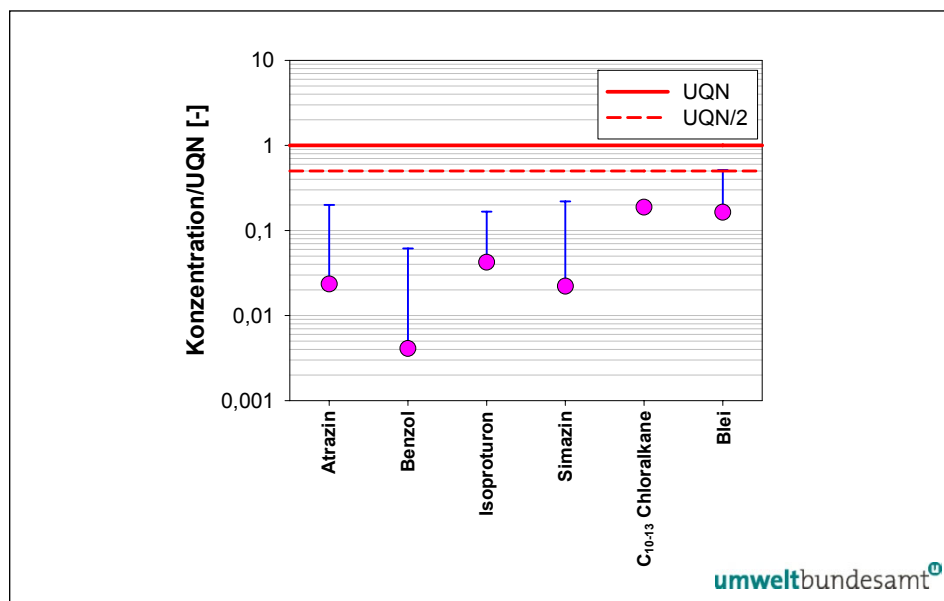


Abbildung 3: Mittelwerte [$\mu\text{g/l}$] und Maximalwerte der Ablaufmessungen kommunaler Kläranlagen relativ zur jeweiligen Umweltqualitätsnorm für Atrazin, Benzol, Isoproturon, Simazin, C₁₀₋₁₃ Chloralkane und Blei.

Die Analyse der Einzeluntersuchungen bei den verbleibenden Stoffen/Stoffgruppen führte zum Ausschluss weiterer Stoffe:

- *Indeno(1,2,3-cd)pyren* und *Benzo(g,h,i)perylen* wurden nur in einer rein industriellen Kläranlage nachgewiesen.
- *Trichlormethan* wurde nur in einer nahezu rein industriellen Kläranlage in Konzentrationen größer UQN/2 (halbe Umweltqualitätsnorm) gemessen. In 9 von 15 Kläranlagen war dieser Stoff nicht nachweisbar und in 5 von 15 Ablaufproben lag der Messwert unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 1,483 $\mu\text{g/l}$ (UQN = 2,5 $\mu\text{g/l}$).
- *Dichlormethan* ist ein leicht flüchtiges halogeniertes Lösungsmittel und wurde nur in 2 von 15 Ablaufproben nachgewiesen. Beide Nachweise lagen mit 11 bzw. 43 $\mu\text{g/l}$ oberhalb der halben Umweltqualitätsnorm (UQN = 20 $\mu\text{g/l}$). Aufgrund der Flüchtigkeit von Dichlormethan ist davon auszugehen, dass eine Strippung durch die Belüftung in der Belebung erfolgt.
- *Octylphenole* wurden in 3 von 15 Ablaufproben in Konzentrationen unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,09 $\mu\text{g/l}$ gemessen. Die Umweltqualitätsnorm nach RL 2008/105/EG liegt bei 0,1 $\mu\text{g/l}$. Die Überschreitung des Ausscheidungskriteriums ist durch die rechnerische Berücksichtigung analytischer Nachweise kleiner Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungs- und Nachweisgrenze begründet.

Somit wurden in Modul 2 die folgenden prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe berücksichtigt (siehe Tabelle 7). Chlorpyrifos wurde nicht bei allen Beprobungen bestimmt, sondern bei den zwei Beprobungszyklen im Mai und im Juli analysiert, bei denen auch die Pflanzenschutzmittel in allen Ablaufproben gemessen wurden.

Tabelle 7: In Modul 2 untersuchte prioritäre und prioritär gefährliche Stoffe bzw. Stoffgruppen im Ablauf kommunaler Kläranlagen.

Prioritär gefährliche Stoffe	Prioritäre Stoffe
Bromierte Diphenylether (PBDE)	Chlorpyrifos
Cadmium	Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)
Hexachlorcyclohexan	Diuron
Quecksilber	Nickel
Nonylphenole	
Tributylzinnverbindungen	

5.2.2 Ergebnisse – prioritäre Pflanzenschutzmittel

Die Pflanzenschutzmittel unter den prioritär und prioritär gefährlichen Stoffen wurden in den 15 Projektkläranlagen in Modul 1 einmalig und in den 9 Kläranlagen in Modul 2 zweimal untersucht. In einer Kläranlage konnten einzelne Stoffe nur einmalig analysiert werden, da nicht genügend Probenvolumen zur Verfügung stand. Die Ergebnisse sind in Tabelle 8 zusammengefasst.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Ergebnisse für die untersuchten Pflanzenschutzmittel in kommunalen Kläranlagen.

Parameter	n	nicht nachweisbar		n > BG	n > UQN/2
		n	[%]		
Alachlor	32	32	100	–	–
Atrazin	33	17	52	4	–
Chlorfenvinphos	33	32	97	–	–
Chlorpyrifos	32	16	50	10	3
Endosulfan	32	32	100	–	–
Hexachlorbenzol	32	32	100	–	–
Hexachlorcyclohexan	32	16	50	4	–
Isoproturon	33	6	18	13	1
Pentachlorbenzol	32	32	100	–	–
Pentachlorphenol	32	30	94	–	(2) ¹⁾
Simazin	33	28	85	2	–
Trifluralin	32	32	100	–	–

¹⁾ Messwerte < BG

Alachlor, Endosulfan, Hexachlorbenzol, Pentachlorbenzol und Trifluralin waren in keiner Probe, Chlorfenvinphos, Pentachlorphenol und Simazin nur vereinzelt nachweisbar. In rund 50 % der untersuchten Proben wurden Atrazin, Chlorpyrifos und Hexachlorcyclohexan (HCH) nachgewiesen. Die Positivbefunde für HCH beruhen auf dem Nachweis von γ -HCH (Lindan). Am häufigsten (in 82 % der untersuchten Proben) wurde Isoproturon gefunden.

Während Atrazin und Lindan nicht als Pflanzenschutzmittel zugelassen sind, sind sowohl Chlorpyrifos als auch Isoproturon laut österreichischem Pflanzenschutzmittelregister (AGES¹, 12.05.2009) in verschiedenen Produkten in Verwendung.

Chlorpyrifos ist ein Insektizid und wird im Vorratsschutz, Grünland, Forst, Acker-, Gemüse-, Obst-, Wein- und Zierpflanzenbau eingesetzt. Derzeit sind drei Produkte unter den Registernummern 1797 (Agritox), 2225 (Reldan 2E) und 2419 (Zertell) zugelassen.

Isoproturon ist ein Herbizid und wird im Acker- und Gemüsebau eingesetzt. Auch für Isoproturon sind zurzeit drei Produkte unter den Registernummern 2181 (Alon flüssig), 2617 (Azur) und 2972 (Protugan) registriert.

Für *Lindan* wurde 1998 die Zulassung als Pflanzenschutzmittelwirkstoff widerrufen, es war aber noch in Medikamenten gegen Parasiten in der Tiermedizin und für Menschen – zum Beispiel gegen Kopfläuse und Krätze – enthalten. Seit 1. Jänner 2008 sind auch diese Anwendungen verboten (Verordnung (EG) Nr. 850/2004).

Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 4 dargestellt.

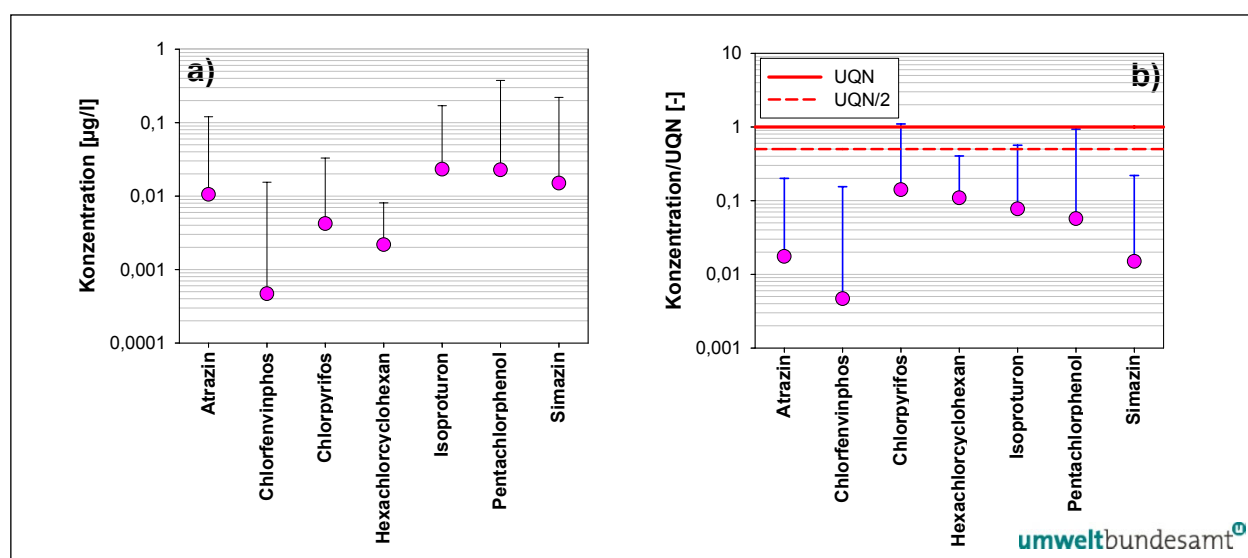


Abbildung 4: Ergebnisse der Messungen der prioritären und der prioritär gefährlichen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe im Ablauf kommunaler Kläranlagen:

- Darstellung der mittleren und maximalen Konzentrationen [µg/l]
- Darstellung der mittleren bzw. maximalen Konzentrationen in Relation zur jeweiligen Umweltqualitätsnorm [-].

Die Mittelwerte der Messungen liegen für alle Wirkstoffe deutlich unterhalb der halben Umweltqualitätsnorm UQN/2. Bei Pentachlorphenol liegt die analytische Bestimmungsgrenze mit 0,5 µg/l oberhalb der Umweltqualitätsnorm von

¹ Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit: PSM-Register. Verzeichnis der in Österreich zugelassenen Pflanzenschutzmittel.

[http://www.ages.at:7778/pls/psmlfrz/pmgweb2\\$.Startup?z_user=www](http://www.ages.at:7778/pls/psmlfrz/pmgweb2$.Startup?z_user=www). Abfrage nach Wirkstoffen Chlorpyrifos, Isoproturon, Phosalon und Mevinphos, 12.05.2009.

0,4 µg/l. In zwei von 32 Proben wurde Pentachlorphenol nachgewiesen, war aber nicht quantifizierbar (Messwerte < BG). Bei Chlorpyrifos wurden alle Messwerte größer UQN/2 in den Ablaufproben ein und derselben Kläranlage gemessen und bei Isoproturon lag ein Messwert von 33 oberhalb der halben Umweltqualitätsnorm.

Keiner der untersuchten prioritären bzw. prioritär gefährlichen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe erfüllt die in Kapitel 3 beschriebenen Relevanzkriterien.

5.2.3 Ergebnisse – prioritäre und prioritär gefährliche Stoffe (außer Pflanzenschutzmittelwirkstoffe)

Die in Tabelle 7 angeführten Stoffe (mit Ausnahme von Chlorpyrifos) wurden in Modul 2 im Zweimonatsrhythmus in neun Projektkläranlagen untersucht. Zusätzlich zu diesen Proben wurden die Ergebnisse aus Modul 1 für die Auswertungen berücksichtigt. Die Ergebnisse sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Zusammenfassung der Ergebnisse der im Ablauf von Kläranlagen untersuchten prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe (außer Pflanzenschutzmittel).

Parameter	n	nicht nachweisbar		n > BG	n > UQN/2
		n	[%]		
Summe PBDE	59	–	–	–	50
BDE 47	59	11	19	1	–
BDE 99	59	12	20	3	–
BDE 100	59	27	46	3	–
BDE 153	59	39	67	2	–
BDE 154	59	39	67	1	–
Cadmium	60	4	7	–	15–56 ¹⁾
Quecksilber	60	56	93	1	4
Nonylphenole	60	2	3	47	32
Tributylzinnverb.	60	23	38	21	37
DEHP	59	15	25	35	6
Diuron	60	6	10	48	7
Nickel	60	–	–	59	7

¹⁾ abhängig von härteabhängiger Umweltqualitätsnorm UQN

Mit Ausnahme von Quecksilber wurden fast alle der untersuchten Stoffe bzw. Stoffgruppen in über drei Viertel der analysierten Ablaufproben nachgewiesen.

Schwermetalle

Quecksilber wurde nur in vier Ablaufproben aus Modul 1 gefunden, wobei ein Messwert sehr hoch war. Dieser Wert wurde für die weiteren Auswertungen nicht berücksichtigt, da er bei Kontrolluntersuchungen nicht verifiziert werden konnte. In Modul 2 wurde Quecksilber trotz niedrigerer Bestimmungs- und Nachweisgrenze in keiner Ablaufprobe gefunden.

Bei *Cadmium* lagen alle Positivbefunde unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von 0,50 µg/l in Modul 1 bzw. von 0,10 µg/l in Modul 2. Diese analytischen Bestimmungsgrenzen liegen im Bereich oder über den härteabhängigen Umweltqualitätszielen gemäß RL 2008/105/EG. Je nachdem welches Güteziel ($\leq 0,08$ µg/l Cd bei < 40 mg/l CaCO_3 bzw. 0,25 µg/l Cd bei ≥ 200 mg/l CaCO_3) zum Vergleich mit den Messwerten herangezogen wird, liegen nur wenige oder alle Messwerte oberhalb der halben Umweltqualitätsnorm.

Auch bei den *polybromierten Diphenylethern* lagen nur einzelne Messwerte oberhalb der analytischen Bestimmungsgrenzen der untersuchten Kongenere (siehe Tabelle 9). Während das Umweltqualitätsziel gemäß RL 2008/105/EG mit 0,0005 µg/l sehr niedrig ist, liegen die Bestimmungsgrenzen der analysierten Kongenere zum Teil deutlich darüber (z. B. das Hauptkongener BDE 47 mit einer BG von rund 2 ng/l). Nichtsdestotrotz waren einzelne Kongenere der polybromierten Diphenylether in nahezu allen Ablaufproben nachweisbar, wenn auch unterhalb der jeweiligen BG.

PBDE

Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 5 dargestellt. Die Abbildung zeigt zum einen die gemessenen Konzentrationen (Mittel- und Maximalwerte) in µg/l und zum anderen die Relation dieser Werte zum jeweiligen Umweltqualitätsziel.

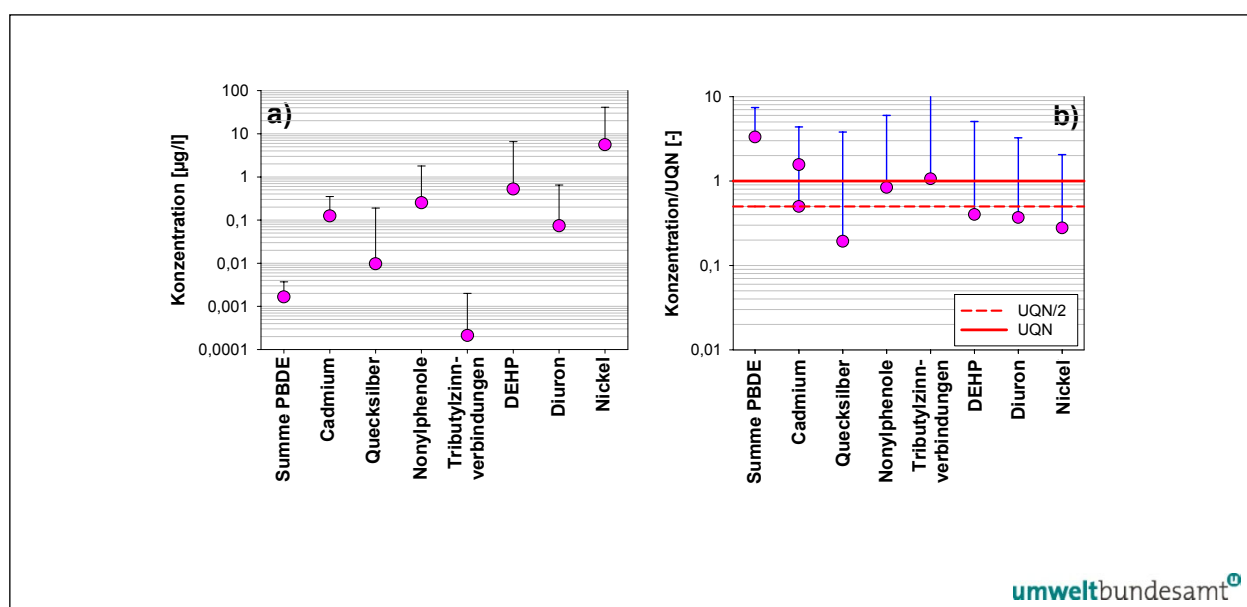


Abbildung 5: Ergebnisse der Messungen der im Ablauf kommunaler Kläranlagen untersuchten prioritären und der prioritär gefährlichen Stoffe bzw. Stoffgruppen (ausgenommen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe):

- Darstellung der mittleren und maximalen Konzentrationen [µg/l]
- Darstellung der mittleren bzw. maximalen Konzentrationen in Relation zur jeweiligen Umweltqualitätsnorm [-]

Für Quecksilber, DEHP, Diuron und Nickel lagen die Mittelwerte aller Messungen unterhalb der halben Umweltqualitätsnorm, wohingegen bei polybromierten Diphenylethern, Cadmium, Nonylphenolen und Tributylzinnverbindungen diese zum Teil deutlich oberhalb des Ausscheidungskriteriums lagen. Gemäß den Relevanzkriterien in Kapitel 3 sind somit polybromierte Diphenylether, Cadmium, Nonylphenole und Tributylzinnverbindungen hervorzuheben.

**Module 1+2:
4 relevante Stoffe
identifiziert**

Zusätzlich zu der Auswertung unter Berücksichtigung aller Ablaufmesswerte aus Modul 1 und Modul 2 wurden nur die Daten aus Modul 2 für die neun Projektkläranlagen bewertet. Es wurden Mittelwerte der 5 Einzelmessungen mit den Umweltqualitätszielen verglichen. Gemäß den Auswahlkriterien nach Kapitel 3 werden Stoffe bzw. Stoffgruppen als relevant eingestuft, wenn der Mittelwert eines Stoffes bei einer der neun Projektkläranlagen oberhalb des jeweiligen Güteziels liegt. Diese Auswertung ist in Abbildung 6 dargestellt.

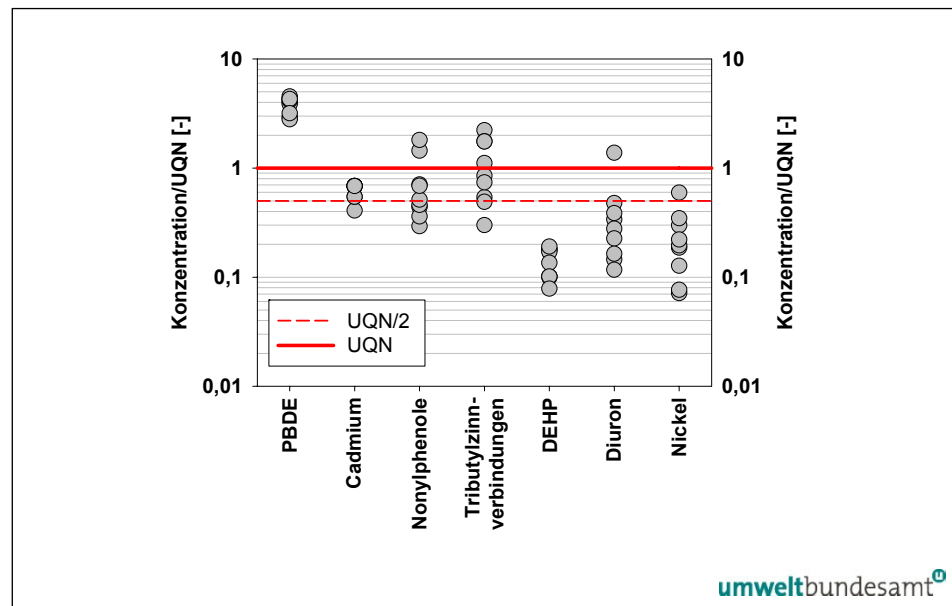


Abbildung 6: Darstellung der Mittelwerte relativ zur Umweltqualitätsnorm UQN für die im Ablauf kommunaler Kläranlagen untersuchten prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe bzw. Stoffgruppen (ausgenommen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe).

Während bei den polybromierten Diphenylethern die berechneten Mittelwerte aller neun Kläranlagenablaufmesswerte deutlich über dem Güteziel lagen, überschritten bei Nonylphenolen, Tributylzinnverbindungen und Diuron nur einzelne Mittelwerte das Auswahlkriterium. Cadmium, Quecksilber, DEHP und Nickel werden nach dieser Auswertung ausgeschieden.

Modul 2: 4 relevante Stoffe identifiziert

Basierend auf diesem zweiten Auswahlkriterium sind somit polybromierte Diphenylether, Diuron, Nonylphenole und Tributylzinnverbindungen als relevant einzustufen. Die Ergebnisse der zwei Auswertungen zeigen eine gute Übereinstimmung.

5.2.3.1 Polybromierte Diphenylether

Polybromierte Diphenylether (PBDE) sind Verbindungen mit zwei aromatischen Ringen, die über eine Ether-Brücke verbunden sind und je nach Bromierungsgrad ein bis zehn Bromatome enthalten. Die Substanzklasse umfasst 209 Verbindungen (UMWELTBUNDESAMT 2004).

Technische Mischungen dieser Verbindungen werden weltweit in großen Mengen als Flammschutzmittel für Polymere vor allem in Polyurethanschäumen (bis zu 30 % PBDE), in Kunststoffen (bis zu 15 % PBDE) sowie in der Textil-, Elektro-, Elektronik- und Computerindustrie verwendet. Bei der Herstellung bzw. dem Gebrauch und der Entsorgung von Polymeren, die polybromierte Flammschutzmittel enthalten, können diese in die Umwelt gelangen. Es besteht der Verdacht, dass polybromierte Diphenylether einen Einfluss auf das menschliche Hormonsystem ausüben, sowie neurotoxische Effekte verursachen können (UMWELTBUNDESAMT 2004).

Einsatzbereiche von PBDE

Polybromierte Diphenylether unterliegen stoffspezifischen Regelungen. Dazu zählen

gesetzliche Einschränkungen

- das europaweite Verbot von Pentabrom Diphenylethern und Octabrom Diphenylethern in Zubereitungen und Erzeugnissen (RL 2003/11/EG; Chemikalien-Verbotsverordnung);
- das Verbot der Verwendung polybromierter Diphenylether mit Ausnahme von Pentabrom und Decabrom Diphenylethern als Flammschutzmitteladditive in Elektronikgeräten (RL 2002/95/EG; Elektroaltgeräteverordnung);
- das Verbot von Octabrom Diphenylethern in Kosmetikprodukten (Kosmetikverordnung).

In der Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG) ist ein immissionsseitiger Grenzwert für die technische Mischung des Pentabrom Diphenylethers (Summe der Kongenere BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153 und BDE 154) von 0,5 µg/l festgelegt. RL 2008/105/EG legt für polybromierte Diphenylether einen Immissionsgrenzwert von 0,0005 µg/l fest, der sich auf die Summe der Kongenere BDE 28, BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153 und BDE 154 bezieht.

Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 7 dargestellt. In den Kläranlagen ist ein Rückhalt feststellbar, da die gemessenen Ablaufkonzentrationen deutlich unterhalb der Zulaufkonzentrationen lagen. Die Ablaufkonzentrationen der einzelnen Kläranlagen schwanken zwischen < 0,001–0,004 µg/l und sind vergleichbar.

Konzentrationen der PBDE

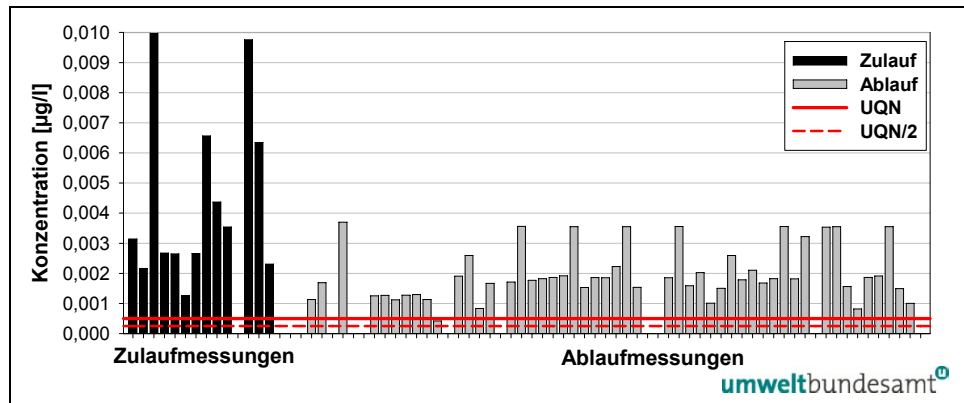


Abbildung 7: Summen der gemessenen Konzentrationen der Kongenere BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153 und BDE 154 in 15 Zu- und 60 Ablaufproben kommunaler Kläranlagen (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

Es ist jedoch anzumerken, dass die meisten Einzelstoffnachweise unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenzen lagen. Die dargestellten Werte ergeben sich durch Anwendung der Berechnungskonvention. Vor allem die Berücksichtigung analytischer Nachweise kleiner Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungs- und Nachweisgrenze führt zu erheblichen Unsicherheiten, da zwischen BG und NG bei dieser Stoffgruppe ein Faktor 100 vorliegt.

Vergleich mit Beprobung 2002

Für die Stoffgruppe der polybromierten Diphenylether liegen Untersuchungsergebnisse von Abwasserproben aus dem Jahr 2002 vor (UMWELTBUNDESAMT 2004). Diese Ergebnisse sind jenen der aktuellen Studie gegenübergestellt (siehe Abbildung 8). Anzumerken ist, dass die Stichprobe der Studie 2002 nur zwei Zulaufproben berücksichtigt, wohingegen die Ablaufstichprobe mit 18 Proben einen vergleichbaren Umfang aufweist.

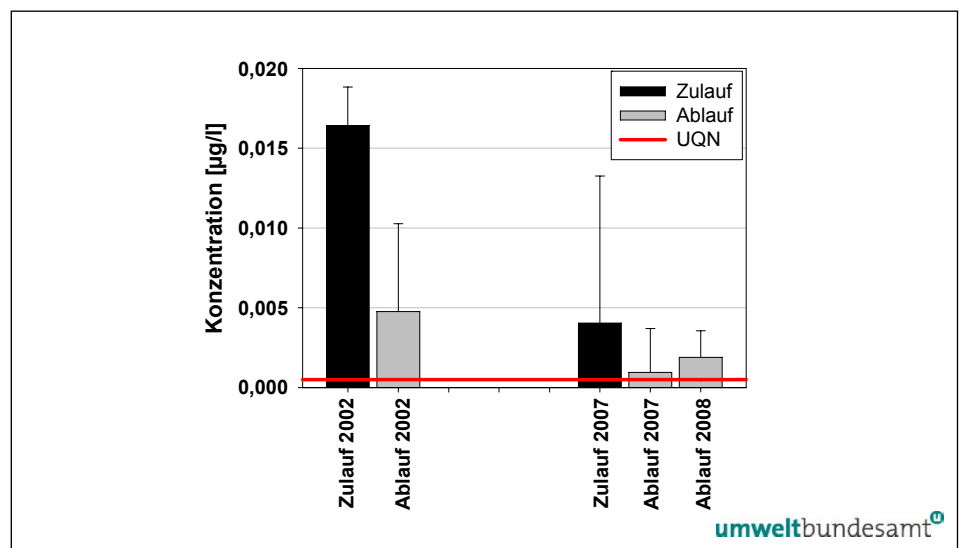


Abbildung 8: Vergleich der Konzentrationen polybromierter Diphenylether in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen in den Jahren 2002, 2007 und 2008.

Sowohl die Zulauf- als auch die Ablaufkonzentrationen lagen 2002 deutlich oberhalb jener die im Zuge der aktuellen Studie gemessen wurden. Dies ist sicherlich zum Teil auf das Inkrafttreten verschiedener chemikalienrechtlicher Verbote zurückzuführen, die in den letzten Jahren (2003–2006) erlassen worden sind. Es ist davon auszugehen, dass die Konzentrationen in Abwässern weiter rückläufig sein werden.

**rückläufige
Konzentration
feststellbar**

5.2.3.2 Cadmium

Cadmium (Cd) ist ein toxisches, bioakkumulierendes Schwermetall, das nicht in eigenen abbauwürdigen Lagerstätten vorkommt, sondern häufig Begleitmetall in Zink-, Blei- und Kupfererzen ist, wobei Zinkerze dominieren. Konzentrate der Zinkerze können zwischen 0,1 und 0,5 % Cd enthalten (UBA 2007a). Cadmium ist damit in seinem Einsatz stark mit Zink vergesellschaftet (KOPPE & STOZEK 1999). Jeder Einsatz von Zink ist auch mit Emissionen an Cadmium verbunden.

Vorkommen von Cd

Die verfügbare Primärproduktion an Cadmium ist überwiegend an die Zinkproduktion gekoppelt. Traditionell erzeugen einige Zinkhütten metallisches Cadmium gewissermaßen als Nebenprodukt. Cadmiumhaltige Rückstände aus der Erzeugung anderer Nichteisen-Metalle werden in diesem Prozess mitverarbeitet. Die Sekundärproduktion von Cadmium erfolgt ausschließlich aus verbrauchten Batterien (UBA 2007a).

Der Haupteinsatzbereich von Cadmium sind Ni/Cd-Batterien. Die Verwendung in Pigmenten ist durch die RL 91/338/EWG (weitgehend) verboten. Auch der Einsatz in Stabilisatoren für PVC ist durch Rechtsnormen eingeschränkt. Weitere Verwendungsbereiche sind spezielle Solarzellen, Katalysatoren, Cadmium-Legierungen und galvanische Beschichtungen. Bis auf die cadmiumhaltigen Solarzellen, deren zukünftige Marktchancen zurzeit nicht abgeschätzt werden können, sind alle diese Anwendungen mengenmäßig kaum noch von Bedeutung. Neben der gezielten Verwendung von Cadmium und der Nichteisen-Metallerzeugung sind die Cadmiumgehalte von Brennstoffen, von Eisenerzen, von Phosphaterzen, die zur Gewinnung von Düngemittel eingesetzt werden, und von Rohstoffen der Steine- und Erdenindustrie weitere Quellen für Cadmiumbelastungen der Umwelt (UBA 2007a).

**Einsatzbereiche von
Cd**

Einträge in die Kanalisation stammen in wesentlichem Umfang aus Oberflächenabschwemmungen, Haushalten und aus dem industriellen Bereich. Quellen der Einträge über Oberflächenabschwemmung sind vor allem Depositionen (wichtige Luftemissionsquellen: Metallindustrie, Müllverbrennungsanlagen) und Korrosion verzinkter Dachverblechungen und verzinkter Regenrinnen (LAMPERT et al. 1997, UBA 2007a). Aus dem Haushalt stammt Cadmium vornehmlich aus Reinigungsprozessen (Hausstaub), Ausscheidungen und Speiseresten (LAMPERT et al. 1997). Ein möglicher Herkunftsbereich sind auch diffuse Emissionen aus der Verwendung von Ni/Cd-Batterien. Zusätzlich können metallverarbeitende Betriebe oder Düngemittelhersteller zu Cadmiumeinträgen in die Kanalisation beitragen (z. B. Röst-/Sinteranlagen, Metallgewinnung, Herstellung von Cadmiumpräparaten, Galvanisierung, Herstellung von Eisen und Stahl, anorganisch-chemische Grundstoffe oder Düngemittel sowie Herstellung von Pigmenten und Stabilisatoren; UBA 2007a).

**Eintragungspfade von
Cd**

Quantitative Aussagen aus den im Rahmen dieser Studie durchgeführten Messungen in Kläranlagenzu- und -abläufen zu Cadmium sind nur begrenzt möglich, da viele Messwerte unter der Bestimmungs- oder Nachweisgrenze lagen.

Konzentrationen von Cd

Die angegebenen Cadmiumkonzentrationen sind Gesamtgehalte, wohingegen die Umweltqualitätsnorm für Cadmium (härteabhängig) auf die gelöste (0,45 µm filtrierte) Fraktion bezogen ist.

Bei den Untersuchungen in Modul 1 lagen im Zulauf acht Messwerte unter der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l und sieben Messwerte darüber. Im Ablauf lagen die Messwerte durchwegs unter der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/l, aber über der Nachweisgrenze von 0,2 µg/l. Bei den Untersuchungen in Modul 2 lagen bei den Messungen im Ablauf (9 Kläranlagen an 5 Beprobungsterminen) alle Messungen unter der Bestimmungsgrenze von 0,1 µg/l und einzelne Messwerte auch unter der Nachweisgrenze von 0,01 µg/l.

Die gemessenen Cadmiumkonzentrationen lagen damit im Ablauf bei Modul 1 an der oberen Grenze der Literaturdaten, im Modul 2 an der unteren Grenze. Im Zulauf wurde eine große Schwankungsbreite gefunden, die an der Obergrenze und an der Untergrenze über die Literaturwerte hinausgeht. Die gemessenen Konzentrationen sind in Abbildung 9 dargestellt und Tabelle 10 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der aktuellen Studie mit Literaturwerten.

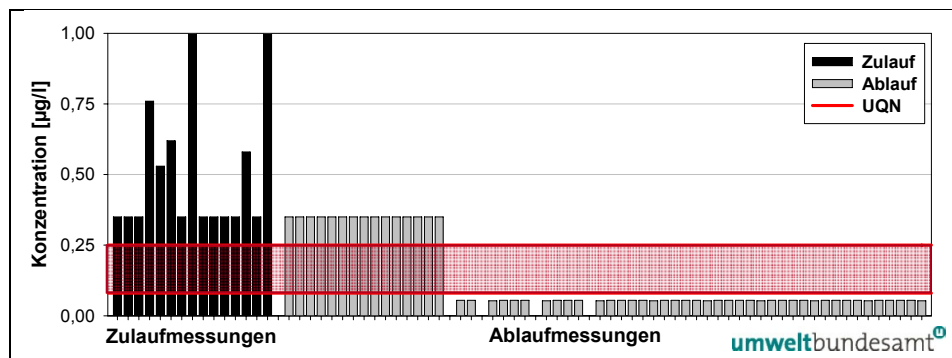


Abbildung 9: Cadmiumkonzentrationen [µg/l] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

Tabelle 10: Cadmiumkonzentrationen [µg/l] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten.

	n	Zulauf [µg/l]		Ablauf [µg/l]	
		gesamt	filtriert	gesamt	filtriert [%]
Messprogramm					
Zulauf	15	< 0,5–4,8			
Ablauf	60		–	n. n. bis < 0,5	–
ARA vor Ausbau IWAG (2008)	1	0,75 ¹⁾	0,20	0,24	82
ARA nach Ausbau IWAG (2008)	1	0,69 ¹⁾	0,08	0,09	88
NOVANA (2005)	36	0,07–2,1		0,03–0,25	–
UBA (2007a)		–		0,05–0,6	–

¹⁾ aus Bilanzierung über Fracht im Ablauf und im Klärschlamm errechnet

Die einwohnerwertspezifischen Zulauffrachten (Berechnung unter der Annahme, dass ein EW 110 g CSB/d entspricht) liegen bei den in Modul 1 untersuchten Kläranlagen bei einer großen Schwankungsbreite zwischen 0,04–0,72 mg/EW/d und im Mittel bei 0,20 mg/EW/d. Dies ist etwas höher als die „typischen“ Werte bei ZESSNER (1999) von ca. 0,16 mg/EW/d, welche über Klärschlammkonzentrationen ermittelt wurden. Allerdings werden die Mittelwerte aus Modul 1 stark durch zwei Kläranlagen mit vergleichsweise hohen Zulauffrachten beeinflusst. Über umfassende Untersuchungen an einer Kläranlage vor und nach deren Anpassung an den Stand der Technik konnte dort eine mittlere Zulauffracht von 0,19 mg/EW/d erhoben werden (IWAG 2008). Dieser spezifische Wert ist vergleichbar mit dem Ergebnis der aktuellen Studie.

EW-spezifische Zulauffrachten

In Modul 2 wurde für die Bilanzierungskläranlagen aus den Frachten in Klärschlamm und Ablauf eine spezifische Zulauffracht von rund 0,05 mg/EW/d ermittelt. Im kommunalen Abwasser kann in der Regel somit mit Zulauffrachten von 0,05–0,2 mg/EW/d gerechnet werden. Fallweise höhere Zulauffrachten sind auf eine besondere Indirekteinleitersituation im Einzugsgebiet zurückzuführen.

Konzentration im Zulauf

Während alle im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen ermittelten Messwerte deutlich unter der derzeit in Österreich gültigen Umweltqualitätsnorm (QZV Chemie OG) liegen, sind die Cadmiumgrenzwerte der neuen EU-Richtlinie über Qualitätsnormen in der Wasserpolitik (RL 2008/105/EG) wesentlich niedriger als jene der QZV Chemie OG. Zudem ist dieser EU-weit geregelte Grenzwert nach der Härte des Gewässers gestaffelt. Der untere EU-Grenzwert (geringe Härte) liegt mit $\leq 0,08 \mu\text{g/l}$ etwas unter der analytischen Bestimmungsgrenze für Cadmium von $0,1 \mu\text{g/l}$, der oberste Grenzwert (hohe Härte) liegt bei $0,25 \mu\text{g Cadmium/l}$.

Alle Ablaufmessungen aus Modul 2 lagen unter der analytischen Bestimmungsgrenze, während die in Modul 1 gemessenen Ablaufkonzentrationen zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze ($0,2\text{--}0,5 \mu\text{g/l}$) und damit über dem Grenzwertbereich lagen. Literaturangaben weisen ebenfalls darauf hin, dass der Ablauf von kommunalen Kläranlagen fallweise über der auf EU-Ebene erlassenen Umweltqualitätsnorm für Oberflächengewässer liegen kann. Trotz der analytischen Unsicherheiten werden die Auswahlkriterien gemäß Kapitel 3 eingehalten und Cadmium daher als relevant für Kläranlagenabläufe gemäß den angeführten Kriterien identifiziert.

Konzentration im Ablauf

Cd als relevanter Stoff identifiziert

5.2.3.3 Diuron

Diuron ist ein gesundheitsschädliches, ökotoxisches und persistentes systemisches Herbizid. Es wird in den oberen Teilen der Pflanzen angereichert und hemmt die Photosynthese. Aufgrund seiner herbiziden Eigenschaften zeigt Diuron besonders gegenüber Algen und Wasserpflanzen eine hohe Toxizität. Die Substanz weist einen Oktanol-Wasser Verteilungskoeffizienten von $\log 2,82$ auf und tendiert nicht zur Bioakkumulation.

Eigenschaften von Diuron

Diuron ist zwar im Zulassungsanhang I der EU-Pestizidrichtlinie (RL 91/414/EG) enthalten, in Österreich aber nicht zugelassen. Neben dem Einsatz als Pestizid kommt der Stoff auch als Biozid zur Anwendung. Diuron wurde in die Liste der zu überprüfenden Wirkstoffe aufgenommen (zweite Phase des 10-Jahresarbeitsprogrammes nach Verordnung VO (EG) 2032/2003 der Kommission) und ist als Topfkonservierer, Filmkonservierer und als Schutzmittel für Mauerwerk bis 2010, als Antifouling bis 2008 zugelassen.

Eintragspfade von Diuron

Die relevantesten Emissionspfade für Diuron sind atmosphärische Deposition, Einträge über landwirtschaftliche Flächen sowie Hofabläufe (UBA 2007a). Neben den diffusen Einträgen können Punktquellen wie Kläranlagen relevante Eintragspfade von Diuron in die aquatische Umwelt darstellen, vor allem bei unsachgemäßer Reinigung von Sprühgeräten und Entsorgung der Reinigungslösung über den Kanal. Ein weiterer wesentlicher Eintragspfad von Diuron in die Gewässer erfolgt bei Niederschlagsereignissen über Regen-/Mischwasserentlastungen (BURKHARDT et al. 2007a).

Sowohl in der QZV Chemie OG als auch in der RL 2008/105/EG ist ein immisionsseitiger Grenzwert für Diuron von 0,2 µg/l festgelegt.

Konzentration im Zulauf

Diuron wurde in 9 der 15 Zuläufe nachgewiesen, wobei ein Messwert unterhalb der Bestimmungsgrenze von 30 ng/l lag. Die gemessenen Werte schwanken zwischen < 0,03 µg/l und 0,73 µg/l. In den untersuchten Ablaufproben war Diuron in 54 von 60 Proben nachweisbar und bei 48 Proben lagen die analytischen Nachweise oberhalb der Bestimmungsgrenze (siehe Tabelle 9). Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 10 dargestellt.

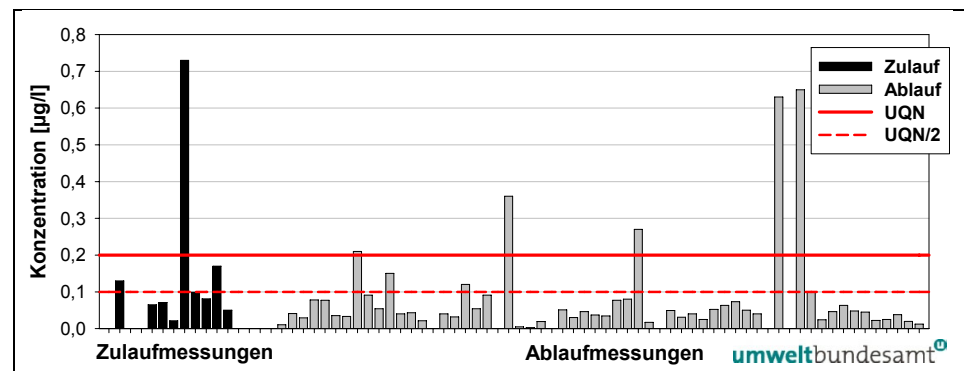


Abbildung 10: Diuron [µg/l] in Zu- und Ablaufproben kommunaler Kläranlagen.

(Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

Konzentration im Ablauf

Die Ablaufkonzentrationen schwanken zwischen nicht nachweisbar und 0,65 µg/l. Damit sind die Messwerte im Vergleich zu Literaturwerten niedrig. Ergebnisse aus den Niederlanden belegen Diuron-Konzentrationen im gereinigten Abwasser zwischen nicht nachweisbar und 1,4 µg/l (DE JONG et al. 2005). Für Deutschland fasst das Umweltbundesamt Dessau verschiedene Studien zusammen und gibt einen Median von 0,16 µg/l und einen Maximalwert von 8,1 µg/l an (UBA 2007a). Untersuchungen aus der Schweiz an 8 Kläranlagenabläufen (etwa 800 Messungen) in der Umgebung von Zürich weisen einen Schwankungsbereich der Messungen von 0,014–0,97 µg/l auf. Der Mittelwert liegt bei 0,12 µg/l (BURKHARDT et al. 2007b).

Diuron als relevanter Stoff identifiziert

Gemäß den Auswahlkriterien nach Kapitel 3 wird Diuron als relevant für Kläranlagenabläufe identifiziert.

5.2.3.4 Nonylphenole

Nonylphenole (NP) sind toxische, bioakkumulierende und schwer abbaubare Verbindungen. Sie werden in Deutschland in großen Mengen hergestellt und überwiegend zur Herstellung von Phenolharzen, aber auch zur Synthese von Nonylphenoethoxylenen (NPEO) verwendet. Weitere wichtige Anwendungen sind die Emulsionspolymerisation und die Verwendung in der Bauchemie (UBA 2007a).

Einsatzbereiche von NP

Eine Freisetzung von Nonylphenolen und Nonylphenoethoxylenen bzw. deren Umsetzungsprodukten kann grundsätzlich auf allen Stufen des Stoffstroms (Herstellung und Verarbeitung, Verwendung, Entsorgung) erfolgen. Nutzungsbedingt treten Emissionen besonders dort auf, wo Freisetzung die Folge des bestimmungsgemäßen Gebrauchs der Substanzen bzw. ihrer Verarbeitungsprodukte ist. Die Freisetzung aus Produkten hängt im Wesentlichen von der jeweiligen Verarbeitungs- und Anwendungsform ab und ist deshalb für die einzelnen Anwendungsgebiete getrennt zu betrachten. Bei langlebigen Produkten wie Kunststoffen ist grundsätzlich bei einer Abschätzung der Emissionen neben den Produktions- und Verarbeitungsmengen das vorhandene Depot an Produkten in der Nutzungsphase mit zu berücksichtigen. Aufgrund der großen Produktionsmengen und der vielfältigen umweltoffenen Anwendungen sind NP und NPEO in der Umwelt weit verbreitet (UBA 2007a).

Eintragspfade von NP

Wichtiger Eintragspfad in die Gewässer sind kommunale Kläranlagen, da Nonylphenole auch ein Abbauprodukt des biologischen Abbaus der Nonylphenoethoxylene darstellen (AHEL et al. 1994).

Nonylphenole wurden in allen Zulaufproben und in fast allen untersuchten Ablaufproben nachgewiesen (58/60). Die Konzentrationen im Zulauf schwanken zwischen 0,12 und 3,90 µg/l, der Mittelwert liegt bei 1,20 µg/l. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 11 dargestellt.

Konzentration im Zulauf

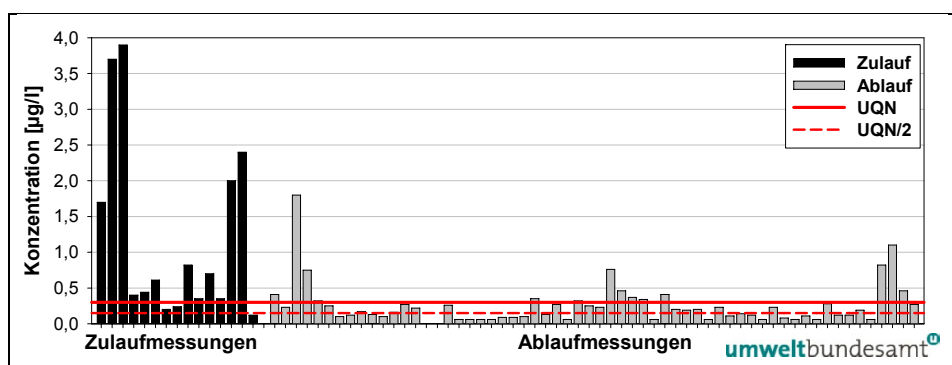


Abbildung 11: Nonylphenole [µg/l] in Zu- und Ablaufproben kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

Die Ablaufkonzentrationen schwanken im Bereich von nicht nachweisbar (NG 0,08 µg/l) und 1,8 µg/l. Der Mittelwert der Messungen liegt bei rund 0,25 µg/l. Die Ergebnisse sind in Tabelle 11 zusammengefasst und Literaturwerten gegenübergestellt.

Konzentration im Ablauf

Tabelle 11: Nonylphenole [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Zahlen in Klammern sind Mittelwerte).

		n	Zulauf [$\mu\text{g/l}$]	Ablauf [$\mu\text{g/l}$]
Messprogramm	Zulauf	15	0,12–3,90 (1,2)	
	Ablauf	60	–	n. n.–1,80 (0,25)
DE JONG et al. (2005)		–	–	0,00–0,60
NOVANA (2005)		36	0,08–2,35	0,06–1,60
UBA (2007a)		9	38 (Median) 170 (Max)	3,10 (Median) 5,40 (Max)
CLARA et al. (2007)		9	0,71–5,10	0,18–1,60
FAHLENKAMP et al. (2008)	Zulauf	49	0,15–5,54 (1,53)	0,04–0,84 (0,14)
	Ablauf	14		
YING et al. (2002)	Kanada	8	–	0,80–15,10
	UK	16		< 0,20–5,40
	Schweiz	2		5,00–11,00
	Spanien	3		6,00–343,00
	Japan	10		0,08–1,24
	USA	6		0,18–15,9
	Deutschland	16		< NG–0,77
	Italien	12		0,70–4,00

gesetzliche Einschränkungen

Für Nonylphenole existieren chemikalienrechtliche Verbote:

- RL 2003/53/EG schränkt besonders emissionsrelevante Anwendungen von Nonylphenolen und Nonylphenoethoxylaten ein bzw. verbietet diese (z. B. als Reinigungsmittel, Textil- und Lederhilfsstoff, Formulierungshilfsstoff für Pestizide).
- Mit BGBl. II Nr. 158/2005 wird das Inverkehrsetzen und die Verwendung von Nonylphenolen und von Nonylphenoethoxylaten als Stoff sowie als Bestandteil von Stoffen und Zubereitungen in einer jeweiligen Konzentration von 0,1 Masseprozent oder mehr für verschiedenste Verwendungsbereiche (Haushaltsreinigung, Textil- und Lederverarbeitung, Metallverarbeitung, Herstellung von Zellstoff und Papier und andere Verwendungsbereiche) verboten.
- Verbot von Nonylphenolen in Kosmetikprodukten (Kosmetika-VO).

Aufgrund dieser Verbote ist davon auszugehen, dass die Konzentrationen in Abwässern zurückgehen werden. In Abbildung 12 sind die Ergebnisse verschiedener Untersuchungen zum Vorkommen von Nonylphenolen in unbehandeltem und behandeltem Abwasser dargestellt (Mittelwerte und Maximalwerte). Dabei ist weder in den untersuchten Zuläufen noch in den Abläufen eine eindeutige Abnahme der gemessenen Konzentrationen erkennbar. Da die meisten der zuvor angeführten Verbote erst 2005/2006 oder später in Kraft getreten sind, ist davon auszugehen, dass die Wirkung der Anwendungsbeschränkungen und -verbote erst bei zukünftigen Untersuchungen ersichtlich werden wird.

Nonylphenole als relevant identifiziert

Gemäß den Auswahlkriterien nach Kapitel 3 werden Nonylphenole als relevant für Kläranlagenabläufe identifiziert.

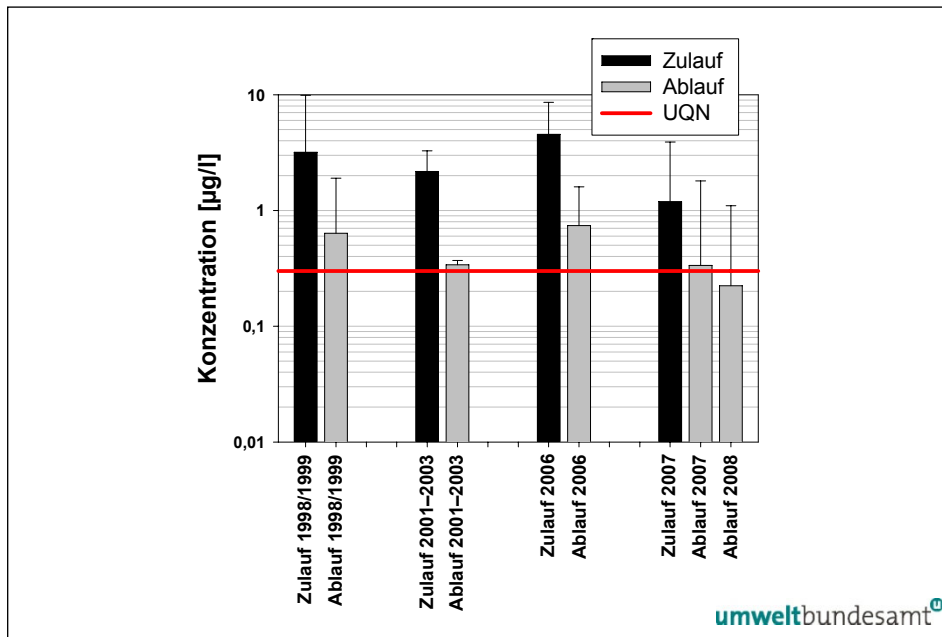


Abbildung 12: Messungen von Nonylphenolen in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen in Österreich während der letzten 10 Jahre (UMWELTBUNDESAMT 1998; UMWELTBUNDESAMT 1999; ARCEM 2003; CLARA et al. 2005; CLARA et al. 2007).

5.2.3.5 Tributylzinnverbindungen

Tributylzinnverbindungen sind toxische und bioakkumulierende Stoffe. Die wichtigste Anwendung ist der Einsatz als Antifoulingfarbe für Schiffskörper, der allerdings innerhalb der Europäischen Union seit 2008 verboten ist. Antifoulingfarben können grundsätzlich auch bei Kühlkreisläufen von Kraftwerken oder Industrieanlagen und bei Aquakulturanlagen eingesetzt werden. Neben der Verwendung als Antifouling werden Tributylzinnverbindungen zum Holzschutz, in der Leder- und Papierindustrie, in Silikon-Dichtmassen, in Textilausrüstung, in Dachbahnen, zur Desinfektion im Hygienebereich, als Topfkonservierung wasserbasierter Farben und Kleber, in antimikrobiellen Anwendungen und im nicht-bioziden Bereich eingesetzt. Außerdem kann Tributylzinn bei der Herstellung anderer zinnorganischer Verbindungen als Verunreinigung entstehen und durch deren Verwendung als Stabilisator, Katalysator etc. in geringen Konzentrationen in unterschiedliche Produkte gelangen (u. a. in Kunststoffe, Textilien usw.) (UMWELTBUNDESAMT 2002, UBA 2007a).

Die Auslaugung von Antifoulingfarben ist der mit Abstand wichtigste Emissionspfad in die Gewässer, jedoch erfolgen aus allen genannten Anwendungen Emissionen in das Wasser. Bei industriellen Direkt- oder Indirekteinleitern stammen die größten Emissionen aus der Metallindustrie.

Tributylzinnverbindungen wurden nicht in allen untersuchten Proben nachgewiesen. Die Zulaufkonzentrationen lagen bei 5 der untersuchten Anlagen unterhalb der Nachweisgrenze von 0,001 µg/l und bei weiteren 5 Kläranlagen unterhalb der Bestimmungsgrenze von 0,002 µg/l. Bei 5 Anlagen schwankten die Zulaufkonzentrationen zwischen 0,0023 und 0,0052 µg/l. Die Ergebnisse der Messungen sind in Abbildung 13 (logarithmische Skalierung) dargestellt.

Einsatzbereiche von Tributylzinn

Eintragspfade von Tributylzinn

Konzentration im Zulauf

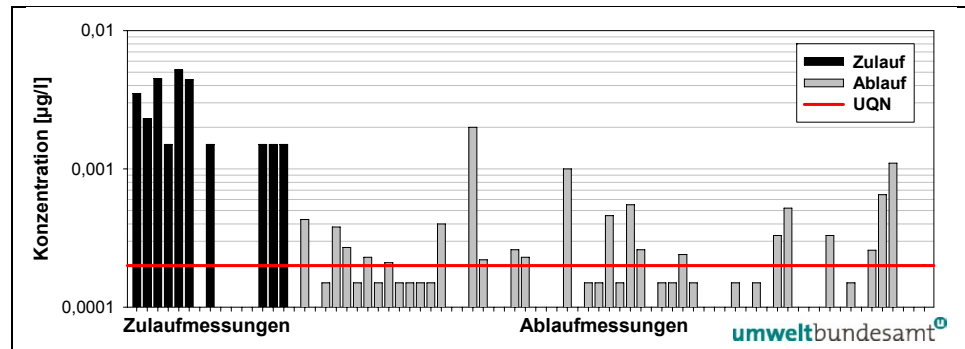


Abbildung 13: Tributylzinnverbindungen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

Konzentration im Ablauf

Im Vergleich zu den Zulaufkonzentrationen sind die Ablaufkonzentrationen deutlich niedriger. Dieser Rückhalt in der Kläranlage ist auf die Adsorption von Tributylzinn an den Belebtschlamm und die Entfernung über den Schlammabzug zurückzuführen. Die gemessenen Ablaufkonzentrationen schwanken zwischen nicht nachweisbar ($\text{NG} = 0,0001 \mu\text{g/l}$) und $0,002 \mu\text{g/l}$. In 23 von 60 Ablaufproben wurde Tributylzinn nicht nachgewiesen (siehe Tabelle 9). Von den 37 Positivnachweisen war die Tributylzinn-Konzentration in 21 Proben quantifizierbar. In 16 Ablaufproben wurde Tributylzinn zwar nachgewiesen, war aber nicht bestimmbar. Da die Bestimmungsgrenze mit $0,0002 \mu\text{g/l}$ gleich dem Umweltqualitätsziel ist, wird betont, dass rund 62 % der gemessenen Konzentrationen im Bereich des Gütezieles oder darüber lagen.

gesetzliche Einschränkungen

Da auch für Tributylzinnverbindungen chemikalienrechtlichen Verbote existieren (z. B. Tributylzinn Verbotsverordnung VO (EG) 782/2003/EG; Chemikalien-Verbotsverordnung; Wasserstraßen-Verkehrsverordnung; Biozidproduktegesetz und andere) ist auch für diesen Stoff davon auszugehen, dass die Konzentrationen im Abwasser rückläufig sind. Ein Bericht des Umweltbundesamt aus dem Jahr 2002 zu Organozinnverbindungen in der aquatischen Umwelt weist Tributylzinn-Konzentrationen in kommunalen Abwässern aus (UMWELTBUNDESAMT 2002). Die Gegenüberstellung dieser Werte mit den Ergebnissen der aktuellen Studie zeigt einen deutlichen Rückgang der Tributylzinn-Konzentrationen im Abwasser (siehe Abbildung 14).

Tributylzinnverb. als relevant identifiziert

Gemäß den Auswahlkriterien nach Kapitel 3 werden Tributylzinnverbindungen als relevant für Kläranlagenabläufe identifiziert.

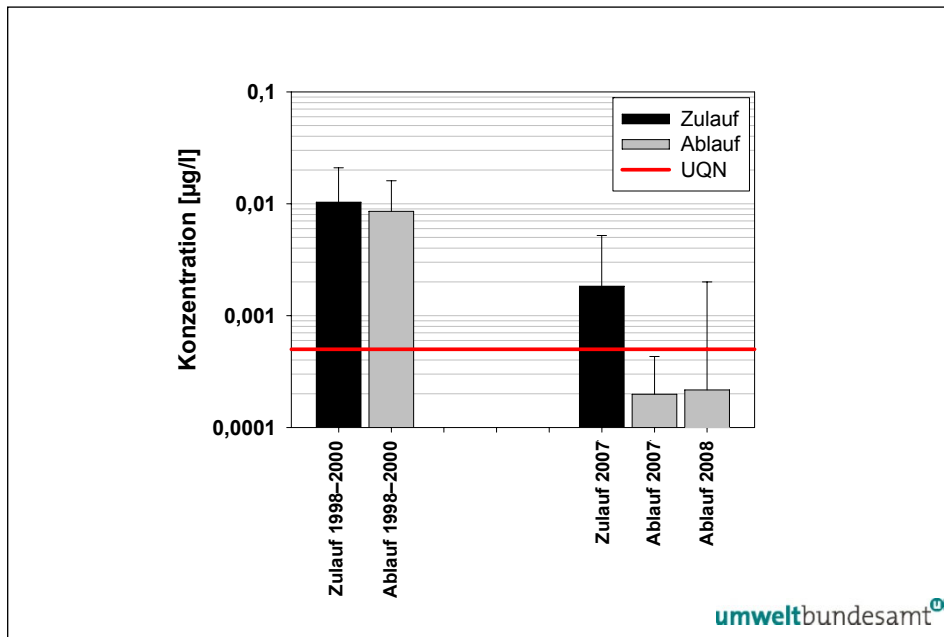


Abbildung 14: Untersuchungsergebnisse [$\mu\text{g/l}$] zu Tributylzinn in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen in Österreich (UMWELTBUNDESAMT 2002).

5.2.4 Zusammenfassung prioritäre Stoffe

4 relevante prioritäre Stoffe identifiziert

Basierend auf den in Kapitel 3 angeführten Auswahlkriterien und den dargestellten Ergebnissen werden vier der 33 prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe als relevant für gereinigtes Abwasser aus kommunalen Kläranlagen identifiziert. Die Erfassung prioritärer Stoffe durch Einzelmessung (Stoffe der Kategorie B gemäß Emissionsregisterverordnung – EmRegV-OW) entsprechend Anlage A, Tabelle 2, Spalte IV der EmRegV-OW kann somit auf diese vier Stoffe eingegrenzt werden:

- Cadmium
- Diuron
- Nonylphenole
- Tributylzinnverbindungen

PBDE

Zusätzlich zu diesen vier Substanzen erfüllen auch die polybromierten Diphenylether die Auswahlkriterien. Bei diesen liegen jedoch viele Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenzen und das Verhältnis zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze beträgt etwa 100. Die Bestimmungsgrenzen sind größer als das Relevanzkriterium Umweltqualitätsnorm. Sollte die analytische Bestimmungsmethode die Messung von Konzentrationen unter dem Umweltqualitätsziel erlauben, wird empfohlen, die Messungen für diese Stoffgruppe in ausgewählten Kläranlagenabläufen zu wiederholen. Damit sollte es möglich sein, die vorliegenden Ergebnisse zu spezifizieren und abzusichern. Bestätigen diese Untersuchungen das Ergebnis der vorliegenden Studie, wird auch diese Stoffgruppe zur Aufnahme in Anhang A, Tabelle 2, Spalte IV der EmRegV-OW und die verpflichtende Messung im Ablauf kommunaler Kläranlagen mit einem Bemessungswert von größer als 10.000 EW₆₀ empfohlen.

5.3 Sonstige gesetzlich geregelte Stoffe

Neben den 33 prioritären und prioritär gefährlichen Stoffen wurden weitere 43 Substanzen untersucht. Für 8 Stoffe bzw. Stoffgruppen (Aldrin, Dieldrin, Endrin, Isodrin, DDT, Tetrachlorethen, Tetrachlormethan und Trichlorethen) wurden mit RL 2008/105/EG gemeinschaftsrechtlich Umweltqualitätsziele festgelegt und für die restlichen Stoffe liegen nationale Güteziele (QZV Chemie OG) vor.

Analog zu den prioritären und prioritär gefährlichen Stoffen wurden im Zuge der Stoffauswahl (Modul 1) 15 Kläranlagenzu- und -ablaufproben untersucht. Bei Anwendung der in Kapitel 3 angeführten Ausscheidungskriterien verbleiben für weitere Untersuchungen die in Tabelle 12 hervorgehobenen Stoffe bzw. Stoffgruppen.

Tabelle 12: Liste der sonstigen untersuchten Stoffe bzw. Stoffgruppen in kommunalen Kläranlagen.

Aldrin ¹⁾	2,5-Dichlorphenol	Pentachlornitrobenzol
Ammonium	1,3-Dichlor-2-propanol	Phosalon
AOX	Dimethylamin	Sebuthylazin
Benzidin	Ethylendiamintetraessigsäure	Tetrachlorethen ¹⁾
Benzylchlorid	Endrin ¹⁾	Tetrachlormethan ¹⁾
Bisphenol-A	Ethylbenzol	Trichlorethen ¹⁾
Chlordan	Fluorid	Trichlorfon
Chloressigsäure	Heptachlor	Xylole
Cyanid leicht freisetzbar	Isodrin ¹⁾	Arsen
p,p'-DDT ¹⁾	Isopropylbenzol	Chrom
DDT ¹⁾	Lineare Alkylbenzolsulfonate	Kupfer
Dibutylzinnverbindungen	Mevinphos	Selen
Dieldrin ¹⁾	Nitrit	Silber
1,2-Dichlorethen	Nitrilotriessigsäure	Zink
2,4-Dichlorphenol	Omethoat	

¹⁾ gemeinschaftsrechtlich geregelt

Bei den Metallen (Arsen, Chrom, Kupfer, Selen, Silber und Zink) wurden die Gesamtgehalte gemessen und die Auswertungen mit diesen Gesamtgehalten durchgeführt, wohingegen sich die Umweltqualitätsnormen auf die gelöste (bei 0,45 µm filtrierte) Fraktion beziehen.

Von diesen 43 sonstigen geregelten Stoffen wurden 18 Stoffe (Aldrin, Benzidin, Chlordane, 1,2-Dichlorethen, 2,5-Dichlorphenol, 1,3-Dichlor-2-propanol, DDT, p,p'-DDT, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Isodrin, Mevinphos, Omethoat, Pentachlornitrobenzol, Tetrachlorethen, Tetrachlormethan und Trichlorethen) weder im Zu- noch im Ablauf nachgewiesen.

Weitere 6 Stoffe bzw. Stoffgruppen (Cyanid leicht freisetzbar, Dimethylamin, Ethylbenzol, Isopropylbenzol, LAS und Xylole) wurden zwar im Zulauf einzelner Kläranlagen, jedoch in keiner der untersuchten Ablaufproben nachgewiesen.

Sechs Stoffe bzw. Stoffgruppen (Benzylchlorid, Bisphenol-A, Dibutylzinnverbindungen, 2,4-Dichlorphenol, Phosalon und Arsen) wurden zwar in den untersuchten Ablaufproben nachgewiesen, die maximal gemessenen Ablaufkonzentrationen lagen jedoch unterhalb der halben Umweltqualitätsnorm (siehe Abbildung 15), weshalb diese Stoffe in Modul 2 nicht weiter berücksichtigt wurden.

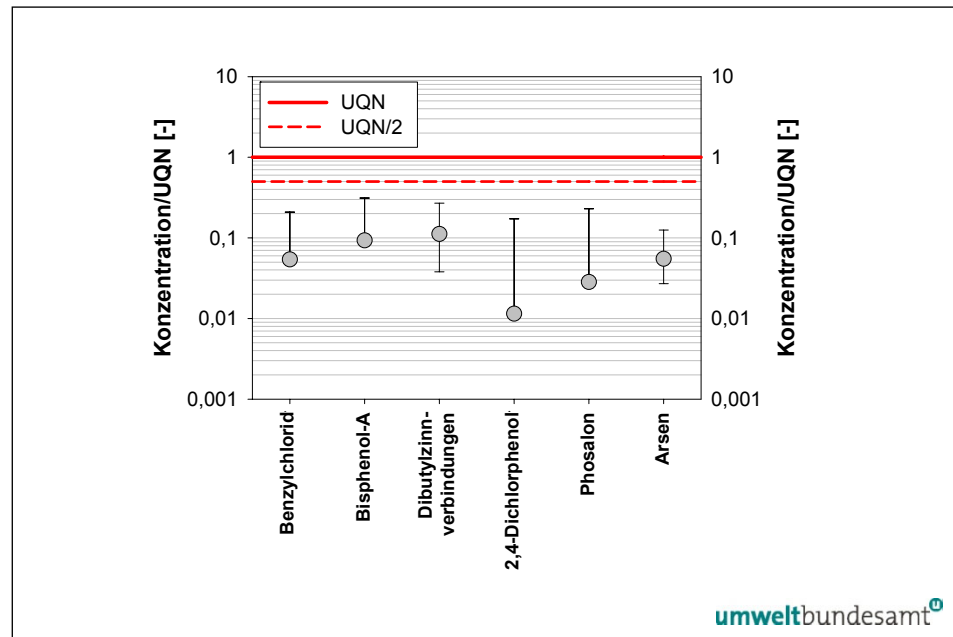


Abbildung 15: Mittelwerte [$\mu\text{g/l}$] und Schwankungsbereich der Ablaufmessungen in kommunaler Kläranlagen in Relation zur jeweiligen Umweltqualitätsnorm für Benzylchlorid, Bisphenol-A, Dibutylzinnverbindungen, 2,4-Dichlorphenol, Phosalon und Arsen.

Die Analyse der Einzeluntersuchungen bei den verbleibenden Stoffen/Stoffgruppen führte zum Ausschluss weiterer Stoffe:

- *Chloressigsäure* wurde nur in einer vorwiegend industriellen Kläranlage nachgewiesen, während der Stoff in den anderen 14 Ablaufproben nicht nachweisbar war.
- *Ammonium* wird im Zuge der Eigen- und Fremdüberwachung bei den meisten Kläranlagen gemessen und es ist davon auszugehen, dass ausreichend Daten für Ammonium vorliegen.
- *Nitrit* wird vereinzelt bei Kläranlagen gemessen und es liegen ausreichend Erfahrungswerte für Konzentrationen im Ablauf kommunaler Kläranlagen vor.
- *Fluorid* wurde in zwei Kläranlagen in Konzentrationen größer der halben Umweltqualitätsnorm ($\text{UQN} = 1.000 \mu\text{g/l}$) gemessen. Bei beiden Kläranlagen ist der Stoff angeschlossenen Indirekteinleitern zuordenbar und findet sich auch in den entsprechenden branchenspezifischen Abwasseremissionsverordnungen. Daher wird Fluorid als branchenspezifisch, jedoch nicht als generell relevant für gereinigtes kommunales Abwasser eingestuft.
- *Silber* war in allen untersuchten Kläranlagenabläufen nachweisbar, mit Ausnahme von zwei Proben lagen jedoch alle Messwerte unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze von $0,1 \mu\text{g/l}$. Gelöstes Silber war entweder nicht nachweisbar bzw. lagen die Messwerte unterhalb der Bestimmungsgrenze. Da sich das Vergleichskriterium ($0,1 \mu\text{g/l}$) auf die gelöste Fraktion bezieht und der gemessene Maximalwert der Gesamtkonzentration ($0,22 \mu\text{g/l}$) unplausibel erscheint, wird Silber in Modul 2 nicht berücksichtigt.

Somit wurden in Modul 2 die folgenden nicht prioritären Stoffe bzw. Stoffgruppen berücksichtigt (siehe Tabelle 13).

Tabelle 13: In Modul 2 untersuchte sonstige Stoffe bzw. Stoffgruppen in kommunalen Kläranlagen.

AOX	Kupfer	Ethylendiamintetraessigsäure EDTA	Trichlorfon
Selen	Zink	Nitrilotriessigsäure NTA	Sebuthylazin

5.3.1 Ergebnisse – sonstige geregelte Pflanzenschutzmittel

Analog zu den prioritären und prioritär gefährlichen Pflanzenschutzmitteln wurden die sonstigen Pflanzenschutzmittel in den 15 Projektkläranlagen in Modul 1 einmal und in den 9 Kläranlagen in Modul 2 zweimal untersucht. In einer Kläranlage konnten einzelne Stoffe nur einmal analysiert werden, da nicht genügend Probenvolumen zur Verfügung stand.

Sebuthylazin und Trichlorfon wurden bei allen Ablaufbeprobungen untersucht und werden daher im Folgenden diskutiert. Die Ergebnisse der Untersuchungen zu den sonstigen Pflanzenschutzmitteln sind in Tabelle 14 zusammengefasst.

Tabelle 14: Zusammenfassung der Ergebnisse für die untersuchten sonstigen Pflanzenschutzmittel in kommunalen Kläranlagen.

Parameter	n	nicht nachweisbar		n > BG	n > UQN/2
		n	[%]		
Aldrin	32	32	100	–	–
Chlordane	32	32	100	–	–
p,p-DDT	32	32	100	–	–
DDT	32	32	100	–	–
Dieldrin	32	32	100	–	–
Endrin	32	32	100	–	–
Heptachlor	32	32	100	–	–
Isodrin	32	32	100	–	–
Mevinphos	33	32	97	1	1
Omethoat	33	33	100	–	–
Pentachlornitrobenzol	32	32	100	–	–
Phosalon	33	30	91	3	0

Mit Ausnahme von Mevinphos und Phosalon war keiner der untersuchten sonstigen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe in den Ablaufproben nachweisbar. Mevinphos wurde in einer einzigen Ablaufprobe mit einer Konzentration von 0,2 µg/l nachgewiesen. Dieser Messwert stammt aus der Beprobungskampagne im Juli 2008 und liegt im Vergleich zur Umweltqualitätsnorm (UQN = 0,01 µg/l) sehr hoch. Phosalon wurde in drei Kläranlagenabläufen in Modul 1 nachgewiesen, alle Nachweise lagen jedoch deutlich unterhalb der Umweltqualitätsnorm von 0,1 µg/l. Weder Mevinphos noch Phosalon sind derzeit laut Österreichischem Pflanzenschutzmittelregister (AGES² 12.05.2009) zugelassen.

Konzentration im Ablauf

² Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit: PSM-Register. Verzeichnis der in Österreich zugelassenen Pflanzenschutzmittel.

Keiner der untersuchten sonstigen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe erfüllt somit die Auswahlkriterien gemäß Kapitel 3, womit keiner dieser Stoffe als relevant für Abläufe kommunaler Kläranlagen einzustufen ist.

5.3.2 Ergebnisse – sonstige Stoffe (ausgenommen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe)

Die in Tabelle 13 angeführten Stoffe wurden in Modul 2 im Zweimonatsrhythmus in den neun Projektkläranlagen untersucht. Zusätzlich zu diesen Proben wurden die Ergebnisse aus Modul 1 für die Auswertungen berücksichtigt. Für Sebuthylazin liegen nur 27 Messwerte vor. Die Ergebnisse sind in Tabelle 15 zusammengefasst.

Tabelle 15: Zusammenfassung der Ergebnisse der untersuchten sonstigen Stoffe und Stoffgruppen (außer Pflanzenschutzmittel) in kommunalen Kläranlagen.

	n	nicht nachweisbar n	nachweisbar [%]	n > BG	n > UQN/2
AOX	60	–	0	60	53
EDTA	60	–	0	60	38
NTA	60	–	0	60	20
Sebuthylazin	27	27	100	–	–
Trichlorfon	60	52	87	–	8
Kupfer	60	–	0	60	29–60 ¹⁾
Selen	60	6	10	7	18
Zink	60	–	0	60	41–59 ¹⁾

¹⁾ Die Umweltqualitätsnormen für Kupfer und Zink sind härteabhängig. Die angeführte Anzahl an Messwerten größer UQN/2 ergibt sich durch Anwendung der höchsten bzw. der niedrigsten UQN.

Mit Ausnahme von Sebuthylazin und Trichlorfon wurden alle der untersuchten Stoffe bzw. Stoffgruppen in nahezu allen analysierten Ablaufproben nachgewiesen.

Sebuthylazin wurde in keiner der untersuchten Ablaufproben gefunden. Auch Trichlorfon wurde nur vereinzelt nachgewiesen (in 8 von 60 Proben). Alle Positivnachweise wurden im Zuge der Untersuchungen zu Modul 1 erhoben und alle lagen unterhalb der analytischen Nachweisgrenze von 0,3 µg/l. Im Zuge von Modul 2 war Trichlorfon in keiner Ablaufprobe nachweisbar.

Trichlorfon

Trichlorfon ist ein Insektizid (Organophosphorverbindung) mit Berührungs- und Fraßgiftwirkung, das in der Landwirtschaft, auf privaten Rasenflächen und auf Golfplätzen, in der Veterinärmedizin, in Aquakulturen sowie im Haushalt gegen Fliegen und Ameisen zum Einsatz kam (z. B. Compo Ameisenköder oder Dictonal neu) (UMWELTBUNDESAMT 2001). In Österreich ist Trichlorfon nicht mehr zugelassen, da es aufgrund der Entscheidung der Kommission 2007/356/EG nicht in den Anhang der RL 91/414/EWG aufgenommen wurde. Diese Entscheidung verfügt, dass die bestehenden Zulassungen für Trichlorfon

[http://www15.ages.at:7778/pls/psmlfrz/pmgweb2\\$.Startup?z_user=www](http://www15.ages.at:7778/pls/psmlfrz/pmgweb2$.Startup?z_user=www). Abfrage nach Wirkstoffen Chlorpyrifos, Isoproturon, Phosalon und Mevinphos, 12.05.2009.

bis 21. November 2007 zu widerrufen und Zulassungen für Trichlorfon enthaltende Pflanzenschutzmittel im Rahmen von Ausnahmeregelungen seit 5. Mai 2007 weder zu erteilen noch zu verlängern sind.

Bei Trichlorfon ist zu beachten, dass sowohl Bestimmungs- als auch Nachweisgrenze mit 0,3 µg/l bzw. 0,15 µg/l deutlich oberhalb der Umweltqualitätsnorm von 0,01 µg/l liegen. Bei Anwendung der Berechnungskonvention, dass Messwerte kleiner BG mit dem Mittelwert aus BG und NG berücksichtigt werden und angesichts des sehr hohen Verhältnisses zwischen analytischer Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze und Umweltqualitätsnorm, wird für Trichlorfon das Auswahlkriterium gemäß Kapitel 3 eingehalten.

Aufgrund des zuvor erwähnten Verbotes von Trichlorfon und mangels geeigneter Analysenvorschriften wird Trichlorfon nicht für weitere Messungen vorgeschlagen.

Die Ergebnisse der Messungen der sonstigen geregelten Stoffe sind in Abbildung 16 zusammengefasst. Die Abbildung zeigt zum einen die gemessenen Konzentrationen (Mittel- und Maximalwerte) in µg/l und zum anderen die Relation dieser Werte zum jeweiligen Umweltqualitätsziel. Bei Kupfer und Zink sind wiederum oberer und unterer Bereich in Abhängigkeit vom härteabhängigen Umweltqualitätsziel angegeben.

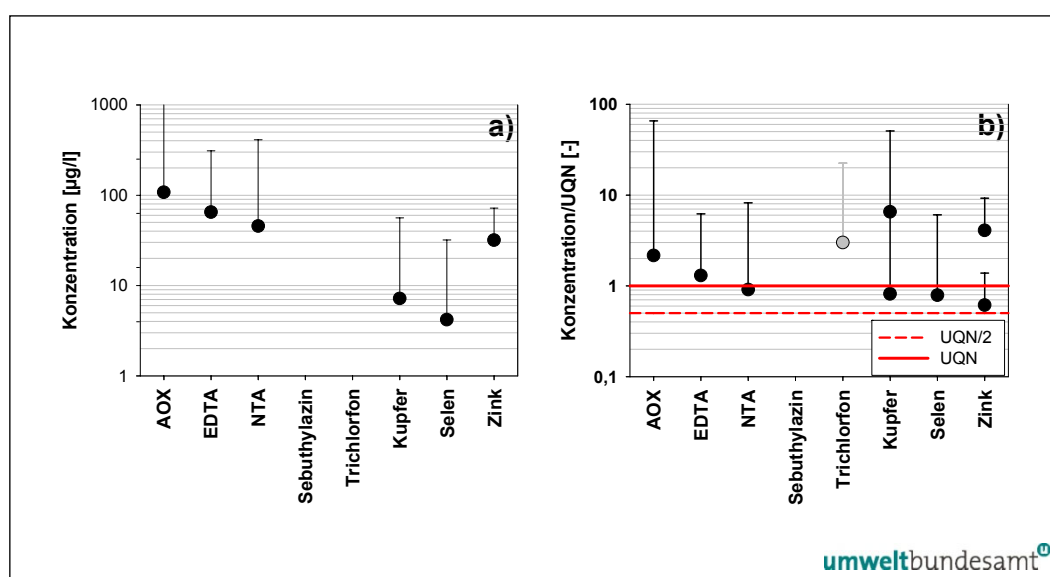


Abbildung 16: Ergebnisse der Messungen der untersuchten sonstigen Stoffe bzw. Stoffgruppen im Ablauf kommunaler Kläranlagen (ausgenommen Pflanzenschutzmittelwirkstoffe):

- Darstellung der mittleren und maximalen Konzentrationen [µg/l]
- Darstellung der mittleren bzw. maximalen Konzentrationen in Relation zur jeweiligen Umweltqualitätsnorm [-].

Für AOX, EDTA, NTA, Kupfer, Selen und Zink liegen die Mittelwerte aller Messungen zum Teil deutlich oberhalb der halben Umweltqualitätsnorm. Bei Berücksichtigung aller Messwerte und bei Anwendung des Auswahlkriteriums nach Kapitel 3 sind diese Stoffe somit als relevant einzustufen.

als relevante Stoffe identifiziert

Zusätzlich zu dieser Auswertung wurden nur die Daten aus Modul 2 für die neun Projektkläranlagen bewertet. Es wurden Mittelwerte der 5 Einzelmessungen mit den Umweltqualitätszielen verglichen. Gemäß den Auswahlkriterien nach Kapitel 3 werden Stoffe bzw. Stoffgruppen als relevant eingestuft, wenn der Mittelwert eines Stoffes bei einer der neun Projektkläranlagen oberhalb des jeweiligen Güteziels liegt. Die Auswertung für AOX, EDTA, NTA, Trichlorfon, Selen, Kupfer und Zink ist in Abbildung 17 dargestellt. Für Kupfer und Zink schwanken die Ergebnisse in Abhängigkeit von der angewandten Umweltqualitätsnorm in unterschiedlichen Bereichen, was in Abbildung 17 durch unterschiedliche Grautöne dargestellt ist.

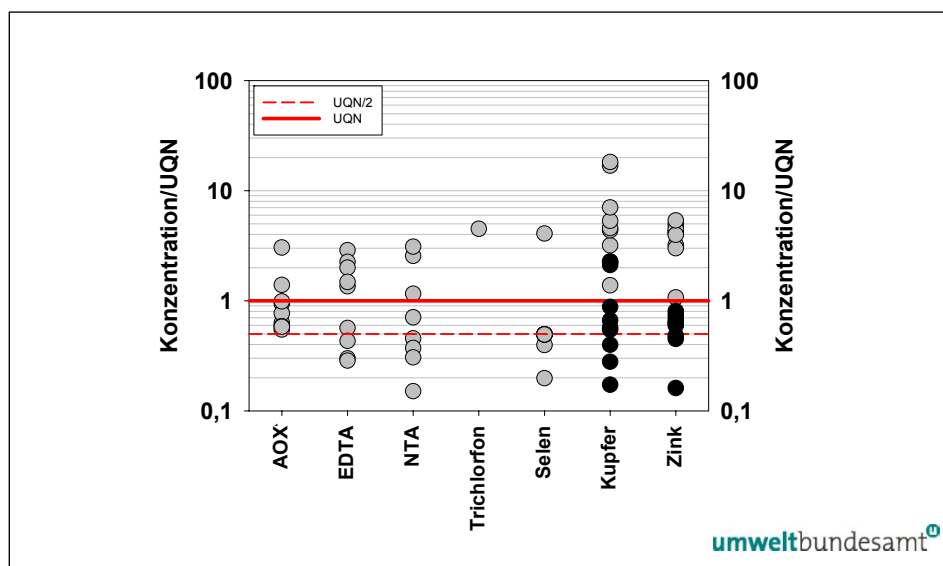


Abbildung 17: Darstellung der Mittelwerte relativ zur Umweltqualitätsnorm für AOX, EDTA, NTA, Trichlorfon und Selen im Ablauf kommunaler Kläranlagen; bei Kupfer und Zink: ● bezogen auf die härteabhängige höchste UQN; ● bezogen auf die härteabhängige geringste UQN.

Für alle untersuchten sonstigen Stoffe liegt zumindest der Mittelwert einer Kläranlage über dem Auswahlkriterium. Bei Zink liegen alle Messungen unterhalb der höchsten härteabhängigen UQN, jedoch auch deutlich oberhalb der geringsten UQN. Basierend auf dieser Auswertung sind somit AOX, EDTA, NTA, Kupfer, Selen und Zink als relevant einzustufen. Die Ergebnisse der zwei Auswertungen zeigen eine gute Übereinstimmung und führen zum gleichen Ergebnis.

5.3.2.1 AOX

Der AOX (Adsorbierbare Organisch gebundene Halogene) ist ein Summenparameter, der die Summe der an Aktivkohle adsorbierbaren organischen Halogene bestimmt. Die AOX-Bestimmung erfolgt über eine Norm Methode (DIN EN ISO 9562) und definitionsgemäß wird der Messwert, der mittels dieser Normmethode bestimmt wird, als AOX der Probe bezeichnet. Dabei wird in Kauf genommen, dass zum einen nicht alle organischen Halogenverbindungen erfasst werden (leichtflüchtigen Substanzen wie z. B. Fluorverbindungen) und dass zum anderen Stoffe in den Messwert eingehen, die chemisch gesehen nicht zu den AOX gehören (z. B. die ungelösten organischen und anorganischen Halogenverbindungen oder elementares Jod) (KOPPE & STOZEK 1999).

Halogenorganische Verbindungen können sowohl aus natürlichen als auch aus anthropogenen Quellen stammen. Untersuchungen über die Herkunft der AOX in den kommunalen Abwässern des Ruhreinzugsgebietes ergaben, dass im Jahresmittel je ein Drittel aus häuslichen und gewerblichen Schmutzwässern, ca. 30 % aus verschmutztem, abfließendem Niederschlag und ca. 4 % aus Fremdwasser stammen. Eine wichtige Quelle für AOX stellen Krankenhäuser dar (KOPPE & STOZEK 1999).

Eintragspfade von AOX

Die Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer sieht für AOX einen Immissionsgrenzwert von 50 µg/l vor. Die Aussagekraft des AOX ist fraglich, da dieser Parameter sowohl unschädliche als auch hochtoxische Verbindungen gleichermaßen erfasst. Somit ist der AOX-Wert ein Summenparameter, der zwar eingeschränkt Aussagen zum Gehalt einer Probe an halogenorganischen Verbindungen zulässt, aber keine ökotoxikologischen Aussagen ermöglicht, da diese von den Halogenverbindungen abhängig sind, die den AOX ausmachen.

Bei den Untersuchungen zur aktuellen Studie wurden AOX in allen untersuchten Proben oberhalb der Bestimmungsgrenze von 2 µg/l nachgewiesen. Die gemessenen AOX-Konzentrationen in den Zu- und Abläufen der untersuchten Kläranlagen schwanken beträchtlich. In den untersuchten Zulaufproben (n = 15) schwanken die Konzentrationen zwischen 36 und 5.145 µg/l und liegen im Mittel bei rund 418 µg/l. Dabei ist jedoch anzumerken, dass der Maximalwert deutlich über allen anderen gemessenen Zulaufkonzentrationen liegt, aus einer vorwiegend industriellen Kläranlage stammt und produktionsspezifisch ist. Wird diese Kläranlage aus den Auswertungen ausgenommen, so schwanken die Zulaufkonzentrationen zwischen 36 und 269 µg/l (Mittelwert 80 µg/l).

Konzentration im Zulauf

In den Ablaufproben (n = 60) schwanken die Konzentrationen zwischen 2,0 und 3.286 µg/l, wobei auch hier der Maximalwert aus der zuvor genannten, vorwiegend industriellen Kläranlage stammt. Wird diese wiederum aus den Auswertungen ausgeklammert, so schwanken die Ablaufkonzentrationen zwischen 2 und 204 µg/l und liegen im Mittel bei 54 µg/l. Diese Werte sind mit Literaturwerten vergleichbar (KOPPE & STOZEK 1999).

Konzentration im Ablauf

Die gemessenen Konzentrationen sind in Abbildung 18 dargestellt. Da aufgrund des unspezifischen Charakters des Parameters AOX keine weiteren Aussagen möglich sind, wird auf diesen Summenparameter nicht weiter eingegangen.

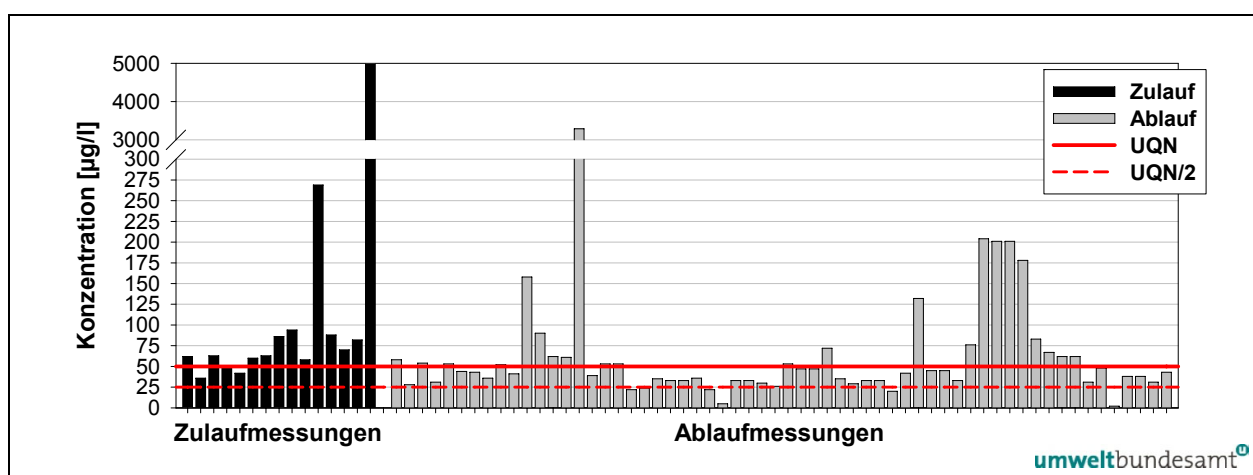


Abbildung 18: AOX [µg/l] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen.

5.3.2.2 Ethylendiamintetraacetat (EDTA)

Einsatzgebiete von EDTA

Ethylendiamintetraacetat ist ein Komplexbildner und zählt zu den weltweit meistproduzierten Chemikalien (HPV „high production volume chemical“). EDTA ist in vielen Detergenzien zur Enthärtung enthalten, in der Photoindustrie ein wichtiger Bestandteil in der Farbentwicklung (Oxidationsmittel), wird in der Papierindustrie zur Komplexbildung von Eisen- und Manganionen, die bei der chlorfreien Bleiche das Wasserstoffperoxid deaktivieren, eingesetzt, wird Düngemitteln zugesetzt und als Konservierungsmittel (z. B. Kosmetika) eingesetzt (ECB 2004).

Eintragungspfade von EDTA

Die Chemikalie gelangt hauptsächlich über das Abwasser in die Gewässer. EDTA und seine Metallkomplexe sind in der Abwasserreinigung nicht oder nur eingeschränkt abbaubar. Es wird in Kläranlagen bei hoher hydraulischer Aufenthaltszeit und hohem Schlammalter, bei hohen pH-Werten, hohen EDTA-Konzentrationen und bei Fehlen von EDTA-Metallkomplexen abgebaut (ECB 2004). Dies sind jedoch Bedingungen, die in den meisten kommunalen Kläranlagen nicht gegeben sind. Bei kommunalen Kläranlagen lagen die beobachteten Ablaufkonzentrationen zumeist im Bereich der jeweiligen Zulaufkonzentrationen und Entfernungsraten kleiner 10 % werden berichtet (ALDER et al. 1990, ECB 2004). Dies wird durch die aktuellen Untersuchungen bestätigt. Die gemessenen Zulaufkonzentrationen finden sich im Ablauf wieder (siehe Abbildung 19).

Konzentration im Zulauf

EDTA wurde in allen analysierten Proben nachgewiesen. Die Zulaufkonzentrationen (n = 15) lagen im Mittel bei rund 73 µg/l und schwankten im Bereich von 5,7 bis 330 µg/l. Die Ablaufkonzentrationen (n = 60) lagen im Mittel bei rund 65 µg/l und schwankten zwischen 6,5 und 310 µg/l. Es ist eine gute Übereinstimmung mit Literaturwerten festzustellen.

Die gemessenen Konzentrationen sind in Abbildung 19 dargestellt, Tabelle 16 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der aktuellen Studie mit Literaturwerten.

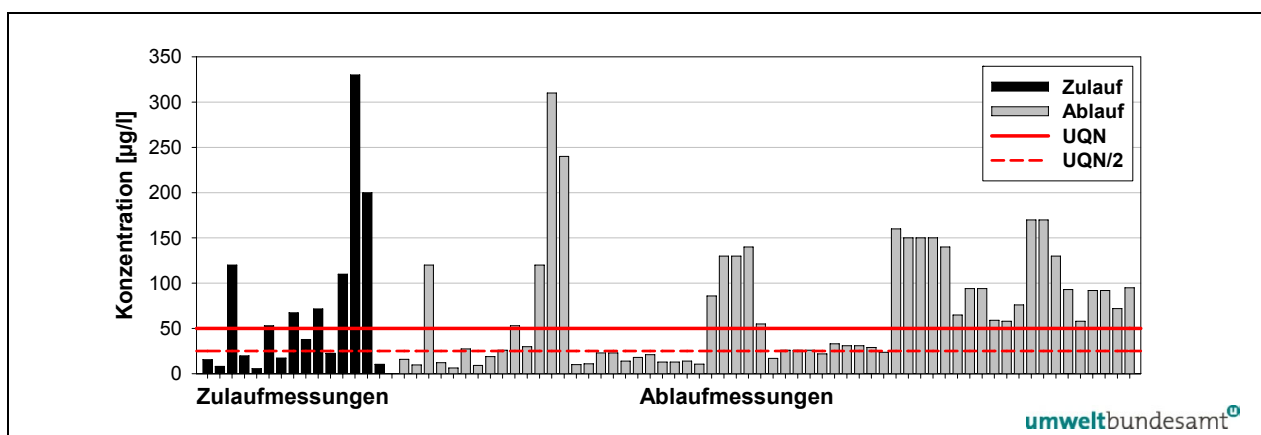


Abbildung 19: EDTA-Konzentrationen [µg/l] in Zu- und Ablaufproben kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

Tabelle 16: EDTA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten. Die Werte in Klammern sind Mittelwerte.

	n	Zulauf [$\mu\text{g/l}$]	Ablauf [$\mu\text{g/l}$]
Messprogramm			
Zulauf	15	5,7–330,00 (73)	
Ablauf	60		6,5–310 (65)
KARI & GIGER (1996)	–	9–197	14–160
ALDER et al. (1990)	–	30–150	–
ECB (2004)	–	130–230	135–230

5.3.2.3 Nitritotriessigsäure (NTA)

Wie EDTA ist auch Nitritotriessigsäure ein Komplexbildner. Sie wird zum größten Teil für Wasch- und Reinigungsmittel bzw. Wasserenthärter verwendet. Des Weiteren wird NTA in verschiedenen Industriezweigen eingesetzt, wobei Papier-, Textil- und Galvanoindustrie hervorzuheben sind. Nach Anwendung gelangt NTA in das Abwasser. Abwässer sind auch die Haupteintragspfade von NTA in die Gewässer. NTA wird bei der biologischen Abwasserreinigung weitgehend entfernt.

NTA wurde in allen analysierten Proben nachgewiesen. Die Zulaufkonzentrationen ($n = 15$) lagen im Mittel bei rund $436 \mu\text{g/l}$ und schwankten im Bereich von 71 bis $830 \mu\text{g/l}$. Die Ablaufkonzentrationen ($n = 60$) lagen im Mittel bei rund $46 \mu\text{g/l}$ und schwankten zwischen $1,9$ und $410 \mu\text{g/l}$. Die gemessenen Konzentrationen sind in Abbildung 20 dargestellt.

ALDER et al. (1990) geben Zulaufkonzentrationen von 300 – $1.500 \mu\text{g/l}$ und Ablaufkonzentrationen zwischen 5 und $50 \mu\text{g/l}$ an. Sowohl Zulauf- als auch Ablaufkonzentrationen bei der aktuellen Studie liegen unterhalb dieser Werte. Bei beiden Untersuchungen ist aber ein deutlicher Abbau in der Kläranlage feststellbar.

Einsatzgebiete und Quellen von EDTA

Konzentration im Zu- und Ablauf

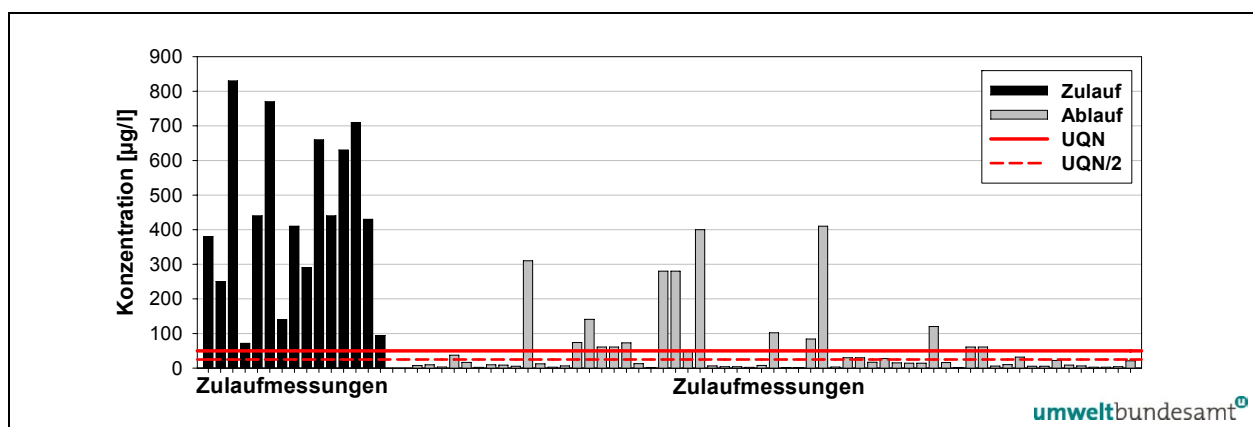


Abbildung 20: NTA-Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Ablaufproben kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

5.3.2.4 Kupfer

Kupfer ist ein lebensnotwendiges Spurenelement. Die durchschnittliche tägliche Aufnahme und damit Ausscheidung beträgt 2,5 mg/EW/d (KOPPE & STOZEK 1999). Das Metall findet sich in der Natur manchmal als gediegenes Element, hauptsächlich in basaltischen Laven, ist jedoch eher selten. Kupfererze kommen häufig vor. So wird Kupfer aus Chalkopyrit (Kupferkies, CuFeS_2), Chalkosin (Kupferglanz, Cu_2S), seltener auch aus Bornit (Cu_5FeS_4), Atacamit [$\text{CuCl}_2 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$], Malachit und anderen Erzen gewonnen. Die weltweit größten Vorkommen gibt es in Chile, den USA, Russland, Sambia, Kanada und Peru (Wikipedia³, 14.05.2009).

Einsatzgebiete von Cu

Kupfer wird für Münzen, Stromkabel, Schmuck, Besteck, Armaturen, Kessel, Präzisionsteile, Kunstgegenstände, Musikinstrumente, Rohrleitungen und vieles mehr verwendet. Auch Dächer werden mit Kupferblech gedeckt, worauf sich eine beständige grünliche Patina aus verschiedenen basischen Kupferhydroxiden/-carbonaten bildet. Diese Patina schützt das darunterliegende Metall gut vor weiterer Korrosion, so dass Kupferdächer eine Lebensdauer von mehreren Jahrhunderten haben können. Kupfer ist auch Bestandteil vieler Legierungen wie z. B. Messing (mit Zink), Bronze (mit Zinn) und Neusilber (mit Zink und Nickel). Diese Kupferlegierungen werden wegen ihrer positiven Eigenschaften wie Farbe, Korrosionsbeständigkeit und Verarbeitbarkeit gerne vielfältig eingesetzt (Wikipedia³, 14.05.2009).

Eintragspfade von Cu

Die Herkunft von Kupfer im Abwasser ist vielfältig. Zumeist überwiegt der Eintrag aus Oberflächenabschwemmungen und Haushalten gegenüber jener aus der Industrie (BOLLER 1997, ZEISSNER 1999). Einträge, welche über Oberflächenabschwemmungen in die Kanalisation gelangen, entstammen zu einem wesentlichen Teil dem Abrieb von Bremsbelägen sowie Dachblechen. Im Haushalt sind Kupferrohre in der Trinkwasserversorgung (vor allem bei weichem Wasser), Hausstaub und Fäkalien wesentliche Quellen von Kupfer-Emissionen (LAMPERT et al. 1997). In Gegenden mit Weinbau können auch Reste von Spritzmitteln wesentliche Kupfereinträge in die Kanalisation bewirken (KROISS et al. 1997).

Die angegebenen Kupferkonzentrationen sind Gesamtgehalte, wohingegen die Umweltqualitätsnorm für Kupfer (härteabhängig) auf die gelöste (0,45 µm filtrierte) Fraktion bezogen ist.

Konzentration im Zu- und Ablauf

Bei der aktuellen Studie wurde Kupfer in allen untersuchten Abwasserproben nachgewiesen und alle Nachweise liegen über der analytischen Bestimmungsgrenze. Die gemessenen Kupferkonzentrationen in den Zu- und Abläufen der untersuchten Kläranlagen schwanken beträchtlich. In den untersuchten Zulaufproben (n = 15) liegen die Konzentrationen zwischen 6,2 und 78 µg/l und im Mittel bei rund 32 µg/l. In den Ablaufproben (n = 60) schwanken die Konzentrationen zwischen 1,3 und 56 µg/l und liegen im Mittel bei rund 7,2 µg/l. Damit befinden sich die gemessenen Zulaufkonzentrationen im Bereich der Literaturangaben und die Ablaufkonzentrationen im untersten Bereich der zum Vergleich herangezogenen Werte aus der Literatur.

Die gemessenen Konzentrationen sind in Abbildung 21 dargestellt, Tabelle 17 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der aktuellen Studie mit Literaturangaben.

³ <http://de.wikipedia.org/wiki/Kupfer>.

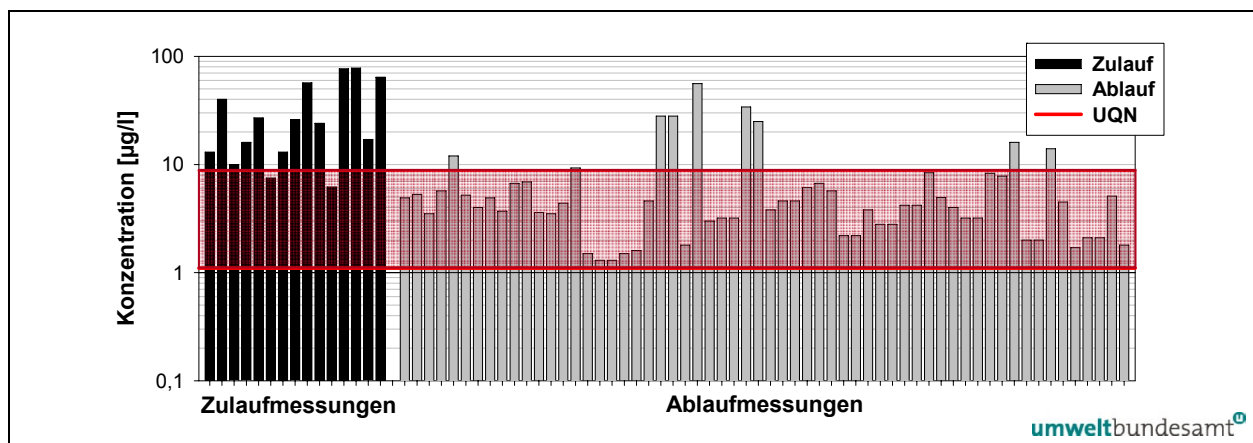


Abbildung 21: Kupfer [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

Tabelle 17: Kupferkonzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten. (Die Werte in Klammern sind Mittelwerte).

	n	Zulauf [$\mu\text{g/l}$]	Ablauf [$\mu\text{g/l}$] ¹⁾		
			filtriert	gesamt	filtriert [%]
Messprogramm					
Zulauf	15	6,2–78 (32)			
Ablauf	60		0,99–52 (6,9)	1,3–56 (7,2)	39–100 (79)
ARA vor Ausbau IWAG (2008)	1	92 ²⁾	(17)	(24)	(72)
ARA nach Ausbau IWAG (2008)	1	90 ²⁾	(8)	(9)	(84)
ZESSNER (1999)	14	50–150	–	8,0–50	–
NOVANA (2004)	36	8,2–78	–	1,1–68	–

¹⁾ Die filtrierten Ablaufproben aus den 15 Proben aus Modul 1 und aus 18 Ablaufproben (4. + 5. Beprobung Modul 2) wurden auf Schwermetalle untersucht ($n = 33$)

²⁾ aus Bilanzierung über Fracht im Ablauf und im Klärschlamm errechnet

Die einwohnerwertspezifischen Zulauffrachten liegen bei den in Modul 1 untersuchten Kläranlagen im Mittel bei 9 mg/EW/d. Dies ist etwas geringer als die „typischen“ Werte bei ZESSNER (1999) von ca. 14 mg/EW/d, welche über Klärschlammkonzentrationen ermittelt wurden. Über umfassende Untersuchungen an einer Kläranlage vor und nach deren Anpassung an den Stand der Technik konnte eine mittlere Zulauffracht von 27 mg/EW/d erhoben werden (IWAG 2008). Auch dieser Wert liegt deutlich oberhalb der im Rahmen der aktuellen Studie erhobenen spezifischen Zulauffracht.

EW-spezifische Zulauffrachten

5.3.2.5 Selen

Selen ist ein seltenes Element, sein Durchschnittsgehalt in der Erdkruste beträgt nur 0,09 mg/kg (KOPPE & STOZEK 1999). In kleinen Mengen kommt gediegenes Selen natürlich vor. Selenminerale wie Clausthalit und Naumannit sind

ebenfalls selten. Selen ist meist Begleiter schwefelhaltiger Erze der Metalle Kupfer, Blei, Zink, Gold und Eisen. Beim Abrösten dieser Erze sammelt sich das feste Selendioxyd in der Flugasche oder in der nachgeschalteten Schwefelsäureherstellung als selenige Säure (Wikipedia⁴, 14.05.2009).

Einsatzgebiete von Se

Selen ist als essenzielles Element für Mensch und Tier lebensnotwendig. Die tägliche Selenaufnahme beträgt beim Menschen etwa 60 µg/EW/d (KOPPE & STOZEK 1999). Selenverbindungen werden als Nahrungsmittelergänzung angeboten und zu Futter- und Düngemittelzusätzen verarbeitet (Wikipedia⁴, 14.05.2009). Die untere Toxizitätsschwelle in der Nahrung beginnt ab 3.000 µg/kg. In Nahrungsmitteln liegt der mittlere Selengehalt bei 250 µg/kg (KOPPE & STOZEK 1999). In der Glasindustrie wird Selen zum Entfärben grüner Gläser sowie zur Herstellung rotgefärbter Gläser verwendet. Weitere Anwendungen sind unter anderem in Belichtungsstrommeln für Fotokopierer und Laser-Drucker, in der Halbleiterherstellung, als Latexzusatz zur Erhöhung der Abrasionsbeständigkeit, als Toner für Schwarz-Weiß-Fotografien, als Legierungszusatz zur Verbesserung der mechanischen Bearbeitbarkeit für Automatenstähle und Kupfer-Legierungen, als Einsatz im Selen-Gleichrichter und der Selen-Zelle (heute allerdings weitgehend durch Silizium (Halbleiter) abgelöst), in Anti-Schuppen-Haarshampoos sowie unterstützend in der HIV-Therapie (Wikipedia⁴, 14.05.2009).

Eintragspfade von Se

Der Eintrag von Selen in das Abwasser aus dem Haushalt ist zumeist gering (KOPPE & STOZEK 1999). Industrielle Einträge können aus der industriellen Fertigung selenhaltiger Produkte kommen. In fossilen Brennstoffen ist Selen ebenfalls enthalten (20 mg/kg Steinkohle und 1 mg/l Heizöl) (KOPPE & STOZEK 1999). Damit stellen Kokereien und Raffinerien mögliche Quellen von Selen im Abwasser dar.

Die angegebenen Selenkonzentrationen sind Gesamtgehalte, wohingegen die Umweltqualitätsnorm für Selen (härteabhängig) auf die gelöste (0,45 µm filtrierte) Fraktion bezogen ist.

Bei den Messungen im Zuge der aktuellen Studie wurde Selen zwar in den meisten Proben gefunden, die analytischen Nachweise lagen jedoch meistens unterhalb der Bestimmungsgrenze von 5 µg/l. Lediglich zwei Kläranlagen aus Modul 1 wiesen in Zu- und Ablaufproben Werte über der Bestimmungsgrenze auf. Die Konzentrationen in den Zuläufen dieser zwei Kläranlagen lagen bei 13 bzw. 17 µg/l und in den Abläufen bei 11 bzw. 8 µg/l. Im Modul 2 wurden lediglich bei einer Kläranlage Ablaufwerte oberhalb der Bestimmungsgrenze von 5 µg/l gemessen. Die Ablaufkonzentrationen in dieser Kläranlage schwanken zwischen 16 und 32 µg/l. Die Messwerte sind auf eine maßgebliche Indirekteinleiterbranche im Einzugsgebiet zurückzuführen.

Die gemessenen Konzentrationen sind in Abbildung 22 dargestellt, Tabelle 18 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der aktuellen Studie mit Literaturangaben.

⁴ <http://de.wikipedia.org/wiki/Selen>

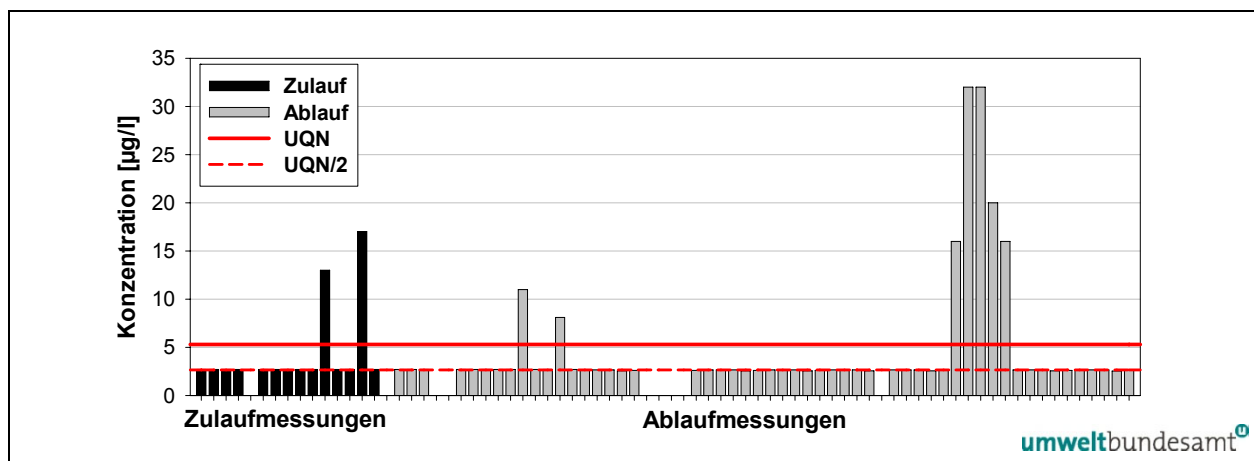


Abbildung 22: Selen [µg/l] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

Tabelle 18: Selenkonzentrationen in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten. (Werte in Klammern sind Mittelwerte).

	n	Zulauf [µg/l]	Ablauf [µg/l] ¹⁾	
			filtriert	gesamt
Messprogramm				
Zulauf	15			
Ablauf	60	< n.n.–17	n.n.–20 (3,4)	n.n.–32 (3,7)
NOVANA (2004)	36	< 1,35		< 0,96

¹⁾ die filtrierten Ablaufproben aus den 15 Proben aus Modul 1 und aus 18 Ablaufproben (4. + 5. Beprobung Modul 2) wurden auf Schwermetalle untersucht (n = 33)

²⁾ falls bestimmbar; nur Nachweise größerer BG berücksichtigt.

Die Umweltqualitätsnorm ist mit 5 µg/l gleich der analytischen Bestimmungsgrenze. Die Messwerte der Abläufe zweier Kläranlagen aus Modul 1 und einer Kläranlage aus Modul 2 liegen deutlich über der Bestimmungsgrenze. Im Vergleich zu den in der aktuellen Studie gemessenen Selen-Konzentrationen wurden in dänischen Untersuchungen deutlich niedrigere Werte beobachtet. Beim Vergleich ist jedoch zu beachten, dass sowohl Extremwerte als auch der Mittelwert stark durch die Messwerte zweier Kläranlagen aus Modul 1 und einer Kläranlage aus Modul 2 geprägt sind.

5.3.2.6 Zink

Zink gehört zu den weitverbreitetsten Elementen in der Erdkruste (ca. 30 mg/kg). Es ist ein essenzielles Spurenelement und wird technisch in großem Umfang verwendet. Mit der Nahrung nimmt der erwachsene Mensch im Durchschnitt ca. 12 mg/d auf und scheidet Zink auch in entsprechendem Umfang wieder aus (KOPPE & STOZEK 1999).

Zink wird seit Langem als Korrosionsschutz (Rostschutz) für Eisenteile verwendet. Weitere häufige Anwendungen des Metalls sind der Einsatz von Zinkblech im Bauwesen sowie in Batterien (z. B. Zink-Kohle Batterien).

Einsatzbereiche von Zn

Eintragungspfade von Zn

Aufgrund des weiten Einsatzbereiches sind die Eintragungspfade von Zink in Kanal und Kläranlagen vielfältig. Generell dominieren die Einträge aus Oberflächenabschwemmungen und Haushalten gegenüber jenen aus dem industriellen Bereich (ZESSNER 1999). Quellen der Einträge über Oberflächenabschwemmung sind vor allem Reifenabrieb und Korrosion verzinkter Dachverblechungen und Regenrinnen (LAMPERT et al. 1997, BOLLER 1997). Aus dem Haushalt kommt Zink vornehmlich aus Reinigungsprozessen (Hausstaub, Abrieb verzinkter Gebrauchsgegenstände), Ausscheidungen und Speiseresten, aber auch aus dem Leitungswasser über verzinkte Rohre (LAMPERT et al. 1997, KOPPE & STOZEK 1999). Zusätzlich können auch metallverarbeitende Betriebe zu Zinkemissionen in die Kanalisation beitragen.

Die angegebenen Zinkkonzentrationen sind Gesamtgehalte, wohingegen die Umweltqualitätsnorm für Zink (härteabhängig) auf die gelöste (0,45 µm filtrierte) Fraktion bezogen ist.

Konzentration im Zu- und Ablauf

Bei der aktuellen Studie wurde Zink in allen untersuchten Abwasserproben gefunden und alle Nachweise lagen über der analytischen Bestimmungsgrenze. In den untersuchten Zulaufproben (n = 15) schwanken die Zinkkonzentrationen zwischen 98 und 610 µg/l und liegen im Mittel bei rund 203 µg/l. In den Ablaufproben (n = 60) schwanken die Konzentrationen zwischen 3 und 72 µg/l und liegen im Mittel bei rund 32 µg/l. Damit befinden sich die gemessenen Zulaufkonzentrationen im Bereich der Literaturangaben und die Ablaufkonzentrationen im untersten Bereich der zum Vergleich herangezogenen Werte aus der Literatur.

Die gemessenen Konzentrationen sind in Abbildung 23 dargestellt, Tabelle 19 zeigt eine Gegenüberstellung der Ergebnisse der aktuellen Studie mit Literaturangaben.

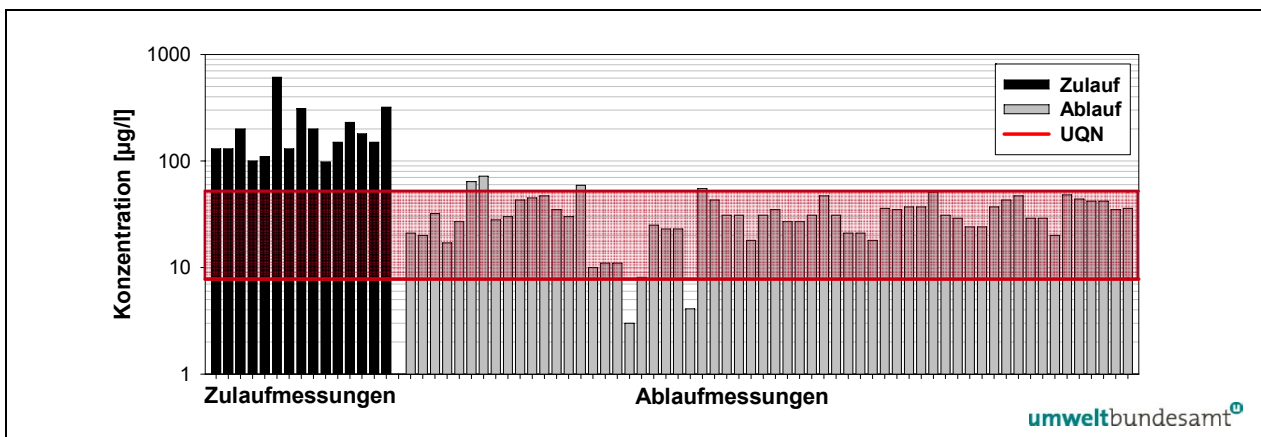


Abbildung 23: Zink [µg/l] in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen. (Messwerte unter der Nachweisgrenze werden mit null angegeben, Werte zwischen der Nachweisgrenze und der Bestimmungsgrenze mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze).

Tabelle 19: Zinkkonzentrationen in Zu- und Abläufen kommunaler Kläranlagen sowie Vergleich mit Literaturwerten. Werte in Klammern sind Mittelwerte.

	n	Zulauf [$\mu\text{g/l}$]	Ablauf [$\mu\text{g/l}$] ¹⁾		
			filtriert	gesamt	filtriert [%]
Messprogramm					
Zulauf	15	98–610 (203)			
Ablauf	60		2,2–55 (23)	3–72 (32)	31–95 (71)
ARA vor Ausbau IWAG (2008)	1	414 ²⁾	(151)	(178)	(85)
ARA nach Ausbau IWAG (2008)	1	314 ²⁾	(40)	(44)	(90)
ZESSNER (1999)	14	200–1.000	–	50–130	–
NOVANA (2004)	36	30–344	–	30–204	–

¹⁾ die filtrierten Ablaufproben aus den 15 Proben aus Modul 1 und aus 18 Ablaufproben (4. + 5. Beprobung Modul 2) wurden auf Schwermetalle untersucht (n = 33)

²⁾ aus Bilanzierung über Fracht im Ablauf und im Klärschlamm errechnet

Die über spezifische CSB-Konzentrationen auf einwohnerwertspezifische Zulauf-frachten umgerechneten Zinkkonzentrationen (Annahme: 1 EW = 110 g CSB/d), liegen im Mittel bei 54 mg Zn/EW/d. Diese Werte sind deutlich niedriger als jene 90 mg Zn/EW/d, die bei ZESSNER (1999), basierend auf Messungen im Klärschlamm, als typische Werte angegeben werden. Auch die umfassenden Untersuchungen an einer Kläranlage vor und nach deren Anpassung an den Stand der Technik (IWAG 2008) weisen mit einer mittleren Zulauf-fracht von 93 mg/EW/d eine deutlich höhere spezifische Zulauf-fracht aus.

EW-spezifische Zulauf-frachten

5.3.2.7 Sebuthylazin

Sebuthylazin ist ein Herbizid aus der Gruppe der Chlortriazine und war laut Auskunft des Instituts für Pflanzenschutzmittelbewertung und -zulassung des Bundesamtes für Ernährungssicherheit in Österreich nie zugelassen. Für Oberflächengewässer definiert die Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer einen immissionsseitigen Grenzwert von 10 ng/l.

Sebuthylazin wurde im Zuge der letzten drei Beprobungskampagnen von Modul 2 analysiert und in keiner Ablaufprobe nachgewiesen.

5.3.3 Zusammenfassung sonstige Stoffe

Zusätzlich zu den relevanten prioritären Stoffen bzw. Stoffgruppen haben sich auch die folgenden Stoffe bzw. Stoffgruppen als relevant im Ablauf kommunaler Kläranlagen erwiesen:

- AOX
- Ethylendiamintetraacetat (EDTA)
- Nitrilotriessigsäure (NTA)
- Kupfer
- Selen
- Zink

5.4 Verhalten ausgewählter Stoffe und Stoffgruppen bei der biologischen Abwasserreinigung

2 Bilanzierungsanlagen

Um Aussagen zum Verhalten bei der biologischen Abwasserreinigung treffen zu können, wurden ausgewählte Stoffe und Stoffgruppen bei zwei Kläranlagen einer Bilanzierung unterzogen. Dazu wurden die beiden Kläranlagen über einen Zeitraum von zwei Wochen auf der Basis von Tagesmischproben beprobt. Diese Tagesmischproben wurden im Labor des Umweltbundesamt zu Zweitagesmischproben vereint und analysiert. Neben den Zulauf- und Ablaufproben wurden auch Schlammproben – sowohl Primärschlamm als auch Überschussschlamm – untersucht. Die Ergebnisse der Messungen in den untersuchten Schlammproben sind in Tabelle 20 zusammengefasst.

Tabelle 20: Zusammenfassung der Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockensubstanz] der Schlammuntersuchungen kommunaler Kläranlagen.

	Primärschlamm [$\mu\text{g}/\text{kg}$ TS]	Überschussschlamm [$\mu\text{g}/\text{kg}$ TS]
Nickel	21.000	23.000
Cadmium	520	500
PBDE #47	10	19
PBDE #99	14	22
PBDE #100	2,6	4,0
PBDE #153	1,7	2,5
PBDE #154	1,2	1,7
DEHP	23.000	25.000
Tributylzinnverbindungen ¹⁾	7,5	10
Kupfer	166.750	171.667
Selen	1.500	2.667
Zink	715.000	706.667

¹⁾ alle Nachweise unter Nachweisgrenze (10 $\mu\text{g}/\text{kg}$) oder Bestimmungsgrenze (20 $\mu\text{g}/\text{kg}$)

Schlammbehandlung

Die zwei Bilanzierungsanlagen sind Belebungsanlagen, die mit Vorklärung (VK) betrieben werden. Beiden Anlagen sind Rechen und Sandfang vorgeschaltet. Bei einer der zwei Bilanzierungsanlagen wird der Überschussschlamm in die Vorklärung eingebracht, mit dem Primärschlamm gemeinsam abgezogen und in einen statischen Eindicker gepumpt. Bei der zweiten Bilanzierungsanlage werden der Primärschlamm aus dem Vorklärbecken und der Überschussschlamm aus dem Rücklaufschlammkreislauf abgezogen. Der Primärschlamm wird statisch eingedickt und der Überschussschlamm über eine mechanische Überschussschlammmeindickung geführt. Beide Kläranlagen verfügen über eine anaerobe Schlammstabilisierung. Die Trübwässer aus der Schlammmentwässerung werden zwischengespeichert und dosiert wieder in die Belebung abgegeben.

Bilanzierung von Phosphor und CSB

Zur qualitativen Bewertung der Massenbilanzen wurden auch die konventionellen Parameter Phosphor und CSB bilanziert, um eine Aussage über das zugrunde gelegte System treffen zu können. Für die Bilanzierung wurden die Betriebsprotokolle und die Daten der Eigenüberwachung herangezogen. Dabei ist generell für beide Anlagen ein gutes Ergebnis erzielt worden. Während bei Bi-

lanzierungsanlage 2 sowohl P-Bilanz als auch CSB-Bilanz für den Bilanzierungszeitraum ein sehr gutes Ergebnis zeigen und die berechneten Werte auch mit Langzeitbewertungen gut übereinstimmen ist dies bei Bilanzierungsanlage 1 nicht so deutlich. Bei dieser liegen für den Schlamm (sowohl Primärschlamm, Überschussschlamm als auch abgezogener Mischschlamm) nur einzelne Messwerte vor und auch die aus dem System abgezogene und der Stabilisierung zugeführte Masse wird nicht auf Tagesbasis erfasst.

5.4.1 Prioritäre Stoffe und Stoffgruppen

Die Ergebnisse der Bilanzierung sind in Abbildung 24 dargestellt, Tabelle 21 und Tabelle 22 fassen die Massenströme der analysierten prioritären Stoffe bzw. Stoffgruppen der zwei Bilanzierungskläranlagen zusammen. Es sind die absoluten Frachten in den Teilströmen sowie die relativen Frachten im Ablauf und im abgezogenen Schlamm bezogen auf den Zulauf angeführt. Die Differenz weist den Fehlbetrag der Bilanz aus und wird aus Zulauffracht abzüglich der Fracht im Schlamm und im Ablauf berechnet. Ein positiver Differenzbetrag deutet somit auf einen potenziellen Abbau bzw. Umbau hin, wohingegen ein negativer Differenzbetrag den Bilanzfehler angibt.

Zusätzlich zu den Ergebnissen für die ausgewählten prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe und Stoffgruppen ist auch das Bilanzierungsergebnis für Phosphor wiedergegeben. Die Ergebnisse sind relativ zur Zulauffracht dargestellt. Nicht abbaubare Stoffe reichern sich entweder im Schlamm an oder werden über den Ablauf abgegeben, die Summe der Frachten in Schlamm und Ablauf sollte jedoch der Zulauffracht entsprechen. Ein Indikator für die Qualität der Bilanz für nicht abbaubare Stoffe stellt die P-Bilanz dar. Da Phosphor nicht abbaubar ist, muss sich die Zulauffracht in der Summe aus Schlammfracht und Ablauffracht wiederfinden. Wie bereits zuvor angesprochen, zeigt die P-Bilanz bei Bilanzierungsanlage 2 für den Bilanzierungszeitraum ein sehr gutes Ergebnis, wohingegen der Fehler bei Bilanzierungsanlage 1 etwas größer ist.

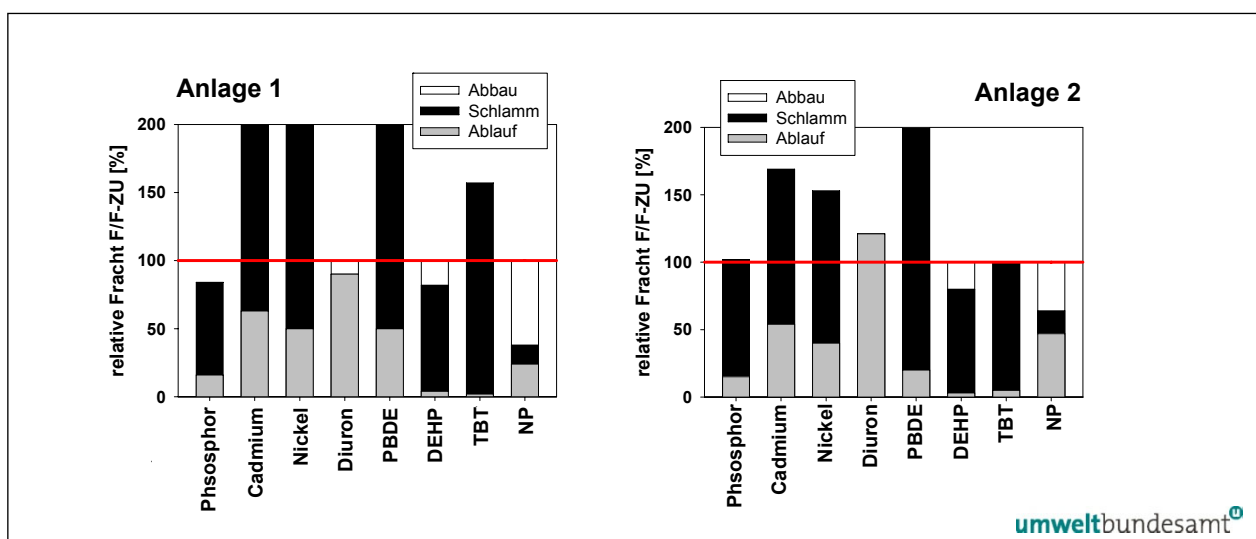


Abbildung 24: Ergebnisse der Bilanzierung für Phosphor und die ausgewählten prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe bzw. Stoffgruppen in kommunalen Kläranlagen.

Tabelle 21: Bilanzierungsanlage 1: Massenflüsse [g/d bzw. % des Zulaufs] der untersuchten prioritären Stoffe und von Phosphor.

		P_{ges}	Cd	Ni	Diuron	PBDE	DEHP	TBT	NP
ZU	[g/d]	43.500	0,7	17,0	0,40	0,02	73,8	0,011	5,7
	[%]	100	100	100	100	100	100	100	100
PS+	[g/d]	29.700	1,2	47,6	0	0,1	57,6	0,018	0,8
ÜS	[%]	68	176	280	0	489	78	155	14
AB	[g/d]	6.800	0,4	8,5	0,36	0,01	3,0	0,0002	1,4
	[%]	16	63	50	90	50	4	2	24
Diff	[g/d]	7.000	-0,98	-39,1	0,04	-0,09	13,2	-0,0065	3,5
	[%]	16	-139	-230	10	-339	18	-57	62

ZU...Zulauf, PS...Primärschlamm, ÜS...Überschussschlamm, AB...Ablauf, Diff...Differenz (Abbau bzw. Bilanzfehler)

Tabelle 22: Bilanzierungsanlage 2: Massenflüsse [g/d bzw. % des Zulaufs] der untersuchten prioritären Stoffe und von Phosphor.

		P_{ges}	Cd	Ni	Diuron	PBDE	DEHP	TBT	NP
ZU	[g/d]	316.900	5,7	200	1,8	0,22	394,5	0,151	69
	[%]	100	100	100	100	100	100	100	100
PS	[g/d]	29.300	2,6	100	0	0,11	110,8	0,042	5,3
	[%]	9	46	50	0	49	28	27	8
ÜS	[g/d]	245.700	4,0	127	0	0,31	191,6	0,103	6,5
	[%]	78	69	63	0	139	49	68	9
AB	[g/d]	46.200	3,1	79	2,2	0,04	11,6	0,008	32,8
	[%]	15	54	40	121	20	3	5	47
Diff	[g/d]	-4.300	-4,0	-106	-0,4	-0,24	80,5	-0,001	24,8
	[%]	-2	-69	-53	-21	-109	20,4	-1	36

ZU...Zulauf, PS...Primärschlamm, ÜS...Überschussschlamm, AB...Ablauf, Diff... Differenz (Abbau bzw. Bilanzfehler)

Die meisten der untersuchten prioritären Stoffe (Cadmium, Nickel, polybromierte Diphenylether, DEHP und Tributylzinverbindungen) werden im Schlamm angereichert. Diuron wird in den Kläranlagen nicht zurückgehalten. Für Nonylphenole ist ein geringfügiger Abbau festzustellen.

Abbau von Nonylphenolen

Bei Nonylphenolen ist jedoch festzuhalten, dass eine reine Bilanzierung nicht zulässig ist, da Nonylphenole selbst ein Abbauprodukt der Nonylphenolpolyethoxylate sind (AHEL et al. 1994, YING et al. 2002). Um Aussagen über Nonylphenole zu treffen, ist die Erfassung der Hauptkomponenten (Nonylphenolethoxylate NP_{1,2}EO und Nonylphenolcarboxylate NP_{1,2}EC) erforderlich. Verschiedene Untersuchungen haben jedoch gezeigt, dass Nonylphenole in Kläranlagen unter aeroben Bedingungen abgebaut werden (AHEL et al. 1994, YING et al. 2002, ARCEM 2003, CLARA et al. 2005). Dies wird auch durch die Bilanzierungen in der aktuellen Studie bestätigt. Nonylphenole wurden in den untersuchten Schlammproben nicht bestimmt und die Bilanzierung wurde mittels Verteilungskoeffizienten (Literaturwert) durchgeführt. Dabei wurde ein festflüssig Verteilungskoeffizient K_d von 1.914 l/kg verwendet (CLARA et al. 2007).

Die Ablaufkonzentrationen von Diuron entsprachen etwa jenen der Zulaufkonzentrationen. In den untersuchten Schlammproben wurde Diuron nicht bestimmt, da aufgrund der chemisch-physikalischen Eigenschaften dieses Herbizids davon auszugehen ist, dass keine Anreicherung im Schlamm erfolgt. Nach ROGERS (1996) gelten Stoffe mit einem Oktanol-Wasser Verteilungskoeffizienten (P_{OW}) von $\log P_{OW} < 2,5$ als nicht adsorptionsrelevant und Stoffe mit $\log P_{OW} > 4$ als adsorptionsrelevant. Diuron weist einen $\log P_{OW}$ von rund 2,8 auf und kann somit als nicht adsorptionsrelevant eingestuft werden. Diuron gilt als stabil gegenüber Hydrolyse im Wasser und weist eine Halbwertszeit in Wasser von rund 90 Tagen auf (UBA 2007a). Damit ist Diuron als persistent bei der Abwasserreinigung einzustufen. Dies wird durch das Ergebnis der Bilanzierung bestätigt.

Diuron ist persistent

Die untersuchten Metalle Cadmium und Nickel weisen bei beiden Bilanzierungsanlagen deutliche Bilanzfehler aus. Analog zu Phosphor sind diese Stoffe nicht abbaubar und daher muss die Fracht im abgezogenen Schlamm und im Ablauf der Zulauffracht entsprechen. Dies ist jedoch bei beiden Stoffen und in beiden Anlagen nicht der Fall. Bei Cadmium ist ein bestimmter Fehleranteil analytisch bedingt. So wurde das Schwermetall im Zulauf und in den Schlammproben quantifiziert, wohingegen die Ablaufmesswerte zumeist unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze liegen. Damit ist eine Bilanzierung nicht mehr möglich, da die Ablauffracht auf rechnerisch ermittelten Konzentrationen beruht. Nickel konnte in allen Proben nachgewiesen werden, jedoch weist auch dieses Metall einen deutlichen Fehler auf. Ähnliches wurde bereits bei anderen Untersuchungen zu Schwermetallen in Kläranlagen beobachtet und daraus der Schluss gezogen, die Zulauffracht aus der Messung der Konzentrationen in Schlamm- und in Ablaufproben zu bestimmen (IWAG 2005). Die Erfassung repräsentativer Werte für den Kläranlagenzulauf scheint problematisch zu sein. Bei den Schwermetallen ist davon auszugehen, dass diese im Zulauf hauptsächlich partikulär vorliegen und eine repräsentative Erfassung der Schwebstoffe im Zulauf nicht gewährleistet ist.

Bilanzierungsfehler bei Cd und Ni

DEHP wurden in allen Zu- und Ablaufproben nachgewiesen, wobei die Zulaufkonzentrationen deutlich über den Ablaufkonzentrationen lagen. In beiden untersuchten Kläranlagen wurde ein Rückhalt von DEHP beobachtet, wobei hauptsächlich eine Anreicherung im Schlamm (rund 80 %) erfolgt und etwa 20 % entfernt wurden. Dies entspricht nur zum Teil Literaturangaben, da DEHP unter aeroben Bedingungen als biologisch abbaubar gilt (UBA 2007a). Die beobachteten Entfernungsraten sind jedoch durchwegs mit Literaturdaten vergleichbar. So beobachten DARGNAT et al. (2009) Gesamtentfernungsraten von rund 78 % und BIRKETT & LESTER (2003) weisen einen DEHP-Abbau von rund 20 % in der biologischen Stufe einer Kläranlage aus. Diese Angaben zeigen eine gute Übereinstimmung mit den Werten der aktuellen Studie. Die Entfernung von DEHP erfolgt hauptsächlich über Adsorption an den Schlamm. Diese Beobachtung stimmt mit den chemisch-physikalischen Eigenschaften überein. DEHP tendiert mit einem $\log P_{OW}$ von rund 7,5 sehr stark zur Adsorption an den Schlamm (ROGERS 1996, UBA 2007a).

Anreicherung von DEHP im Schlamm

Die polybromierten Diphenylether wurden in den meisten Zulaufproben und in den Schlammproben, aber nur in einzelnen Ablaufproben nachgewiesen. Diese Stoffgruppe wird hauptsächlich im Schlamm angereichert ($\log P_{OW}$ rund 6,6) und gilt als nicht leicht abbaubar und hydrolytisch stabil (UBA 2007a). Der große Bilanzfehler bei den polybromierten Diphenylethern ist durch verschiedene Fak-

PBDE reichern sich im Schlamm an

toren bedingt. Zum einen liegen viele Einzelbestimmungen im Ablauf unterhalb der jeweiligen Bestimmungsgrenzen und diese Werte gehen mit dem Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze in die Berechnung ein. Da zum Teil ein Faktor 100 zwischen BG und NG liegt, wird durch die Berechnungskonvention ein nicht unerheblicher Fehler in die Bilanzrechnung eingebracht. Ein weiterer Fehler könnte in Analogie zu den Schwermetallen die nicht repräsentative Erfassung der Zulauffracht für hauptsächlich partikuläre bzw. partikulär gebundene Stoffe und Stoffgruppen sein.

TBT reichern sich im Schlamm an

Auch für Tributylzinnverbindungen erlaubt die Bilanzierung nur eingeschränkte Aussagen. Diese Verbindungen tendieren nicht so stark zur Adsorption wie z. B. DEHP oder die polybromierten Diphenylether und weisen einen $\log P_{OW}$ von rund 3,2 auf. In biologischen Kläranlagen werden Tributylzinnverbindungen nur in geringem Umfang abgebaut (UBA 2007a). Diese Aussagen werden durch die Ergebnisse der aktuellen Studie bestätigt. Der beobachtete Fehler ist bei den Tributylzinnverbindungen vor allem durch die Anwendung der Berechnungskonvention auf analytische Nachweise < BG bedingt. Während in den Zulaufproben vereinzelt quantifizierbare Konzentrationen gemessen wurden, lagen die Messwerte in allen Schlammproben unterhalb der Bestimmungsgrenze und in den Ablaufproben entweder unterhalb der Bestimmungs- oder unterhalb der Nachweisgrenze.

5.4.2 Sonstige Stoffe und Stoffgruppen

Die Ergebnisse der Bilanzierung der sonstigen Stoffe und Stoffgruppen sind in Abbildung 25 dargestellt. Tabelle 23 und Tabelle 24 fassen die Massenströme der analysierten sonstigen Stoffe bzw. Stoffgruppen der zwei Bilanzierungskläranlagen zusammen. Analog zu den prioritären Stoffen sind die absoluten Frachten in den Teilströmen sowie die relativen Frachten im Ablauf und abgezogenen Schlamm bezogen auf den Zulauf dargestellt. Die Ergebnisse der P-Bilanz werden auch hier wieder als Referenzkriterium für die Qualität der Bilanzierungen angeführt.

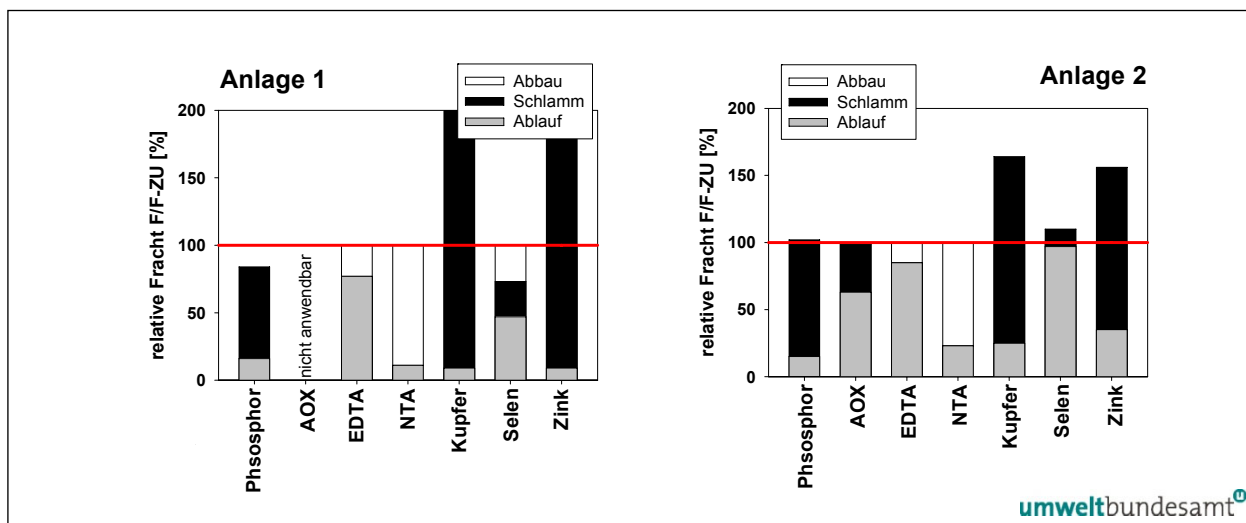


Abbildung 25: Ergebnisse der Bilanzierung für Phosphor und für die ausgewählten sonstigen Stoffe bzw. Stoffgruppen in kommunalen Kläranlagen.

Tabelle 23: Bilanzierungsanlage 1: Massenflüsse [g/d bzw. % des Zulaufs] der untersuchten sonstigen Stoffe.

		P_{ges}	Kupfer	Selen	Zink	AOX	EDTA	NTA
ZU	[g/d]	43.500	206	20	860		79	2.268
	[%]	100	100	100	100		100	100
PS+	[g/d]	29.700	517	5	1.792	nicht bestimmbar	0	0
	ÜS	[g/d]	29.700	517	5		1.792	0
AB	[g/d]	6.800	18	9	75		61	250
	[%]	16	9	47	9		77	11,0
Diff.	[g/d]	7.000	-329	5,5	-1.007		19	2.018
	[%]	16	-160	28	-117		23	89

ZU...Zulauf, PS...Primärschlamm, ÜS...Überschussschlamm, AB...Ablauf, Diff....Differenz (Abbau bzw. Bilanzfehler)

Tabelle 24: Bilanzierungsanlage 2: Massenflüsse [g/d bzw. % des Zulaufs] der untersuchten sonstigen Stoffe.

		P_{ges}	Kupfer	Selen	Zink	AOX	EDTA	NTA
ZU	[g/d]	316.900	1.124	175	6.554	3.292	4.035	15.685
	[%]	100	100	100	100	100	100	100
PS	[g/d]	29.300	573	8	3.462	554	0	0
	[%]	9	51	5	53	17	0	0
ÜS	[g/d]	245.700	993	16	4.449	685	0	0
	[%]	78	88	9	68	20	0	0
AB	[g/d]	46.200	279	170	2.269	2.061	3.419	3.730
	[%]	15	25	97	35	63	85	24
Diff.	[g/d]	-4.300	-721	-20	-3.626	7	616	11.955
	[%]	-2	-64	-12	-55	0	15	76

ZU...Zulauf, PS...Primärschlamm, ÜS...Überschussschlamm, AB...Ablauf, Diff....Differenz (Abbau bzw. Bilanzfehler)

Mit Ausnahme der Komplexbildner EDTA und NTA werden die untersuchten sonstigen Stoffe hauptsächlich im Schlamm angereichert. Die Metalle Kupfer und Zink sind in allen Proben in bestimmbar Konzentrationen gefunden worden, wohingegen die Messwerte für Selen immer unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze und in zwei Ablaufproben der Bilanzierungsanlage 1 auch unterhalb der Nachweisgrenze lagen. Bei Kupfer und Zink ist wie bei den prioritären Metallen Cadmium und Nickel eine Anreicherung im Schlamm und ein deutlicher Bilanzfehler festzustellen. Es zeigt sich, dass in beiden Kläranlagen die aus Messungen im Zulauf berechneten Zulauffrachten deutlich geringer sind als jene, welche über die Frachten in Ablauf und Klärschlamm abgeleitet werden würden. Wie auch in IWAG (2005) festgestellt, dürfte für Stoffe wie Kupfer und Zink, die im Zulauf zu einem überwiegenden Teil in partikelgebundener Form vorliegen, die repräsentative Probenahme problematisch sein und es dürfte häufig zu Fehlbefunden kommen. Zudem kann bei einem zu geringen Bilanzzeitraum eine Veränderung der Stoffkonzentration im Belebtschlamm die Bilanzierung erschweren.

**AOX über Schlamm
und Ablauf
eliminiert**

Die Bilanzierung der AOX ist nur für Bilanzierungsanlage 2 möglich. Dabei zeigt sich, dass rund ein Drittel der Zulauffracht über den Schlamm aus dem System ausgetragen wird und rund zwei Drittel der Zulauffracht (62 %) im Ablauf wiederzufinden sind. Rund 15 % der AOX-Zulauffracht werden in der Kläranlage ab- bzw. umgebaut. Diese Fraktion könnte jedoch auch auf leichterflüchtige Verbindungen (POX) zurückzuführen sein, da nach KOPPE & STOZEK (1999) rund 10–30 % der AOX im Zulauf solche leichterflüchtigen Verbindungen darstellen. Auch beim AOX zeigt sich eine sehr gute Übereinstimmung mit Literaturangaben. So geben KOPPE & STOZEK (1999) für Kläranlagen einen durchschnittlichen AOX-Eliminationsgrad von rund 50 % an.

**NTA großteils
entfernt, EDTA nicht**

Die Komplexbildner EDTA und NTA zeigen ein unterschiedliches Verhalten bei der biologischen Abwasserreinigung. Bei EDTA ist nur ein geringer Rückhalt in den zwei Bilanzierungsanlagen festzustellen, wohingegen NTA zum großen Teil aus dem Abwasser entfernt wird. Während die EDTA Konzentrationen im Ablauf nur geringfügig niedriger sind als die Zulaufkonzentrationen, ist der Unterschied zwischen Zu- und Ablaufkonzentrationen bei NTA deutlich ausgeprägt. Die zwei Komplexbildner tendieren nicht zur Adsorption an den Schlamm (EDTA: $\log P_{OW} = -3,86$ und NTA: $\log P_{OW} = -3,81$) (SRC⁵). Aufgrund dieser fehlenden Adsorptionstendenz wurde EDTA und NTA nicht im Schlamm gemessen. Die Ergebnisse stimmen gut mit Literaturangaben zusammen. So weisen sowohl ALDER et al. (1990) als auch KARI & GIGER (1996) für EDTA Rückhalteraten von weniger als 10 % und für NTA Entfernungsraten von mehr als 90 % aus. Diese Werte weisen eine gute Übereinstimmung mit den aktuellen Ergebnissen auf. So wurden für EDTA Entfernungsraten von rund 15 % bzw. 23 % und für NTA von rund 76 % bzw. 89 % für die zwei Bilanzierungsanlagen berechnet.

5.4.3 Fazit Stoffbilanzierungen

Um Aussagen zum Verhalten bestimmter Stoffe bzw. Stoffgruppen bei der biologischen Abwasserreinigung treffen zu können, ist die Durchführung einer Stoffbilanzierung unabdingbar. Dabei sind jedenfalls auch Massenbilanzen konventioneller Abwasserinhaltsstoffe vornehmlich für Phosphor durchzuführen, um eine qualitative Beschreibung des Bilanzsystems zu ermöglichen. So ist bei der aktuellen Studie ersichtlich, dass der Fehler bei Bilanzierungsanlage 2 für die meisten Verbindungen deutlich niedriger ist als bei Bilanzierungsanlage 1. Dieser Qualitätsunterschied ist bereits aus der Phosphorbilanz ersichtlich.

**Kriterium
Bilanzzeitraum**

Dabei sind zudem grundsätzliche Regeln der Stoffbilanzierung zu beachten, hauptsächlich jedoch die Wahl des Bilanzzeitraumes. Dieser sollte zumindest drei Schlammlalter umfassen und es ermöglichen, Speicheränderungen zu vernachlässigen. Vor allem bei Schwermetalluntersuchungen ist eine längerfristige Schlamm Betrachtung sinnvoll, da diese in den Schlamm eingelagert, aber auch wieder freigesetzt werden.

⁵ SRC – Physprop database: <http://www.syrres.com/what-we-do/product.aspx?id=133>
(18.05.2009)

Bei der aktuellen Studie war dies nur eingeschränkt möglich, da ein langer Bilanzzeitraum und die damit verbundene Probenanzahl sehr kostenintensiv sind. Es wurde daher die Bilanzierung auf Basis von Zweitagesmischproben durchgeführt, um einen Bilanzzeitraum von rund 10 Tagen abzudecken. Dieser Zeitraum entspricht jedoch bei keiner der zwei Anlagen einem Schlammalter.

Bei den Untersuchungen wurden sonstige Eintragspfade in die Kläranlage (z. B. über Fällmittel, Flockungshilfsmittel, sonstige Chemikalien, Kosubstrate, Kanalräumgut und andere Einträge) nicht erfasst.

Ein weiterer Unsicherheitsfaktor ist in der Probenanzahl begründet. So wurden insgesamt je Anlage fünf Zu- und Ablaufproben und jeweils zwei Primär- und zwei Rücklaufschlammproben untersucht.

**Kriterium
Probenanzahl**

Bei den untersuchten Stoffen ist anzumerken, dass einige Verbindungen sowohl im Zulauf als auch im Ablauf in nicht quantifizierbaren Konzentrationen nachweisbar waren. Damit werden diese Messwerte über den Mittelwert aus Bestimmungsgrenze und Nachweisgrenze bei der Berechnung berücksichtigt und es wird damit ein nicht weiter bestimmbarer Fehler in die Bilanz eingebracht. Dieser Fehler wird z. B. bei den polybromierten Diphenylethern sehr deutlich, bei denen das Verhältnis von BG zu NG bis zu einem Faktor 100 beträgt. Ein weiteres Beispiel sind Stoffe, die sowohl im Zu- als auch im Ablauf unterhalb der analytischen Bestimmungsgrenze, im Schlamm aber in quantifizierbaren Konzentrationen nachgewiesen wurden. Für solche Stoffe bzw. Stoffgruppen ergibt sich zwangsläufig ein Bilanzfehler. Es ist daher davon auszugehen, dass eine Bilanzierung nur für Stoffe sinnvoll ist, die in quantifizierbaren Konzentrationen vorliegen bzw. im Verhältnis zur Gesamtprobenanzahl nur wenige Messwerte unterhalb der BG liegen.

**Kriterium
Quantifizierbarkeit**

Ein weiteres Ergebnis der aktuellen Bilanzierungen ist, dass vor allem für sehr hydrophobe Stoffe bzw. Stoffgruppen, die stark zur Adsorption tendieren, zum Teil erheblich fehlerbelastete Ergebnisse erzielt wurden. Dies ist voraussichtlich darauf zurückzuführen, dass eine repräsentative Zulauf erfassung von überwiegend in partikulär-gebundener Form vorliegenden Stoffen bzw. Stoffgruppen problematisch ist. Dies wurde vor allem bei den Metallen und bei organischen Stoffen mit sehr hohen Oktanol-Wasser Verteilungskoeffizienten (sehr lipophile Stoffe) beobachtet, wohingegen sowohl Phosphor- als auch CSB-Bilanz durchwegs plausible Ergebnisse erbrachten.

**Kriterium
Sorptionsfähigkeit**

Mittels des fest-flüssig Verteilungskoeffizienten K_d ist die Verteilung zwischen partikulär und gelöst im Zulauf nach folgender Formel berechenbar, wobei X_{SS} die Schwebstoffkonzentration im Zulauf darstellt:

$$\text{Anteil partikulär gebunden [\%]} = K_d \cdot X_{SS} / (1 + K_d \cdot X_{SS})$$

Der K_d -Wert für Pentabromdiphenylether liegt bei rund 49.100 l/kg (ECB 2001). Aus den Ergebnissen der aktuellen Studie (Belebtschlamm und Ablaufkonzentration) kann ein Näherungswert für K_d von rund 57.100 l/kg abgeschätzt werden. Ein ähnlicher Wert ist auch für DEHP bestimmbar. Wird mit einem K_d -Wert von rund 50.000 l/kg und einer Schwebstoffkonzentration im Zulauf einer durchschnittlichen kommunalen Kläranlage von rund 350 mg/l gerechnet, so liegen laut der angeführten Formel rund 95 % dieses Stoffes partikulär gebunden vor. Dies zeigt, dass bereits geringe Untererfassungen der Schwebstoffe im Zulauf zu einer erheblichen Unterschätzung der Zulauffracht führen können.

Die Ergebnisse machen auch deutlich, dass für eine Bewertung des Verhaltens anorganischer und organischer Stoffe bzw. Stoffgruppen bei der biologischen Abwasserreinigung eine Massenbilanzierung unbedingt erforderlich ist. Die dargestellten Ergebnisse zeigen auch die Grenzen der Bilanzierung und darauf aufbauender Aussagen recht deutlich auf und zeigen, dass eine hohe Qualität von Probenahme und Analytik die Basis jeglicher Bilanzierung darstellen.

6 UNTERSUCHUNGEN IN ANDEREN EUROPÄISCHEN LÄNDERN

Die meisten Untersuchungen zu prioritären und prioritär gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen finden auf der Basis von Forschungsprojekten auf universitärer Ebene statt. Diese Analysen beschränken sich zumeist auf eine Auswahl von Stoffen, die Ergebnisse werden in Artikeln in Fachzeitschriften veröffentlicht. Mittlerweile findet sich für einige Stoffe wie Nonylphenole eine Vielzahl von Fachartikeln.

In vielen europäischen Staaten werden immissionsseitige Messungen durchgeführt, jedoch gibt es keine systematische Erfassung der Emissionen. In einigen Ländern gibt es Monitoringstudien in Abwässern, die auch einige der Projektsubstanzen der aktuellen Studie beinhalten. In den folgenden Abschnitten werden die verfügbaren Ergebnisse kurz angeführt.

6.1 Deutschland

In Deutschland werden unterschiedliche Untersuchungen zu prioritären und sonstigen Stoffen durchgeführt. Hervorzuheben sind zum einen die Arbeiten des deutschen Umweltbundesamtes (UBA 2007a, b) und zum anderen die Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen in Nordrhein-Westfalen (FAHLENKAMP et al. 2008, PINNEKAMP & MERKEL 2008).

In UBA (2007a) sind für die 33 prioritären und prioritär gefährlichen Stoffe Daten zu physikalisch-chemischen Eigenschaften, Monitoringergebnisse und weitere Zusatzinformationen in Stoffdatenblättern zusammengefasst. In UBA (2007b) wird die Emissionssituation in Deutschland, basierend auf Monitoringergebnissen, beurteilt, wobei die folgenden Stoffe bzw. Stoffgruppen als relevant eingestuft werden:

- Blei, Cadmium, Nickel und Quecksilber,
- polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe,
- Diuron und Isoproturon,
- Tributylzinnverbindungen.

Für andere der betrachteten Stoffe (polybromierte Diphenylether, DEHP, Nonylphenole) ist lt. UBA (2007b) eine Einstufung nicht eindeutig möglich.

FAHLENKAMP et al. (2008) untersuchten den Eintrag und die Elimination gefährlicher Stoffe in kommunalen Kläranlagen. Dabei wurde eine große Anzahl von Stoffen bzw. Stoffgruppen untersucht, wobei neben einigen prioritären Stoffen (Nonylphenole, Pentachlorphenol, DEHP) auch Arzneimittelwirkstoffe, Hormone, Organophosphate, Phenole, Phthalate, Moschusduftstoffe, perfluorierte Tenside und andere Stoffe wie Triclosan oder Dichlorphenylethylsäure berücksichtigt wurden. Für Substanzen, die auch in der aktuellen Studie berücksichtigt worden sind, sind die Ergebnisse von FAHLENKAMP et al. (2008) in Tabelle 25 zusammengefasst. Die Zu- und Ablaufkonzentrationen bezeichnen den Schwankungsbereich der Messungen und beziehen sich auf Zu- und Ablauf zur biologischen Stufe einer Belebungsanlage. Neben der Erhebung von Daten zum Vorkommen

dieser Stoffe wurden auch weitergehende Reinigungsschritte auf ihr Entfernungspotenzial hin untersucht, wobei der Schwerpunkt auf der Ozonierung, der Aktivkohlebehandlung und der Membranfiltration lag.

Tabelle 25: Zu- und Ablaufkonzentrationen kommunaler Kläranlagen [$\mu\text{g/l}$] (Minimum und Maximum) und mittlere Entfernung [%] ausgewählter Stoffe (FAHLENKAMP et al. 2008).

Stoff/Stoffgruppe	Zulauf [$\mu\text{g/l}$]	Ablauf [$\mu\text{g/l}$]	Entfernung [%]
DEHP	0,89–16,86	0,06–5,79	80
Octylphenole	n. n.–0,13	0,01–0,04	23
Nonylphenole	0,15–5,54	0,04–0,84	93
Pentachlorphenol	0,01–0,12	0,01–0,04	61
Bisphenol-A	0,08–11,26	0,06–1,73	95

PINNEKAMP & MERKEL (2008) untersuchten Komplexbildner, perfluorierte Tenside, phosphororganische Flammschutzmittel sowie Arzneistoffe und Röntgenkontrastmittel in Abläufen kommunaler Kläranlagen. Es wurden 69 Kläranlagenabläufe beprobt. Die Ablaufkonzentrationen für EDTA schwankten bei den Untersuchungen zwischen nicht nachweisbar (n. n.) und 78 $\mu\text{g/l}$ und die NTA-Konzentrationen lagen zwischen n. n. und 69 $\mu\text{g/l}$.

6.2 Schweiz

Das Bundesamt für Umwelt (BAFU) hat im Jahr 2006 das Projekt „Strategie MicroPoll: Reduktion von Mikroverunreinigungen aus der Siedlungsentwässerung“ gestartet. Ziel des Projektes ist es, Entscheidungsgrundlagen zusammenzustellen und eine Strategie zur Reduktion des Eintrages von Mikroverunreinigungen aus der Siedlungsentwässerung in die Gewässer zu entwickeln. Schwerpunkte sind die Erhebung der Belastungssituation von Fließgewässern mit Mikroverunreinigungen und, falls erforderlich, die Ableitung von Maßnahmen zur Reduktion dieser Belastung.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag im Nachweis von Arzneimittelwirkstoffen, jedoch wurden auch Pflanzenschutzmittel und Substanzen mit endokriner Wirkung berücksichtigt. Die Ergebnisse ausgewählter Stoffe sind in Tabelle 26 zusammengefasst (GÄLLI et al. 2009).

Tabelle 26: Ergebnisse der Untersuchungen prioritärer und sonstiger Stoffe in Kläranlagenabläufen in der Schweiz (GÄLLI et al. 2009).

Parameter	BG [$\mu\text{g/l}$]	Anzahl Messwerte [% davon über BG]	Maximale Ablaufkonzentration [$\mu\text{g/l}$]
Bisphenol-A	0,005–0,73	52 (90 %)	4,9
Nonylphenole	0,001–0,5	244 (99 %)	2,2
Atrazin	0,003–0,03	81 (49 %)	20,66
Diuron	0,005–0,03	28 (39 %)	0,21
Isoproturon	0,006–0,06	31 (26 %)	37,4

6.3 Niederlande

STOWA (Stichting Toegepast Onderzoek Waterbeheer – Foundation for Applied Water Research) ist eine niederländische Forschungseinrichtung, die verschiedene angewandte Untersuchungen im Bereich Wasser durchführt. Im Jahr 2005 wurde eine STOWA-Studie zu Abwässern veröffentlicht (DE JONG et al. 2005), die sowohl „organische Spurenschadstoffe“ als auch Pestizide, Schwermetalle, hormonwirksame Stoffe und Arzneimittelwirkstoffe berücksichtigt. Dazu wurden Daten von Kläranlagenabläufen aus den Jahren 2000–2004 herangezogen.

Die Studie weist Stoffe bzw. Stoffgruppen als relevant in Kläranlagenabläufen aus, wenn deren Konzentration im Ablauf höher als das jeweilige Umweltqualitätsziel ist. Als möglicherweise regional von Bedeutung wurden jene Stoffe angeführt, die in den Kläranlagenabläufen zwar gefunden wurden, deren Konzentrationen aber unterhalb der jeweiligen Güteziele lagen.

Basierend auf dieser Vorgehensweise wurden die Emissionen aus Kläranlagen für folgende Stoffe als relevant eingestuft:

- bestimmte polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe,
- Hexachlorcyclohexan, Atrazin und Diuron,
- Cadmium, Kupfer, Zink, Blei und Nickel,
- Diethylhexylphthalat (DEHP),
- Nonylphenole und Octylphenole.

Tabelle 27 fasst das Ergebnis der STOWA-Studie (DE JONG et al. 2005) zusammen und stellt den Schwankungsbereich der als relevant eingestuften Stoffe in Kläranlagenabläufen dar. Die Spalte „Häufigkeit“ gibt an, in wie vielen Ablaufproben der jeweilige Stoff gefunden wurde („+“: wurde in 5–50 % der Ablaufproben nachgewiesen, „++“: wurde in 50–95 % der Ablaufproben gefunden, „+++“: wurde in über 95 % der Ablaufproben gefunden). Die Umweltqualitätsnorm ist zu Vergleichszwecken angeführt und entstammt der Richtlinie 2008/105/EG bzw. der QZV Chemie OG, wobei bei abweichenden Gütezielen immer der strengere Wert ausgewiesen ist.

Neben der Erhebung des Vorkommens dieser Stoffe in Kläranlagenabläufen umfasst die Studie auch eine Bewertung unterschiedlicher Technologien hinsichtlich ihres Potenzials zur Entfernung der untersuchten Stoffe.

Tabelle 27: Ergebnisse der niederländischen Studie: im Ablauf kommunaler Kläranlagen als relevant eingestufte Stoffe nach DE JONG et al. (2005).

	Parameter	Ablauf [$\mu\text{g/l}$]		Häufigkeit	UQN [$\mu\text{g/l}$]
		Min	Max		
prioritäre Stoffe	Cadmium	0,00	0,99	+++	$\leq 0,08-0,25^{1)}$
	DEHP	0,00	20,00	+++	1,3
	Diuron	0,00	1,40	+	0,2
	Nonylphenole	0,00	0,60	+	0,3
	Octylphenole	0,00	1,58	++	0,1
	Blei	0,00	50,00	+++	7,2
	Beno(a)pyren	0,00	0,08	++	0,05

Parameter	Ablauf [$\mu\text{g/l}$]		Häufigkeit	UQN [$\mu\text{g/l}$]	
	Min	Max			
Benzo(b)fluoranthen	0,00	0,07	++	0,03	
Benzo(k)fluoranthen	0,00	0,04	++		
Benzo(g,h,i)perylen	0,00	0,06	++	0,002	
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,00	0,06	++		
Fluoranthen	0,00	0,12	++	0,1	
Nickel	0,00	36,60	+++	20	
sonstige Stoffe	Bisphenol-A	0,04	4,09	++	1,6
	Chrom	0,00	43,00	+++	8,5
	Kupfer	0,00	95,00	+++	1,1–8,8 ¹⁾
	Zink	0,00	210,00	+++	7,8–52,0 ¹⁾

¹⁾ Umweltqualitätsnorm abhängig von der Härte

6.4 Frankreich

In Frankreich wird zurzeit das Projekt AMPERES (Analyse de Micropollutants Prioritaires et émergents dans les eaux Résiduaires, rejets et eaux Superficielles) zu prioritären und sonstigen Mikroschadstoffen in Abwässern und Oberflächengewässern durchgeführt. Das Projekt wird von Cemagref in Zusammenarbeit mit Suez Environment und verschiedenen Universitäten mit Unterstützung des Ministeriums für Industrie und Forschung (Ministry for Industry and Research; ANR Precodd) durchgeführt.

Im Zuge dieses Projektes wurde eine Datenbank erstellt, in der die verfügbaren Publikationen zu den verschiedensten Stoffen bzw. Stoffgruppen gesammelt und ausgewertet werden. Datenquellen waren vor allem Datenblätter öffentlicher Organisationen (Europäisches Chemikalienbüro ECB – European Substance Information System ESIS), nationale Datenerhebungen, wissenschaftliche Fachpublikationen und spezifische nicht veröffentlichte Studien. In Summe wurden 8.000 Datensätze zu prioritären Stoffen und 3.000 Datensätze zu sonstigen Stoffen angelegt, wobei Daten von den Jahren 1976 bis 2006 berücksichtigt sind. Die Angaben wurden entsprechend der Quellen bewertet und es wurde eine semi-quantitative Auswertung durchgeführt (RUEL et al. 2008). Für ausgewählte Stoffe bzw. Stoffgruppen sind in Tabelle 28 die Ergebnisse einer Datenbankauswertung bezüglich der Zu- und Ablaufkonzentrationen zusammengefasst. Es ist zu beachten, dass die Datensätze einen großen Zeitraum berücksichtigen und daher davon auszugehen ist, dass für viele Stoffe die angeführten Konzentrationen sehr hoch sind (siehe z. B. DDT). Diese Werte sind daher als Referenz für die derzeitige Situation in Österreich nicht aussagekräftig und auch als nicht relevant zu bewerten.

Tabelle 28: Literaturwerte zu prioritären und sonstigen Stoffen und Stoffgruppen in Zu- und Abläufen sowie Klärschlämmen kommunaler Kläranlagen [$\mu\text{g/l}$] (RUEL et al. 2008).

	Parameter	Zulauf [$\mu\text{g/l}$]	Ablauf [$\mu\text{g/l}$]	Schlamm [$\mu\text{g/kg}$]
prioritäre Stoffe	Cadmium	9,1	9,8	3.500
	Quecksilber	0,95	0,7	3.000
	Nickel	86	57	28.600
	Nonylphenole	23	6,9	132.100
	Octylphenole	1,6	0,25	2.600
	PBDE	0	0,003	–
	DEHP	30	15	2.197.000
	Diuron	0,43	0,21	–
	Tributylzinn	0,02	0,04	90
sonstige Stoffe	LAS	4.576	829	5.998.000
	EDTA	277	82	–
	Kupfer	113	43	335.000
	Zink	362	147	875.000
	Arsen	5	3,9	–
	DDT	5,7	2,6	–

Zusätzlich zu Erstellung, Betrieb und Auswertung dieser Datenbank werden auch Untersuchungen in Kläranlagen durchgeführt. Es wurden 65 Stoffe bzw. Stoffgruppen analysiert. Davon wurden 22 Substanzen zumindest in einer Zulaufprobe und 19 zumindest in einer Ablaufprobe gefunden. Nicht nachweisbar waren polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Chloralkane, polybromierte Diphenylether, DDT, Hexachlorcyclohexan, Aldrin, Isodrin, Endrin, Endosulfan und Alachlor, wohingegen DEHP, Atrazin und Trichlormethan in allen Abwasserproben vorhanden waren. Die höchsten Konzentrationen im Ablauf wurden für DEHP, Diuron und einige flüchtige organische Verbindungen (Trichlormethan, Dichlormethan, Tetrachlorethylen und Trichlorethylen) bestimmt (ESPERANZA et al. 2008). Eine Übersicht ausgewählter Ergebnisse der Messungen zeigt Tabelle 29.

Tabelle 29: Prioritäre und sonstige Stoffe und Stoffgruppen in Zu- und Abläufen [$\mu\text{g/l}$] französischer Kläranlagen (ESPERANZA et al. 2008).

Parameter	Zulauf [$\mu\text{g/l}$]	Ablauf [$\mu\text{g/l}$]	UQN [$\mu\text{g/l}$]
DEHP	9,0–31,0	0,42–8,3	1,3
Atrazin	0,006–0,065	0,005–0,078	0,6
Diuron	0,017–2,37	0,018–1,51	0,2
Trichlormethan	0,12–37,0	0,11–0,90	2,5
Dichlormethan	0,11–15,8	0,10–6,9	20
Simazin	0,008–0,11	0,003–0,014	1
Naphthalin	0,020–0,35	0,016–0,41	2,4
Isoproturon	0,003–0,04	0,020–0,057	0,3
Chlorpyrifos	0,012–0,065	0,020–0,066	0,03
Fluoranthen	0,026–0,24	n. n.	0,1
Pentachlorphenole	0,055–0,14	0,060	0,4

Werden die Ablaufkonzentrationen (Maximalwerte) mit den Umweltqualitätsnormen verglichen, so sind die Stoffe DEHP, Diuron und Chlorpyrifos als relevant im Kläranlagenablauf einzustufen.

6.5 Dänemark

NOVANA ist ein Programm des Dänischen Umweltministeriums. Das integrierte Monitoringprogramm berücksichtigt Grundwasser, aquatische und terrestrische Habitate, Organismen, Luftqualität und Punktquellen. Im Zuge des Monitoringprogrammes werden die dänischen Kläranlagen in regelmäßigen Zeitabständen (alle 3 Jahre) auf eine Vielzahl von Stoffen untersucht. Das Untersuchungsprogramm umfasst rund 120 Einzelstoffe und Summenparameter, wobei die Analytik auf Basis von Wochenmischproben erfolgt.

Gemäß den Ergebnissen dieser Untersuchungen sind die Emissionen kommunaler Kläranlagen für die folgenden Stoffe bzw. Stoffgruppen als relevant einzustufen, wenn als Relevanzkriterium das Umweltqualitätsziel herangezogen wird:

- AOX
- Nonylphenole
- Dimethylamin
- LAS
- Quecksilber, Chrom, Kupfer, Zink, Silber und Nickel
- bestimmte polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Die dänische Studie weist Mittelwerte, Minimumwerte (5-Perzentil) und Maximumwerte (95-Perzentil) aus. In der folgenden Tabelle 30 sind jene Stoffe zusammengefasst, bei denen die 95-Perzentilwerte oberhalb des jeweiligen Gütezieles lagen. Dabei wurde für den Vergleich jenes Güteziel aus Richtlinie 2008/105/EG bzw. QZV Chemie OG herangezogen, das den strengeren Wert ausweist. Neben den 95-Perzentilwerten sind auch die Mittelwerte in Zu- und Abläufen angeführt.

Tabelle 30: Ergebnisse der dänischen Studie: Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] prioritärer und sonstiger Stoffe bzw. Stoffgruppen in Zu- und Abläufen dänischer Kläranlagen (NOVANA 2005).

	Parameter	Zulauf [$\mu\text{g/l}$]	Ablauf [$\mu\text{g/l}$]		UQN [$\mu\text{g/l}$]
		Mittelwert	Mittelwert	Maximum	
prioritäre Stoffe	Nonylphenole	1,35	0,52	1,80	0,30
	Quecksilber	0,61	0,59	2,01	0,05
	Benzo(g,h,i)perylen	0,01	0,01	–	0,002
	Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,04	–	0,01	
	Nickel	10,58	16,72	70,36	20,00
sonstige Stoffe	AOX	78,58	36,08	64,70	50,00
	Dimethylamin	94,30	3,70	16,48	10,00
	LAS	825,69	417,35	1.800	270,00
	Chrom	10,09	5,97	14,19	8,50
	Kupfer	48,25	16,17	67,60	1,1–8,8 ¹⁾
	Silber	0,27	–	0,25	0,10
	Zink	213,29	88,54	204,80	7,8–52,0 ¹⁾

¹⁾ Umweltqualitätsziel abhängig von der Wasserhärte

6.6 Schweden

In Schweden wurde eine Untersuchung zur Erfassung der Immissionsituation für die prioritären Stoffe durchgeführt (SWECO 2007). Da die aktuelle Studie die Emissionen prioritärer und sonstiger Stoffe aus kommunalen Kläranlagen thematisiert und die Immissionen nicht weiter behandelt, wird auch auf die schwedische Studie nicht im Detail eingegangen. Fazit der Studie war, dass Nonylphenole, Cadmium und Tributylzinnverbindungen in den schwedischen Gewässern potenziell problematisch sind. In weiteren Untersuchungen sollen Quellen, unter anderem auch Punktquellen wie kommunale Kläranlagen untersucht werden, wobei diese drei Stoffe bzw. Stoffgruppen vorrangig betrachtet werden.

6.7 Zusammenfassung

In verschiedenen europäischen Ländern wurden bzw. werden Untersuchungen zum Vorkommen prioritärer und sonstiger Stoffe in kommunalen Abwässern durchgeführt. Die Ergebnisse sind in Publikationen in Fachzeitschriften oder in Berichten dokumentiert. Sofern veröffentlichte Daten vorlagen und diese Berichte zur Verfügung standen, wurden diese Unterlagen ausgewertet und Stoffe bzw. Stoffgruppen identifiziert, welche in den Abläufen kommunaler Kläranlagen von Relevanz sein könnten. Diese Stoffe sind in Tabelle 31 zusammengefasst.

Tabelle 31: Prioritäre und sonstige Stoffe bzw. Stoffgruppen, die aufgrund von Literaturdaten im Ablauf kommunaler Kläranlagen von Relevanz sein könnten.

prioritäre Stoffe	sonstige Stoffe
Blei	AOX
Cadmium	Bisphenol-A
DEHP	Dimethylamin
Diuron	Chrom
Fluoranthen	Kupfer
Nickel	Silber
Nonylphenole	Zink
Octylphenole	
Quecksilber	
polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	

Die Ergebnisse der Untersuchungen in österreichischen Kläranlagen zeigen eine gute Übereinstimmung mit den angeführten Ergebnissen.

7 LITERATURVERZEICHNIS

- AHEL, M.; GIGER, W. & KOCH, M. (1994): Behaviour of alkylphenol polyethoxylate surfactants in the aquatic environment – I. occurrence and transformation in sewage treatment. *Water Research* 28(5): 1131–1142.
- ALDER, A.C.; SIEGRIST, H.; GUJER, W. & GIGER, W. (1990): Behaviour of NTA and EDTA in biological wastewater treatment. *Water Research* 24(6): 733–742.
- ARCEM – Austrian Research Cooperation on endocrine modulators (2003): Austrian Research Cooperation on Endocrine Modulators, Endbericht 2003. Umweltbundesamt, Wien, <http://www.arcem.at/endbericht.pdf>.
- ATV-DVWK (2000): Arbeitsblatt A131. Bemessung von einstufigen Belebungsanlagen, ed. Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V., GFA-Gesellschaft zur Förderung der Abwassertechnik. ISBN 3-933707-41-2.
- BIRKETT, J.A. & LESTER, J.N. (2003): Endocrine disrupters in wastewater and sludge treatment processes. IWA Publishing. ISBN 1843390310.
- BOLLER, M. (1997): Tracking heavy metals reveals sustainability deficits of urban drainage systems. *Water Science & Technology* 35(9): 77–87.
- BURKHARDT, M.; KUPPER, T.; HEAN, S.; HAAG, R.; SCHMID, P.; KOHLER, M. & BOLLER, M. (2007a): Biocides used in building materials and their leaching behaviour to sewer systems. Conference Proceedings of the 5th IWA specialised conference on Assessment and Control of micropollutants/hazardous substances in water. Micro-pol & Ecohazard 2007, 17-20 June 2007, Frankfurt/Main, Germany. pp. 89–100.
- BURKHARDT, M.; KUPPER, T.; HEAN, S.; SCHMID, P.; HAAG, R.; ROSSI, L. & BOLLER, M. (2007b). Release of biocides from urban areas into aquatic systems. Presented at 6th International conference on sustainable techniques and strategies in urban water management (NOVATECH), Lyon, France. 25–28 June 2007.
- CLARA, M.; STRENN, B.; GANS, O.; MARTINEZ, E.; KREUZINGER, N. & KROISS, H. (2005): Comparing the treatment efficiencies of a membrane bioreactor and conventional wastewater treatment plants regarding the removal of selected pharmaceuticals, fragrances and endocrine disrupting chemicals. *Water Research* 39(19): 4797–4807.
- CLARA, M.; SCHARF, S.; SCHEFFKNECHT, C. & GANS, O. (2007): Occurrence of selected surfactants in untreated and treated sewage. *Water Research* 41(19): 4339–4348.
- DARGNAT, C.; TEIL, M.-J.; CHEVREUIL, M. & BLANCHARD, M. (2009): Phthalate removal throughout wastewater treatment plant: case study on Marne Aval station France. *The Science of The Total Environment* 407(4): 1235–1244.
- ECB – European Chemicals Bureau (2001): European Union Risk Assessment Report – pentabrom diphenylether. Institute for Health and Consumer Protection. European Chemicals Bureau. 1st priority list, volume 5. <http://ecb.jrc.it/esis/>.
- ECB – European Chemicals Bureau (2004): European Union Risk Assessment Report – edetic acid (EDTA). Institute for Health and Consumer Protection. European Chemicals Bureau. 1st priority list, volume 49. <http://ecb.jrc.it/esis/>.

- ESPERANZA, M.; MARTIN, S.; CHOUBERT, J.M.; VALOR, I. & BRUCHET, A. (2008): Assessing the fate of priority substances and pertinent emerging pollutants in wastewater treatment: a challenging task for environmental laboratories. Poster beim IWA World Water Congress, Wien. 5.–9. September 2008.
- EPA – United States Environmental Protection Agency (2001): Report on FQPA Tolerance Reassessment Progress and Interim Risk Management Decision (TRED) for Trichlorfon. Report 738-R-01-009. United States Environmental Protection Agency, Washington D.C., USA.
- FAHLENKAMP, H.; NÖTHE, T.; NOWOTNY, N. & LAUNER, M. (2008): Untersuchungen zum Eintrag und zur Elimination von gefährlichen Stoffen in kommunalen Kläranlagen (Phase 3). Technische Universität Dortmund. Forschungsprojekt des Ministeriums für Umwelt und Naturschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen. Projekt Nr. IV-9-0421720030.
- FEIJTEL, T.C.J.; MATTHIJS, E.; ROTTIERS, A.; RIJS, G.B.J.; KIEWIET, A. & DE NIJS, A. (1995): AIS/CESIO environmental surfactant monitoring programme. Part 1: LAS monitoring study in “de Meern” sewage treatment plant and receiving river “Leidsche Rijn”. Chemosphere 30(6): 1053–1066.
- FUCHS, S.; SCHERER, U.; HILLENBRAND, T.; MARSCHIEDER-WEIDEMANN, F.; BEHRENDT, H. & OPITZ, D. (2002): Schwermetalleinträge in die Oberflächengewässer Deutschlands. UBA-Texte 54/02, Umweltbundesamt, Berlin.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-k/k2225.pdf>.
- GÄLLI, R.; ORT, C. & SCHÄRER, M. (2009): Mikroverunreinigungen in den Gewässern. Bewertung und Reduktion der Schadstoffbelastung aus der Siedlungswasserwirtschaft. Umwelt Wissen Nr. 0917. Bundesamt für Umwelt. Bern.
- IWAG – Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft (2005): Optimiertes Stoffflussmonitoring für die Abwasserentsorgung Wiens (OSMA-Wien); Bericht Phase B; Institut für Wassergüte, Technische Universität Wien und Geo Partner AG Umweltmanagement, Zürich.
- IWAG – Institut für Wassergüte, Ressourcenmanagement und Abfallwirtschaft (2008): Optimiertes Stoffflussmonitoring für die Abwasserentsorgung Wiens (OSMA-Wien); Endbericht Phase C; Technische Universität Wien und Geo Partner AG Umweltmanagement, Zürich.
- JACOBSEN, B.N.; KJERSGAARD, D.; WINTHER-NIELSEN, M. & GUSTAVSON, K. (2004): Combined chemical analyses and biomonitoring at Avedoere wastewater treatment plant in 2002. Water Science and Technology 80(5): 37–43.
- DE JONG, P.; KRAMER, J.F.; SLOTEMA, W.F. & THIRD, K.A. (2005): Exploratory study for wastewater treatment techniques and the European Water Framework Directive. STOWA, Report number 2005-34, Utrecht, The Netherlands.
<http://library.wur.nl/WebQuery/hydrotheek/lang/1831396>.
- KARI, F.G. & GIGER, W. (1996): Speciation and fate of ethylenediaminetetraacetate (EDTA) in municipal wastewater treatment. Water Research 30(1): 122–134.
- KLASEN, J. (2006): Kopflausbefall: Ein immer größeres Problem in Deutschland? Umweltbundesamt Berlin.
http://www.bfr.bund.de/cm/232/kopflausbefall_ein_immer_groesseres_prob_lem_in_deutschland.pdf.

- KOPPE, P. & STOZEK, A. (1999): Kommunales Abwasser. Seine Inhaltsstoffe nach Herkunft, Zusammensetzung und Reaktionen im Reinigungsprozess einschließlich Klärschlämme. 4. Auflage. Vulkan-Verlag, Essen.
- KROISS H.; ZESSNER M. & SCHAAR, W. (1997): Bericht über die Erhebung des Ist-Zustandes der Kläranlagen Wagram West und Gresten sowie Abschätzung der Möglichkeiten zur Verbesserung der Klärschlammqualität. Studie im Rahmen des Niederösterreichischen Klärschlammkonzeptes. Institut für Wassergüte, Technische Universität Wien.
- KROISS, H.; HABERL, R.; BOGENBERGER, M.; NOWAK, O.; ERTL, T.; HABICH, J.; LINDTNER, S.; STARKL, M.; MURNIG, F. & SLEYTR, K. (2001): Benchmarking in der Siedlungswasserwirtschaft – Erfassung und Vergleich von technischen und wirtschaftlichen Kennzahlen in der Siedlungswasserwirtschaft. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt- und Wasserwirtschaft, Wien.
<http://www.lebensministerium.at/publikationen>.
- LAMPERT, C.; STARK, W.; KERNBEIS, R. & BRUNNER, P.H. (1997): Stoffflussanalyse der Siedlungsentwässerung der beiden Regionen Gresten und Grafenwörth. Studie im Rahmen des Niederösterreichischen Klärschlammkonzeptes. Institut für Wassergüte und Abfallwirtschaft, Abteilung Abfallwirtschaft, Technische Universität Wien.
- MATTHIJS, E.; HOLT, M.S.; KIEWIET, A. & RIJS, G.B.J. (1999): Environmental monitoring for linear alkylbenzene sulfonate, alcohol ethoxylate, alcohol ethoxy sulphate, alcohol sulphate and soap. *Environmental Toxicology and Chemistry* 18(11): 2634–2644.
- NOVANA (2005): Punktkilder 2004. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 9, 2005. Kopenhagen, Dänemark.
http://www2.mst.dk/common/Udgivramme/Frame.asp?pg=http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2005/87_%2D7614_%2D865_%2D3/html/ .
- ÖWAV – Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (1999): Kläranlagenzustandsbericht. ÖWAV Arbeitsbehelf 22. Österreichischer Wasser und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- ÖWAV – Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (2002): Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften. Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen, Folge 10. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- ÖWAV – Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband (2006): Kanal- und Kläranlagen-Nachbarschaften. Informationsreihe Betriebspersonal Abwasseranlagen, Folge 14. Österreichischer Wasser- und Abfallwirtschaftsverband, Wien.
- PINNEKAMP, J. & MERKEL, W. (2008): Abschlussbericht zu den Forschungsvorhaben Senkung des Anteils organischer Spurenstoffe in der Ruhr durch zusätzliche Behandlungsstufen auf kommunalen Kläranlagen. Vergabe-Nr. 07/111.1-2, IV-7-042 1 D6-7.
http://www.lanuv.nrw.de/wasser/abwasser/forschung/pdf/Abschlussbericht_IV-7-042_%201_%20D_%206+7.pdf.
- POSEIDON (2004): Assessment of Technologies for the Removal of Pharmaceuticals and Personal Care Products in Sewage and Drinking Water Facilities to Improve the Indirect Potable Water Reuse (POSEIDON). Final report, Contract No. EVK1-CT-2000-00047, August 2004. <http://poseidon.bafg.de/servlet/is/2888/>.

- ROGERS, H. R. (1996): Sources, behaviour and fate of organic contaminants during sewage treatment and in sewage sludges. *The Science of the Total Environment*, 185(1–3): 3–26.
- RUEL, S.M.; CHOUBERT, J.M.; GINESTET, P. & COQUERY, M. (2008): Semi-quantitative analysis of a specific database on priority and emerging substances in wastewater and sludge. Präsentation beim IWA World Water Congress, Wien, 5.–9. September 2008.
- SWECO – Sustainable engineering and design (2007): Nationwide screening of WFD priority substances. SWECO VIAK Screening Report 2007:1 for the Swedish Environmental Protection Agency.
- UBA – Umweltbundesamt Dessau (2007a): Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie – Stoffdatenblätter. Forschungsbericht 203 21 280, UBA-FB 001011, Texte 29/07, Umweltbundesamt.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3312.pdf>.
- UBA – Umweltbundesamt Dessau (2007b): Emissionsminderung für prioritäre und prioritäre gefährliche Stoffe der Wasserrahmenrichtlinie. Forschungsbericht 203 21 280, UBA-FB 001011, Texte 27/07, Umweltbundesamt.
<http://www.umweltdaten.de/publikationen/fpdf-l/3310.pdf>.
- UMWELTBUNDESAMT (1998): Abwasseruntersuchungen auf östrogen wirksame Substanzen – Pilotstudie HKA Wien. Berichte, Bd. BE-0141. Umweltbundesamt, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE141.pdf>.
- UMWELTBUNDESAMT (1999): Scharf, S. & Sattelberger, R.: Hormonell wirksame Substanzen im Zu- und Ablauf von Kläranlagen. Berichte, Bd. BE-0151. Umweltbundesamt, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE151.pdf>.
- UMWELTBUNDESAMT (2001): Sattelberger, R.: Einsatz von Pflanzenschutzmitteln und Biozid-Produkten im nicht land- und forstwirtschaftlichen Bereich. Monographien, Bd M-0146. Umweltbundesamt, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/M146z.pdf>.
- UMWELTBUNDESAMT (2002): Sattelberger, R.: Organozinnverbindungen in der aquatischen Umwelt. Berichte, Bd. BE-0214. Umweltbundesamt, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE214.pdf>.
- UMWELTBUNDESAMT (2004): Moche, W.; Stephan, K. & Thanner, G.: Bromierte Flamm-schutzmittel in der aquatischen Umwelt. Berichte, Bd. BE-0243. Umweltbundesamt, Wien.
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/BE243.pdf>.
- VETHAAK, A.D.; LAHR, J.; SCHRAP, S.M.; BELFROID, A.G.; RIJS, G.B.J.; GERRITSEN, A.; DE BOER, J.; BULDER, A.S.; GRINWIS, G.C.M.; KUIPER, R.V.; LEGLER, J.; MURK, T.A.J.; PEIJNENBURG, W.; VERHAAR, H.J.M. & DE VOOGT, P. (2005): An integrated assessment of oestrogenic contamination and biological effects in the aquatic environment of The Netherlands. *Chemosphere* 59(4): 511–524.
- WATERS, J. & FEIJTEL, T.C.J. (1995): AIS+/CESIO+ Environmental surfactant monitoring programme: Outcome of five national pilot studies on linear alkylbenzene sulphate (LAS). *Chemosphere* 30(10): 1939–1956.

YING, G.-G.; WILLIAMS, B. & KOOKANA, R. (2002): Environmental fate of alkylphenols and alkylphenol ethoxylates – a review. *Environment International* 28(3): 215–226.

ZESSNER, M. (1999): Bedeutung und Steuerung von Nährstoff- und Schwermetallflüssen im Abwasser. Wiener Mitteilungen Band 157. Dissertationsschrift an der Technischen Universität Wien, Fakultät für Bauingenieurwesen.

Rechtsnormen und Leitlinien

Biozidproduktegesetz (BiozidG; BGBl. I Nr. 105/2000 i.d.g.F.): Bundesgesetz, mit dem ein Biozidproduktegesetz erlassen wird sowie das Lebensmittelgesetz 1975 und das Chemikaliengesetz 1996 geändert werden.

Chemikalien-Verbotsverordnung (Chem-VerbotsV; BGBl. II Nr. 477/2003 i.d.g.F.): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über weitere Verbote und Beschränkungen bestimmter gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Fertigwaren.

DIN EN ISO 9562: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung adsorbierbarer organisch gebundener Halogene (AOX) (ISO 9562:2004); Deutsche Fassung EN ISO 9562:2004.

Elektroaltgeräteverordnung (EAG-VO; BGBl. II Nr. 121/2005): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Abfallvermeidung, Sammlung und Behandlung von elektrischen und elektronischen Altgeräten.

Emissionsregisterverordnung (EmRegV-OW; BGBl. II Nr. 29/2009): Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über ein elektronisches Register zur Erfassung aller wesentlichen Belastungen von Oberflächenwasserkörpern durch Emissionen von Stoffen aus Punktquellen.

Entscheidung Nr. 2455/2001/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. November 2001 zur Festlegung der Liste prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik und zur Änderung der Richtlinie 2000/60/EG. ABl. Nr. L 331.

Entscheidung Nr. 2002/657/EG der Kommission vom 12. August 2002 zur Umsetzung der Richtlinie 96/23/EG des Rates betreffend die Durchführung von Analysemethoden und die Auswertung von Ergebnissen. ABl. Nr. L 221/8.

Entscheidung Nr. 2007/356/EG der Kommission vom 21. Mai 2007 über die Nichtaufnahme von Trichlorfon in Anhang I der Richtlinie 91/414/EWG des Rates und den Widerruf der Zulassungen für Pflanzenschutzmittel mit diesem Wirkstoff (bekanntgegeben unter Aktenzeichen K(2007) 2096). ABl. Nr. L 133/42.

Kosmetikverordnung (BGBl. II Nr. 53/2006): Verordnung der Bundesministerin für Gesundheit und Frauen, mit der die Kosmetikverordnung geändert wird.

ÖNORM EN 1483: Wasserbeschaffenheit — Bestimmung von Quecksilber Verfahren mittels Atomabsorptionsspektrometrie.

ÖNORM EN 26777: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von Nitrit – Spektrometrisches Verfahren (ISO 6777:1984).

ÖNORM EN ISO 7150: Wasseruntersuchung; Bestimmung von Ammonium; manuelle spektrophotometrische Methode.

- ÖNORM EN ISO 10301: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung leichtflüchtiger halogener Kohlenwasserstoffe – Gaschromatographische Verfahren (ISO 10301:1997); Deutsche Fassung EN ISO 10301:1997.
- ÖNORM EN ISO 10304-1: Wasserbeschaffenheit – Bestimmung von gelösten Anionen mittels Flüssigkeits-Ionenchromatographie – Teil 1: Bestimmung von Bromid, Chlorid, Fluorid, Nitrat, Nitrit, Phosphat und Sulfat (ISO 10304-1:2007).
- ÖNORM EN ISO 17294-1: Wasserbeschaffenheit – Anwendung der induktiv gekoppelten Plasma-Massenspektrometrie (ICP-MS) – Teil 1: Allgemeine Anleitung (ISO 17294-1:2004); Deutsche Fassung EN ISO 17294-1:2006.
- ÖNORM M 6285: Wasseruntersuchung; Bestimmung von Gesamtcyanid und leicht freisetzbarem Cyanid.
- Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG; BGBl. II Nr. 96/2006 i.d.g.F.). Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über die Festlegung des Zielzustandes für Oberflächengewässer.
- RL 91/271/EWG: Richtlinie des Rates vom 21. Mai 1991 über die Behandlung von kommunalem Abwasser. ABl. Nr. L 135.
- RL 91/338/EWG: Richtlinie des Rates vom 18. Juni 1991 zur zehnten Änderung der Richtlinie 76/769/EWG zur Angleichung der Rechts- und Verwaltungsvorschriften der Mitgliedstaaten für Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen. ABl. Nr. L 186.
- RL 91/414/EWG: Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1991 über das Inverkehrbringen von Pflanzenschutzmitteln. ABl. Nr. L 230.
- RL 2000/60/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. Nr. L 327.
- RL 2002/95/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 27. Januar 2002 zur Beschränkung der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe in Elektro- und Elektronikgeräten. ABl. Nr. L 37/19.
- RL 2003/11/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 6. Februar 2003 zur 24. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates über Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Pentabromdiphenylether, Octabromdiphenylether). ABl. Nr. L 42/45.
- RL 2003/53/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Juni 2003 zur 26. Änderung der Richtlinie 76/769/EWG des Rates über Beschränkungen des Inverkehrbringens und der Verwendung gewisser gefährlicher Stoffe und Zubereitungen (Nonylphenol, Nonylphenoethoxylat und Zement). ABl. Nr. L178/24.
- RL 2008/105/EG: Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik. ABl. Nr. L 348/84.
- VO BGBl. II Nr. 158/2005: Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der die Chemikalien-Verbotsverordnung 2003 geändert wird.

VO Nr. 782/2003/EG: Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 14. April 2003 über das Verbot zinnorganischer Verbindungen auf Schiffen. ABI. Nr. L115/1.

VO Nr. 2032/2003/EG: Verordnung der Kommission vom 4. November 2003 über die zweite Phase des Zehn-Jahres-Arbeitsprogramms gemäß Artikel 16 Absatz 2 der Richtlinie 98/8/EG des Europäischen Parlaments und des Rates über das Inverkehrbringen von Biozid-Produkten und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1896/2000. ABI. Nr. L 307.

VO Nr. 850/2004/EG: Verordnung des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe und zur Änderung der Richtlinie 79/117/EWG. ABI. Nr. L 158/7.

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL; RL 2000/60/EG): Richtlinie des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABI. Nr. L 327. Geändert durch die Entscheidung des Europäischen Parlaments und des Rates 2455/2001/EC. ABI. L 331, 15/12/2001.

Wasserrechtsgesetz 1959 (WRG; BGBl. Nr. 215/1959): Kundmachung der Bundesregierung vom 8. September 1959, mit der das Bundesgesetz, betreffend das Wasserrecht, wiederverlautbart wird.

Wasserstraßen-Verkehrsordnung (WVO; BGBl. II Nr. 248/2005): Verordnung des Bundesministers für Verkehr, Innovation und Technologie betreffend eine Wasserstraßen-Verkehrsordnung.

8 ANHÄNGE

8.1 Anhang 1: Stoffliste mit Angabe der Umweltqualitätsnormen

Prioritäre und prioritär gefährliche Stoffe

Nr.	Schadstoff	CAS	UQN [$\mu\text{g/l}$]	
			QZV Chemie OG	RL 2008/105/EG ¹⁾
1	Alachlor	15972-60-8	3	0,3
2	Anthracen	120-12-7	0,2	0,1
3	Atrazin	1912-24-9	1	0,6
4	Benzol	71-43-2	80	10
5	Bromierte Diphenylether	32534-81-9	0,5	0,0005
6	Cadmium und -verbindungen	7440-43-9	1	$\leq 0,08-0,25^{2),3)}$
7	C ₁₀₋₁₃ Chloralkane	85535-84-8	–	0,4
8	Chlorfenvinphos	470-90-6	0,1	0,1
9	Chlorpyrifos (-ethyl, -methyl)	2921-88-2	0,03	0,03
10	1,2-Dichlorethan	107-06-2	10	10
11	Dichlormethan	75-09-2	20	20
12	Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	117-81-7	8	1,3
13	Diuron	330-54-1	0,2	0,2
14	Endosulfan	115-29-7	0,005	0,005
15	Fluoranthen	206-44-0	–	0,1
16	Hexachlorbenzol	118-74-1	0,03	0,01
17	Hexachlorbutadien	87-68-3	0,1	0,1
18	Hexachlorcyclohexan (HCH)	608-73-1	0,05	0,02
19	Isoproturon	34123-59-6	0,3	0,3
20	Blei und Bleiverbindungen	7439-97-6	10,2	7,2 ³⁾
21	Quecksilber und -verbindungen	7439-97-6	1	0,05 ³⁾
22	Naphthalin	91-20-3	2,4	2,4
23	Nickel und Nickelverbindungen	7440-02-0	–	20 ³⁾
24	Nonylphenole	104-40-5	0,3	0,3
25	Octylphenole	140-66-9	1	0,1
26	Pentachlorbenzol	608-93-5	1	0,007
27	Pentachlorphenol	87-86-5	2	0,4
28	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe			
	Benzo(a)pyren	50-32-8	–	0,05
	Benzo(b)fluoroanthen	205-99-2	–	$\Sigma = 0,03$
	Benzo(k)fluoroanthen	207-08-9	–	
	Benzo(g,h,i)perylen	191-24-2	–	$\Sigma = 0,002$
	Indeno(1,2,3-cd)-pyren	193-39-5	–	

Nr.	Schadstoff	CAS	UQN [$\mu\text{g/l}$]	
			QZV Chemie OG	RL 2008/105/EG ¹⁾
29	Simazin	122-34-9	1	1
30	Tributylzinnverbindungen (Kation)	36643-28-4	–	0,0002
31	Trichlorbenzole	12002-48-1	0,4	0,4
32	Trichlormethan (Chloroform)	67-66-3	12	2,5
33	Trifluralin	1582-09-8	0,1	0,03

¹⁾ UQN aus RL 2008/105/EG sind ausgedrückt als Jahresdurchschnittswerte (JD-UQN)

²⁾ UQN für Cadmium und Cadmiumverbindungen ist abhängig von der Wasserhärte

³⁾ UQN bezieht sich auf die gelöste Phase einer Wasserprobe (Filtration bei 0,45 μm)

Weitere gemeinschaftsrechtlich geregelte Stoffe (sonstige Stoffe)

Nr.	Schadstoff	CAS	UQN [$\mu\text{g/l}$]	
			QZV Chemie OG	RL 2008/105/EG ¹⁾
1a	Tetrachlormethan	56-23-5	12	12
2a	Aldrin	309-00-2	0,01	
3a	Dieldrin	60-57-1	0,01	
4a	Endrin	72-20-8	0,005	$\Sigma = 0,01$
5a	Isodrin	465-73-6	0,005	
6a	DDT insgesamt	–	0,025	0,025
7a	p-p'-DDT	50-29-3	0,01	0,01
8a	Tetrachlorethen	127-18-4	10	10
9a	Trichlorethen	79-01-6	10	10

¹⁾ UQN aus RL 2008/105/EG sind ausgedrückt als Jahresdurchschnittswerte (JD-UQN)

Zusätzliche in der QZV Chemie OG geregelte Stoffe (sonstige Stoffe)

Nr.	Schadstoff	CAS	UQN [$\mu\text{g/l}$]
1b	Ammonium	–	F(T,pH) ¹⁾
2b	AOX	–	50
3b	Benzidin	92-87-5	0,1
4b	Benzylchlorid	100-44-7	10
5b	Bisphenol-A	80-05-7	1,6
6b	Chlordane	57-74-9	0,002
7b	Chloressigsäure	79-11-8	0,6
8b	Cyanid leicht freisetzbar	57-12-5	5
9b	Dibutylzinnverbindungen	–	0,01
10b	1,2-Dichlorethen	540-59-0	10
11b	2,4-Dichlorphenol	120-83-2	2
12b	2,5-Dichlorphenol	583-78-8	20
13b	1,3-Dichlor-2-propanol	96-23-1	10
14b	Dimethylamin	124-40-3	10

Nr.	Schadstoff	CAS	UQN [$\mu\text{g/l}$]
15b	Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	60-00-4	50
16b	Ethylbenzol	100-41-4	10
17b	Fluorid	–	1.000
18b	Heptachlor	76-44-8	0,004
19b	Isopropylbenzol	98-82-8	22
20b	Lineare Alkylbenzolsulfonate (LAS)	68411-30-3	270
21b	Mevinphos	7786-34-7	0,01
22b	Nitrit	–	10–300 ²⁾
23b	Nitrilotriessigsäure (NTA)	139-13-9	50
24b	Omethoat	1113-02-6	0,01
25b	Pentachlornitrobenzol	82-68-8	0,4
26b	Phosalon	2310-17-0	0,1
27b	Sebuthylazin	7286-69-3	0,01
28b	Trichlorfon	52-68-6	0,01
29b	Xylol	1330-20-7	10
30b	Arsen	7440-38-2	24 ³⁾
31b	Chrom	7440-47-3	8,5 ³⁾
32b	Kupfer	7440-50-8	1,1–8,8 ^{2), 3)}
33b	Selen	7782-49-2	5,3 ³⁾
34b	Silber	7440-22-4	0,1 ³⁾
35b	Zink	7440-66-6	7,8–52 ^{2), 3)}

¹⁾ UQN abhängig von Temperatur und pH-Wert

²⁾ UQN abhängig von der Chlorid- bzw. Calciumkarbonatkonzentration

³⁾ UQN bezieht sich auf die gelöste Phase einer Wasserprobe (Filtration bei 0,45 μm)

8.2 Anhang 2: Bestimmungs- (BG) und Nachweisgrenzen (NG) der untersuchten Stoffe in µg/l

Prioritäre und prioritär gefährliche Stoffe

Nr.	Schadstoff	Modul 1		Modul 2			
		Zulauf	Ablauf	Zulauf	Ablauf		
		BG	NG	BG	NG	BG	NG
1	Alachlor	0,2	0,1	0,05	0,025	0,05	0,025
2	Anthracen	0,05	0,025	0,05	0,025		
3	Atrazin	0,034–0,17	0,013–0,056	0,01–0,04	0,0034–0,013	0,0084–0,24	0,0028–0,0072
4	Benzol	0,879	0,351	0,879	0,351	–	–
5	Polybromierte Diphenylether						
	BDE 47	1,4	0,0059–0,035	1,4	0,011–0,14	1,6–2,0	0,0012–0,11
	BDE 99	0,81	0,006–0,065	0,81	0,018–0,22	1,1–2,4	0,0022–0,17
	BDE 100	0,24	0,004–0,045	0,24	0,013–0,13	0,24–0,49	0,0015–0,16
	BDE 153	0,45	0,009–0,083	0,45	0,016–0,14	0,31–1,9	0,0052–0,22
	BDE 154	0,37	0,0062–0,051	0,37	0,017–0,20	0,14–0,59	0,0028–0,30
6	Cadmium und -verbindungen	0,5	0,2	0,5	0,2	0,1	0,01
7	C _{10–13} Chloralkane	0,1	–	0,1	–	–	–
8	Chlorfenvinphos	0,021–0,027	0,0085–0,011	0,011–0,014	0,0042–0,0054	0,02–0,022	0,0087–0,0088
9	Chlorpyrifos (-ethyl, -methyl)	0,02	0,01	0,005	0,0025	0,005	0,0025
10	1,2-Dichlorethan	1,252	0,501	1,252	0,501	–	–
11	Dichlormethan	1,328	0,531	1,328	0,531	–	–
12	Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	0,61–0,75	0,23–0,28	0,12–0,26	0,032–0,07	–	–
13	Diuron	0,023–0,030	0,0093–0,012	0,012–0,015	0,0047–0,0061	0,0063–0,015	0,0016–0,0041
14	Endosulfan	0,1	0,05	0,01	0,005	0,01	0,005
15	Fluoranthren	0,2	0,1	0,2	0,1	–	–
16	Hexachlorbenzol	0,02	0,01	0,005	0,0025	0,005	0,0025

Nr.	Schadstoff	Modul 1				Modul 2	
		Zulauf		Ablauf		Ablauf	
		BG	NG	BG	NG	BG	NG
17	Hexachlorbutadien	0,02 (0,061–0,094) ¹⁾	0,01 (0,016–0,025) ¹⁾	0,005 (0,030–0,042) ¹⁾	0,0025 (0,0080–0,011) ¹⁾	0,005	0,0025
18	Hexachlorcyclohexan (HCH)	0,08	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01
19	Isoproturon	0,019–0,14	0,013–0,048	0,0092–0,023	0,0031–0,0077	0,012–0,026	0,0040–0,0085
20	Blei und Bleiverbindungen	1,4	0,7	1,4	0,7	–	–
21	Quecksilber und -verbindungen	0,25	0,13	0,25	0,13	0,1	0,05
22	Naphthalin	0,05	0,025	0,05	0,025	–	–
23	Nickel und -verbindungen	2,3	1,1	2,3	1,1	1	0,4
24	Nonylphenole	0,18	0,09	0,09	0,045	0,09	0,045
25	Octylphenole	0,16	0,08	0,08	0,04	0,08	0,04
26	Pentachlorbenzol	0,04	0,02	0,01	0,005	0,01	0,005
27	Pentachlorphenol	1,3–1,7	0,34–0,45	0,66–1,4	0,17–0,38	–	–
28	PAK						
	Benzo(a)pyren	0,05	0,025	0,05	0,025	–	–
	Benzo(b)fluoroanthen	0,03	0,015	0,03	0,015	–	–
	Benzo(k)fluoroanthen	0,03	0,015	0,03	0,015	–	–
	Benzo(g,h,i)perylene	0,002	0,001	0,002	0,001	–	–
	Indeno(1,2,3-cd)-pyren	0,002	0,001	0,002	0,001	–	–
29	Simazin	0,15–0,68	0,037–0,17	0,044–0,18	0,011–0,045	0,041–0,090	0,010–0,023
30	Tributylzinnverb. (Kation)	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001
31	Trichlorbenzole	0,24 (0,22–0,31) ¹⁾	0,12 (0,057–0,082) ¹⁾	0,06 (0,11–0,15) ¹⁾	0,03 (0,029–0,04) ¹⁾	0,06	0,03
32	Trichlormethan (Chloroform)	1,483	0,593	1,483	0,593	–	–
33	Trifluralin	0,02	0,01	0,005	0,0025	0,005	0,0025

¹⁾ mittels Multielementanalyse

Weitere gemeinschaftsrechtlich geregelter Stoffe (sonstige Stoffe)

Nr.	Schadstoff	Modul 1				Modul 2	
		Zulauf		Ablauf		Ablauf	
		BG	NG	BG	NG	BG	NG
1a	Tetrachlormethan	1,594	0,638	1,594	0,638	–	–
2a	Aldrin	0,02	0,01	0,005	0,0025	0,005	0,0025
3a	Dieldrin	0,05	0,025	0,01	0,005	0,01	0,005
4a	Endrin	0,05	0,025	0,01	0,005	0,01	0,005
5a	Isodrin	0,02	0,01	0,005	0,0025	0,005	0,0025
6a	DDT insgesamt	0,06	0,03	0,015	0,008	0,015	0,008
7a	p-p'-DDT	0,02	0,01	0,005	0,0025	0,005	0,0025
8a	Tetrachlorethen	1,622	0,649	1,622	0,649	–	–
9a	Trichlorethen	1,463	0,585	1,463	0,585	–	–

Zusätzliche in der QZV Chemie OG geregelte Stoffe (sonstige Stoffe)

Nr.	Schadstoff	Modul 1				Modul 2	
		Zulauf		Ablauf		Ablauf	
		BG	NG	BG	NG	BG	NG
1b	Ammonium	–	–	–	–	–	–
2b	AOX	2	–	2	–	2	–
3b	Benzidin	0,1	0,05	0,1	0,05	–	–
4b	Benzylchlorid	3,5–7,4	0,94–2	2,1–4,4	0,57–1,2	–	–
5b	Bisphenol-A	0,1	0,05	0,05	0,025	–	–
6b	Chlordane	0,016	0,008	0,004	0,002	0,004	0,002
7b	Chloressigsäure	0,5	0,2	0,5	0,2	–	–
8b	Cyanid leicht freisetzbar	1,6	0,9	1,6	0,9	–	–
9b	Dibutylzinnverbindungen	0,002	0,001	0,0002	0,0001	0,0002	0,0001
10b	1,2-Dichlorethen	1,252	0,501	1,252	0,501	–	–
11b	2,4-Dichlorphenol	0,91–1,3	0,24–0,35	0,55–0,97	0,14–0,25	–	–
12b	2,5-Dichlorphenol	0,92–1,4	0,24–0,36	0,55–0,98	0,14–0,26	–	–
13b	1,3-Dichlor-2-propanol	15–22	4,1–6,1	8,8–13	2,4–3,8	–	–
14b	Dimethylamin	2	1	2	1	–	–
15b	EDTA	1	0,5	1	0,5	1	0,5
16b	Ethylbenzol	0,867	0,347	0,867	0,347	–	–
17b	Fluorid	30	15	30	15	–	–
18b	Heptachlor	0,016	0,008	0,004	0,002	0,004	0,002
19b	Isopropylbenzol	0,862	0,345	0,862	0,345	–	–
20b	LAS	100	50	100	50	–	–
21b	Mevinphos	0,038–0,055	0,011–0,016	0,019–0,027	0,0055–0,0078	0,013–0,019	0,0037–0,0054
22b	Nitrit	–	–	–	–	–	–
23b	Nitritotriessigsäure (NTA)	1	0,5	1	0,5	1	0,5

Nr.	Schadstoff	Modul 1				Modul 2	
		Zulauf		Ablauf		Ablauf	
		BG	NG	BG	NG	BG	NG
24b	Omethoat	0,054–0,35	0,015–0,10	0,027–0,22	0,0079–0,074	0,0096–0,030	0,0027–0,0085
25b	Pentachlornitrobenzol	0,08	0,04	0,02	0,01	0,02	0,01
26b	Phosalon	0,017–0,16	0,012–0,062	0,0091–0,021	0,0036–0,0082	0,0081–0,020	0,0033–0,0081
27b	Sebuthylazin	–	–	–	–	0,0028–0,007	0,0007–0,0039
28b	Trichlorfon	0,3	0,15	0,3	0,15	0,3	0,15
29b	Xylol	1,743	0,697	1,743	0,697	–	–
30b	Arsen	0,5	0,05	0,5	0,05	–	–
31b	Chrom	2	0,9	2	0,9	–	–
32b	Kupfer	1,5	0,8	1,5	0,8	0,2/1	0,01/0,3
33b	Selen	5	0,4	5	0,4	5	0,2/0,3
34b	Silber	0,05	0,02	0,05	0,02	–	–
35b	Zink	7,6	3,8	7,6	3,8	2/5	1/2,5

8.3 Anhang 3: Zusammenfassung der Ergebnisse von Modul 1

Für die Berechnung der Mittelwerte wurden Messwerte kleiner NG gleich null gesetzt und Messwerte kleiner BG wurden mit dem Mittelwert aus NG und BG berücksichtigt.

Medianwerte nur für Parameter bestimmt, für die zumindest 8 Messwerte größer BG vorlagen.

Parameter	Zulauf			Ablauf		
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [$\mu\text{g/l}$] Min-Max	Mittelwert [$\mu\text{g/l}$] (Median)	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [$\mu\text{g/l}$] Min-Max	Mittelwert [$\mu\text{g/l}$] (Median)
1 Alachlor	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
2 Anthracen	15 (3)	n. n.–0,38	0,05 (–)	15 (0)	–	–
3 Atrazin	15 (1)	n. n.–0,29	0,029 (–)	15 (2)	n. n.–0,12	0,01 (–)
4 Benzol	15 (1)	n. n.–1180	79 (–)	15 (0)	n. n.–< BG	0,041
5 Polybromierte Diphenylether						
BDE 47	15 (9)	n. n.–0,0056	0,0015 (0,00071)	15 (2)	n. n.–0,0016	0,00048 (–)
BDE 99	15 (14)	n. n.–0,0055	0,0018 (0,0013)	15 (2)	n. n.–0,0018	0,00037 (–)
BDE 100	15 (7)	n. n.–0,0011	0,00029 (–)	15 (2)	n. n.–0,00030	0,000065 (–)
BDE 153	15 (6)	n. n.–0,00055	0,00026 (–)	15 (1)	n. n.–0,00024	0,000016 (–)
BDE 154	15 (3)	n. n.–0,00051	0,00017 (–)	15 (1)	n. n.–0,00020	0,000013 (–)
6 Cadmium und -verbindungen	15 (6)	< BG–4,8	0,76 (–)	15 (0)	alle < BG	0,35 (–)
7 C _{10–13} Chloralkane	15 (0)	< BG–< 1,3	0,35 (–)	15 (0)	alle < BG	0,075
8 Chlorfenvinphos	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
9 Chlorpyrifos (-ethyl, -methyl)	15 (5)	n. n.–0,48	0,049 (-y)	15 (2)	n. n.–0,019	0,0021 (–)
10 1,2-Dichlorethan	15 (1)	n. n.–1,65	0,11 (–)	15 (0)	–	–
11 Dichlormethan	15 (0)	n. n.–< BG	0,12 (–)	15 (2)	n. n.–43	3,6 (–)
12 Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	15 (15)	3,4–34	18 (18)	15 (13)	< BG–6,6	1,6 (0,5)
13 Diuron	15 (8)	n. n.–0,73	0,09 (0,05)	15 (13)	n. n.–0,21	0,06 (0,041)

Parameter	Zulauf			Ablauf		
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)
14 Endosulfan						
alpha-Endosulfan	15 (0)	-	-	15 (0)	-	-
beta-Endosulfan	15 (0)	-	-	15 (0)	-	-
15 Fluoranthen	15 (10)	n. n.–0,74	0,17 (0,08)	15 (0)	-	-
16 Hexachlorbenzol	15 (0)	-	-	15 (0)	-	-
17 Hexachlorbutadien	15 (0)	-	-	15 (0)	-	-
18 Hexachlorcyclohexan (HCH)						
alpha-HCH	15 (0)	-	-	15 (0)	-	-
beta-HCH	15 (0)	-	-	15 (0)	-	-
gamma-HCH	15 (0)	-	-	15 (0)	n. n.–< BG	0,00050
delta-HCH	15 (0)	-	-	15 (0)	-	-
19 Isoproturon	15 (0)	n. n.< BG	0,02 (-)	15 (3)	n. n.–0,05	0,012 (-)
20 Blei und Bleiverbindungen	15 (15)	1,6–44	9,5 (5,2)	15 (9)	< BG–3,7	1,2 (1,1)
21 Quecksilber und -verbindungen	15 (1)	n. n.–9,5	0,72 (-)	14 (0)	n. n.–< BG	0,038 (-)
22 Naphthalin	15 (4)	n. n.–105	7,0 (-)	15 (0)	-	-
23 Nickel und -verbindungen	15 (15)	3,2–91	16 (8,3)	15 (14)	< BG–41	8,1 (4,5)
24 Nonylphenole	15 (15)	0,12–3,9	1,2 (0,61)	15 (14)	n. n.–1,8	0,34 (0,22)
25 Octylphenole	15 (2)	n. n.–0,91	0,11 (-)	15 (0)	n. n.–< BG	0,014 (-)
26 Pentachlorbenzol	15 (0)	-	-	15 (0)	-	-
27 Pentachlorphenol	15 (0)	-	-	15 (0)	-	-

Parameter	Zulauf			Ablauf		
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)
28 PAK						
Benzo(a)pyren	15 (3)	n. n.–0,12	0,017 (–)	15 (0)	–	–
Benzo(b)fluoranthen	15 (6)	n. n.–0,089	0,018 (–)	15 (0)	–	–
Benzo(k)fluoranthen	15 (6)	n. n.–0,041	0,0074 (–)	15 (0)	–	–
Benzo(g,h,i)perylen	15 (14)	n. n.–0,11	0,016 (0,0075)	15 (1)	n. n.–0,0024	0,00016 (–)
Indeno(1,2,3-cd)-pyren	15 (14)	n. n.–0,049	0,0087 (0,0059)	15 (0)	–	–
29 Simazin	15 (0)	n. n.–< BG	0,075 (–)	15 (1)	n. n.–0,22	0,022 (–)
30 Tributylzinverb. (Kation)	15 (5)	n. n.–0,0052	0,0018	15 (6)	n. n.–0,00043	0,00020 (–)
31 Trichlorbenzole						
1,2,3- Trichlorbenzol	15 (0)	-	-	15 (0)	–	–
1,2,4-Trichlorbenzol	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
1,3,5-Trichlorbenzol	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
32 Trichlormethan (Chloroform)	15 (8)	n. n.–16	3,0 (1,7)	15 (1)	n. n.–6,8	0,80 (–)
33 Trifluralin	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
1a Tetrachlormethan	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
2a Aldrin	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
3a Dieldrin	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
4a Endrin	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
5a Isodrin	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
6a DDT insgesamt	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
7a p-p'-DDT	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
8a Tetrachlorethen	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
9a Trichlorethen	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–

Parameter	Zulauf			Ablauf		
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)
1b Ammonium	–	–	–	15 (15)	34–2.900	540 (150)
2b AOX	15 (15)	36–5.100	420 (63)	15 (15)	28–3.300	270 (53)
3b Benzidin	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
4b Benzylchlorid	15 (0)	n. n.–< BG	0,23 (–)	15 (0)	n. n.–< BG	2,1 (–)
5b Bisphenol-A	15 (15)	0,22–13	2,9 (0,92)	14 (10)	n. n.–0,05	0,14 (0,096)
6b Chlordane						
cis-Chlordan	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
trans-chlordan	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
7b Chloressigsäure	15 (2)	n. n.–120	8,2	15 (1)	n. n.–80	5,3 (–)
8b Cyanid leicht freisetzbar	15 (1)	n. n.–7,7	0,51	15 (0)	–	–
9b Dibutylzinnverbindungen	15 (14)	n. n.–0,059	0,015 (0,0097)	15 (15)	0,00038–0,0027	0,0011 (0,00090)
10b 1,2-Dichlorethen						
trans-1,2-Dichlorethen	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
cis-1,2-Dichlorethen	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
11b 2,4-Dichlorphenol	15 (1)	n. n.–22	1,5 (–)	15 (0)	n. n.–< BG	0,023 (–)
12b 2,5-Dichlorphenol	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
13b 1,3-Dichlor-2-propanol	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
14b Dimethylamin	15 (15)	11–190	47 (38)	15 (0)	–	–
15b EDTA	15 (15)	5,7–330	73 (38)	15 (15)	6,5–310	67 (26)
16b Ethylbenzol	15 (1)	n. n.–19	1,3 (–)	15 (0)	–	–
17b Fluorid	15 (15)	72–22.000	1.900 (200)	15 (15)	52–1.200	230 (120)
18b Heptachlor	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
19b Isopropylbenzol	15 (1)	n. n.–1,1	0,072 (–)	15 (0)	–	–
20b LAS	15 (15)	170–5.000	2.200 (1.900)	15 (0)	–	–
21b Mevinphos	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–

Parameter	Zulauf			Ablauf		
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)
22b Nitrit	15 (15)	2,2–78	21 (9,1)	15 (3)	n. n.–8,2	1,4 (–)
23b Nitritotriessigsäure (NTA)	15 (15)	71–830	440 (430)	14 (14)	2,0–310	36 (9,2)
24b Omethoat	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
25b Pentachlornitrobenzol	15 (0)	–	–	15 (0)	–	–
26b Phosalon	15 (1)	n. n.–0,16	0,011 (–)	15 (3)	n. n.–0,023	0,0028 (–)
27b Sebuthylazin	–	–	–	15 (0)	–	–
28b Trichlorfon	15 (0)	–	–	15 (0)	n. n.–< BG	0,11
29b Xylole						
m-,p-Xylole	15 (1)	n. n.–41	2,8 (–)	15 (0)	–	–
o-Xylole	15 (1)	n. n.–34	2,3 (–)	15 (0)	–	–
30b Arsen	15 (15)	0,76–3,9	2,0 (1,4)	15 (15)	0,65–3,0	1,32 (1,1)
31b Chrom	15 (15)	1,7–19	6,9 (5,9)	15 (15)	1,0–6,2	2,6 (2,3)
32b Kupfer	15 (15)	6,2–78	32 (24)	15 (15)	3,5–12	5,6 (4,9)
33b Selen	15 (2)	n. n.–17	4,2 (–)	15 (2)	n. n.–11	3,3 (–)
34b Silber	15 (12)	< BG–1,6	0,22 (0,11)	15 (2)	< BG–0,22	0,050 (0,035)
35b Zink	15 (15)	98–610	200 (150)	15 (15)	17–72	38 (32)

8.4 Anhang 4: Zusammenfassung der Ergebnisse von Modul 2 (Ablaufmonitoring)

Für die Berechnung der Mittelwerte wurden Messwerte kleiner NG gleich null gesetzt und Messwerte kleiner BG wurden mit dem Mittelwert aus NG und BG berücksichtigt.

Medianwerte nur für Parameter bestimmt, für die zumindest die Hälfte der Messwerte größer BG vorlagen.

Parameter	Ablauf				
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Minimum [$\mu\text{g/l}$]	Maximum [$\mu\text{g/l}$]	Mittelwert [$\mu\text{g/l}$]	Median [$\mu\text{g/l}$]
1 Alachlor	17 (0)	–	–	–	–
3 Atrazin	18 (2)	n. n.	0,051	0,0076	–
5 Polybromierte Diphenylether					
BDE 47	45 (0)	n. n.	< BG	0,0008	–
BDE 99	45 (2)	n. n.	0,0018	0,00068	–
BDE 100	45 (2)	n. n.	0,00028	0,00012	–
BDE 153	45 (2)	n. n.	0,00096	0,000022	–
BDE 154	45 (1)	n. n.	0,0003	0,000086	–
6 Cadmium und -verbindungen	45 (0)	n. n.	< BG	0,05	–
8 Chlorfenvinphos	18 (0)	n. n.	< BG	0,00086	–
9 Chlorpyrifos (-ethyl, -methyl)	18 (9)	n. n.	0,033	0,006	0,0038
12 Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	44 (21)	n. n.	0,59	0,18	–
13 Diuron	45 (35)	n. n.	0,65	0,078	0,04
14 Endosulfan					
alpha-Endosulfan	17 (0)	n. n.	< BG	0,00021	–
beta-Endosulfan	17 (0)	–	–	–	–
16 Hexachlorbenzol	17 (0)	–	–	–	–

Parameter	Ablauf				
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Minimum [µg/l]	Maximum [µg/l]	Mittelwert [µg/l]	Median [µg/l]
18 Hexachlorcyclohexan (HCH)					
alpha-HCH	17 (0)	–	–	–	–
beta-HCH	17 (0)	–	–	–	–
gamma-HCH	17 (4)	n. n.	0,0081	0,0038	–
delta-HCH	17 (0)	–	–	–	–
19 Isoproturon	18 (10)	n. n.	0,17	0,032	0,019
21 Quecksilber und -verbindungen	45 (0)	–	–	–	–
23 Nickel und -verbindungen	45 (45)	1,0	16	4,7	3,6
24 Nonylphenole	45 (33)	n. n.	1,1	0,22	0,14
26 Pentachlorbenzol	17 (0)	–	–	–	–
27 Pentachlorphenol	17 (0)	n. n.	< BG	0,044	–
29 Simazin	18 (1)	n. n.	0,10	0,0090	–
30 Tributylzinnverb. (Kation)	45 (15)	n. n.	0,002	0,00022	–
33 Trifluralin	17 (0)	–	–	–	–
2a Aldrin	17 (0)	–	–	–	–
3a Dieldrin	17 (0)	–	–	–	–
4a Endrin	17 (0)	–	–	–	–
5a Isodrin	17 (0)	–	–	–	–
6a DDT insgesamt	17 (0)	–	–	–	–
7a p-p'-DDT	17 (0)	–	–	–	–
2b AOX	45 (45)	2	204	53	38
6b Chlordane					
cis-Chlordan	17 (0)	–	–	–	–
trans-chlordan	17 (0)	n. n.	< BG	0,000088	–
15b EDTA	45 (45)	9	170	64	58

Parameter	Ablauf				
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Minimum [$\mu\text{g/l}$]	Maximum [$\mu\text{g/l}$]	Mittelwert [$\mu\text{g/l}$]	Median [$\mu\text{g/l}$]
18b Heptachlor	17 (0)	–	–	–	–
21b Mevinphos	18 (1)	n. n.	0,2	0,011	–
23b Nitrilotriessigsäure (NTA)	45 (45)	1,9	410	49	14
24b Omethoat	18 (0)	–	–	–	–
25b Pentachlornitrobenzol	17 (0)	–	–	–	–
26b Phosalon	18 (0)	–	–	–	–
27b Sebuthylazin	27 (0)	–	–	–	–
28b Trichlorfon	45 (0)	n. n.	< BG	0,005	–
32b Kupfer	45 (45)	1,3	56	7,7	3,8
33b Selen	45 (5)	n. n.	32	4,5	–
35b Zink	45 (45)	3	55	30	31

8.5 Anhang 5: Zusammenfassung der Ergebnisse von Modul 2 (Bilanzierung)

Für die Berechnung der Mittelwerte wurden Messwerte kleiner NG gleich null gesetzt und Messwerte kleiner BG wurden mit dem Mittelwert aus NG und BG berücksichtigt.

Medianwerte nur für Parameter bestimmt, für die zumindest die Hälfte der Messwerte größer BG vorlagen.

Bilanzierungsanlage 1: Zu- und Ablaufkonzentrationen

Parameter	Zulauf			Ablauf		
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)
5 Polybromierte Diphenylether						
BDE 47	5 (1)	0,001–0,0022	0,0012 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	0,0004 (–)
BDE 99	5 (1)	0,00066–0,0027	0,0011 (–)	5 (1)	n. n.–0,0016	0,00045 (–)
BDE 100	5 (1)	0,00018–0,0005	0,00024 (–)	5 (1)	n. n.–0,00034	0,0001 (–)
BDE 153	5 (1)	n. n.–0,00034	0,0001 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	0,000032 (–)
BDE 154	5 (1)	0,000079–0,00021	0,00011 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	0,000015 (–)
6 Cadmium und -verbindungen	5 (4)	0,055–0,12	0,099 (0,11)	5 (0)	alle < BG	0,055 (–)
12 Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	5 (5)	4,1–13	9,3 (9,3)	5 (4)	0,15–1,3	0,45 (0,26)
13 Diuron	5 (5)	0,037–0,079	0,056 (0,053)	5 (5)	0,027–0,064	0,045 (0,045)
21 Quecksilber und -verbindungen	5 (0)	–	–	5 (0)	–	–
23 Nickel und -verbindungen	5 (5)	1,9–2,4	2,3 (2,4)	5 (5)	0,8–1,4	1,1 (1,2)
24 Nonylphenole	5 (5)	0,37–2,4	0,86 (0,5)	5 (5)	0,13–0,22	0,18 (0,18)
30 Tributylzinnverb. (Kation)	5 (1)	n. n.–0,0022	0,0013 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	0,00003 (–)
2b AOX	5 (5)	14–43	30 (35)	5 (5)	20–67	42 (32)
15b EDTA	5 (5)	8,6–13	10 (10)	5 (5)	6,1–9,1	7,9 (7,8)
23b Nitritotriessigsäure (NTA)	5 (5)	230–310	288 (300)	5 (5)	0,74–110	32 (13)
27b Sebuthylazin	5 (0)	–	–	5 (0)	–	–
28b Trichlorfon	5 (0)	–	–	5 (0)	–	–
32b Kupfer	5 (5)	18–33	26 (26)	5 (5)	1,3–3,5	2,3 (2,2)
33b Selen	5 (0)	alle < BG	2,53 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	1,5 (–)
35b Zink	5 (5)	89–140	110 (110)	5 (5)	6–21	10 (7,3)

Bilanzierungsanlage 2: Zu- und Ablaufkonzentrationen

Parameter	Zulauf			Ablauf		
	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)	Anzahl Messwerte (davon über BG)	Bereich [µg/l] Min-Max	Mittelwert [µg/l] (Median)
5 Polybromierte Diphenylether						
BDE 47	5 (2)	< BG–0,0025	0,0015 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	0,0006 (–)
BDE 99	5 (3)	n. n.–0,0031	0,0014 (0,0013)	5 (0)	n. n.–< BG	0,00013 (–)
BDE 100	5 (2)	< BG–0,00064	0,00032 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	0,000034 (–)
BDE 153	5 (1)	n. n.–0,00041	0,00019 (–)	5 (0)	–	–
BDE 154	5 (2)	n. n.–0,00031	0,00011 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	0,000015 (–)
6 Cadmium und -verbindungen	5 (2)	< BG–0,12	0,079 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	0,044 (–)
12 Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	5 (5)	4,4–8,8	5,8 (5,4)	5 (1)	< BG–0,28	0,18 (–)
13 Diuron	5 (3)	< BG–0,039	0,025 (0,027)	5 (5)	0,02–0,042	0,031 (0,032)
21 Quecksilber und -verbindungen	5 (0)	–	–	5 (0)	–	–
23 Nickel und -verbindungen	5 (2)	< BG–1,3	0,82 (–)	5 (0)	–	–
24 Nonylphenole	5 (5)	0,66–1,5	1,0 (0,92)	5 (5)	0,41–0,74	0,50 (0,46)
30 Tributylzinnverb. (Kation)	5 (2)	n. n.–0,0039	0,002 (–)	5 (0)	n. n.–< BG	0,00012 (–)
2b AOX	5 (5)	30–68	48 (44)	5 (5)	26–33	30 (31)
15b EDTA	5 (5)	49–79	60 (52)	5 (5)	38–72	51 (48)
23b Nitritotriessigsäure (NTA)	5 (5)	160–350	230 (220)	5 (5)	1,7–120	45 (46)
27b Sebuthylazin	5 (0)	–	–	5 (0)	–	–
28b Trichlorfon	5 (0)	–	–	5 (0)	–	–
32b Kupfer	5 (5)	13–18	16 (17)	5 (5)	2,6–6,6	4,4 (4,5)
33b Selen	5 (0)	alle < BG	2,53 (–)	5 (0)	alle < BG	2,53 (–)
35b Zink	5 (5)	85–120	96 (89)	5 (5)	31–39	34 (33)

Konzentrationen im Schlamm [$\mu\text{g}/\text{kg TS}$]

Parameter	Primär-schlamm			Überschuss-schlamm		
	Anzahl Messwerte (über BG)	Bereich [$\mu\text{g}/\text{kg TS}$] Min-Max	Mittelwert [$\mu\text{g}/\text{kg TS}$] (Median)	Anzahl Messwerte (über BG)	Bereich [$\mu\text{g}/\text{kg TS}$] Min-Max	Mittelwert [$\mu\text{g}/\text{kg TS}$] (Median)
5 Polybromierte Diphenylether						
BDE 47	4 (4)	6,1–15	10 (10)	6 (6)	9,8–37	19 (18)
BDE 99	4 (4)	9,4–20	14 (13)	6 (6)	9,4–39	22 (21)
BDE 100	4 (4)	1,7–3,8	2,6 (2,5)	6 (6)	1,8–6,4	4 (4)
BDE 153	4 (4)	1,1–2,3	1,7 (1,7)	6 (6)	1,2–3,7	2,5 (2,3)
BDE 154	4 (4)	0,8–1,9	1,3 (1,1)	6 (6)	0,97–2,8	1,7 (1,6)
6 Cadmium und -verbindungen	4 (4)	440–640	520 (505)	6 (6)	330–820	500 (430)
12 Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP)	4 (4)	20.000–27.000	24.000 (24.500)	6 (6)	18.000–32.000	25.800 (27.000)
21 Quecksilber und -verbindungen	4 (4)	360–860	600 (590)	6 (6)	320–480	400 (410)
23 Nickel und -verbindungen	4 (4)	16.000–30.000	21.000 (19.000)	6 (6)	15.000–55.000	23.300 (16.500)
30 Tributylzinnverb. (Kation)	4 (4)	n. n.–< BG	150 (–)	6 (6)	n. n.–< BG	190 (–)
32b Kupfer	4 (4)	97.000–250.000	167.000 (160.000)	6 (6)	120.000–220.000	172.000 (165.000)
33b Selen	4 (0)	alle < BG	1.000 (–)	6 (6)	2.000–3.300	2.670 (2.550)
35b Zink	4 (4)	560.000–810.000	715.000 (745.000)	6 (6)	600.000–780.000	707.000 (720.000)

Umweltbundesamt GmbH

Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04
Fax: +43-(0)1-313 04/4500

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Der Report des Umweltbundesamt untersucht über 100 Einzelstoffe in den Abläufen ausgewählter kommunaler Kläranlagen.

In einem ersten Schritt erfolgte eine Stoffeingrenzung auf 16 Einzelstoffe, von denen aufgrund der Umweltqualitätsnormen für Oberflächengewässer fünf prioritäre und sechs sonstige Stoffe als relevant im gereinigten Abwasser identifiziert wurden. Vier dieser prioritären Stoffe (Cadmium, Diuron, Nonylphenole und Tributylzinnverbindungen) sind für die verpflichtende Messung gemäß Emissionsregisterverordnung vorgeschlagen.

Darüber hinaus wurden für die 16 Stoffe bei zwei Kläranlagen Massenbilanzierungen durchgeführt. Es zeigte sich, dass nur Nonylphenole zumindest teilweise abgebaut werden, die anderen untersuchten Stoffe bzw. Stoffgruppen reichern sich entweder im Klärschlamm an oder gelangen über den Ablauf in die Gewässer.