

TEXTE

29/2024

**Abschlussbericht**

# **Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von CP- Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle in Gewässer**

**von:**

Dipl.-Ing. J. Ebbing, Dipl.-Ing. A. Nussbaumer, B. Eng. R. Hrimat Lobbe  
Umwelt-Beratung GmbH, Iserlohn

Dr.-Ing. H. Riße, Dipl.-Ing. A. Lenis  
Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH Aachen  
(FiW) e.V.

Prof. Dr. V. Linnemann  
Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen

Dr.-Ing Andreas Neuss  
Indaver Deutschland

**Herausgeber:**  
Umweltbundesamt



TEXTE 29/2024

Ressortforschungsplan des Bundesministeriums für  
Umwelt, Naturschutz, nukleare Sicherheit und  
Verbraucherschutz

Forschungskennzahl 3717 53 301 2  
FB001006

Abschlussbericht

# **Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von CP-Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle in Gewässer**

von

Dipl.-Ing. J. Ebbing, Dipl.-Ing. A. Nussbaumer, B. Eng. R. Hrimat Lobbe  
Umwelt-Beratung GmbH, Iserlohn

Dr.-Ing. H. Riße, Dipl.-Ing. A. Lenis  
Forschungsinstitut für Wasserwirtschaft und Klimazukunft an der RWTH  
Aachen (FiW) e.V.

Prof. Dr. V. Linnemann  
Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen

Dr.-Ing Andreas Neuss  
Indaver Deutschland

Im Auftrag des Umweltbundesamtes

## Impressum

### Herausgeber

Umweltbundesamt  
Wörlitzer Platz 1  
06844 Dessau-Roßlau  
Tel: +49 340-2103-0  
Fax: +49 340-2103-2285  
[buergerservice@uba.de](mailto:buergerservice@uba.de)  
Internet: [www.umweltbundesamt.de](http://www.umweltbundesamt.de)

### Durchführung der Studie:

Lobbe Umwelt-Beratung GmbH  
Bernhard-Hülsmann-Weg 4  
58642 Iserlohn

### Abschlussdatum:

Juli 2023

### Redaktion:

Fachgebiet III 2.4 Abfalltechnik, Abfalltechniktransfer  
Dr. Ling He

Publikationen als pdf:

<http://www.umweltbundesamt.de/publikationen>

ISSN 1862-4804

Dessau-Roßlau, Februar 2024

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autorinnen und Autoren.

**Kurzbeschreibung: Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von CP-Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle in Gewässer**

In chemisch-physikalischen (CP-) Behandlungsanlagen werden überwiegend gefährliche Abfälle behandelt, die flüssig bis schlammig sind und einen relativ hohen Wassergehalt aufweisen; der Wassergehalt liegt i. d. R. oberhalb von ca. 80 Ma %. Diese Abfälle dürfen weder in die Kanalisation noch in ein Gewässer eingeleitet werden, ohne entsprechend den Einleitbedingungen für Abwasser aufbereitet zu sein. Die in den CP-Behandlungsanlagen angewendeten Verfahren und Verfahrenskombinationen führen zu einer weitest gehenden Aufbereitung der flüssigen, wasserhaltigen Abfälle sowie zur sicheren Einhaltung zulässiger Emissionswerte.

In wasserbasierten, flüssigen Abfällen können organische Stoffe enthalten sein, die durch das Abwasser von CP-Behandlungsanlagen in Gewässer eingetragen werden. Es können möglicherweise auch Spurenstoffe enthalten sein, die im Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie als prioritär gefährlich eingestuft sind, welche durch die Behandlung weitgehend umgewandelt oder eliminiert werden sollen, wie z.B. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) oder Perfluorooctansulfonsäure (PFOS). In dem vorliegenden Projekt wurde untersucht, ob und in welchem Maße Spurenstoffe in CP-Behandlungsanlagen vorhanden sind, und ob diese durch unterschiedliche Behandlungsverfahren eliminiert werden können. Dazu wurden zunächst relevante Spurenstoffe anhand eines dreistufigen Entscheidungsverfahrens ausgewählt. Diese Spurenstoffe konnten sowohl im Abfallinput der untersuchten Anlagen als auch teilweise im Abwasser nach Behandlung nachgewiesen werden.

Im weiteren Projektverlauf wurden Konzepte zur Behandlung von Abfällen, welche die relevanten Spurenstoffe enthalten können, untersucht. Es konnte durch Messungen in zwei CP-Behandlungsanlagen festgestellt werden, dass ein großer Teil der Spurenstoffe bei spezifischer Anwendung dieser Behandlungskonzepte reduziert werden konnte.

Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurden Handlungsempfehlungen zur Minimierung des Eintrages von relevanten Spurenstoffen in Gewässer erarbeitet sowie ein Vorschlag eines BVT zur Minderung des Eintrages von Spurenstoffen für die nächste Revision des Merkblattes zur Abfallbehandlung vorgestellt.

**Abstract: Best Available Technique (BAT) for the reduction of micropollutants from chemico-physical treatment plants for water-based liquid waste into water bodies.**

Chemico-physical (CP) treatment plants mainly treat hazardous wastes that are liquid to sludgy and have a relatively high water content; the water content is usually above approx. 80 wt. %. This waste cannot be discharged into the sewer system or into a water body without being treated in accordance with the discharge conditions for wastewater. The processes and process combinations used in the CP treatment plants are designed and operated to comply with permissible emission values.

Water-based liquid wastes may contain organic substances that are discharged into water bodies through the effluent from CP treatment plants. The effluent may also contain trace substances (micropollutants) classified as priority hazardous in Annex X of the Water Framework Directive, which are to be largely transformed or eliminated by treatment, such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) or Perfluorooctanesulfonic acid (PFOS). The present project investigated whether and to what extent trace substances are present in CP treatment plants, and whether they can be eliminated by different treatment processes. First, relevant trace substances were selected using a three-stage decision-making process. These trace

substances could be detected both in the waste input of the investigated plants and partly in the effluent after treatment.

In the further course of the project, concepts for the treatment of waste that may contain the relevant trace substances were investigated. Measurements in two CP treatment plants showed that a large part of the trace substances could be reduced by specific application of these treatment concepts.

Based on these results, recommendations to minimize the emission of relevant trace substances into water bodies were developed and a proposal of a BAT to reduce the input of trace substances was presented for the next revision of the waste treatment BREF.

## Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis.....	10
Tabellenverzeichnis .....	10
Abkürzungsverzeichnis.....	12
Zusammenfassung.....	14
Summary .....	23
1 Einleitung.....	31
1.1 Hintergrund.....	31
1.2 Projektziele.....	33
2 Situationsanalyse und Konzeptionierung.....	34
2.1 Definition chemisch-physikalische Behandlungsanlage .....	34
2.2 Behandelte Arten und Mengen an flüssigen gefährlichen Abfällen .....	39
2.3 Angewendete Behandlungsverfahren .....	41
2.4 Praxisanlagen im Forschungsvorhaben.....	43
2.4.1 CP-Behandlungsanlage der Fa. Lobbe in Iserlohn-Letmathe .....	44
2.4.2 CP-Behandlungsanlage der Fa. Indaver in Frankfurt a.M. ....	45
2.5 Identifizierung von für CP-Behandlungsanlagen relevanten Spurenstoffen .....	47
2.6 Entscheidungskriterien für die Literaturrecherche.....	47
2.7 Auswertung der Umfrage an CP-Behandlungsanlagenbetreiber .....	51
2.8 Auswertung der Umfrage: Angaben zu Spurenstoffen.....	55
2.9 Weitere Recherchen .....	57
2.10 Betriebsabläufe in den CP-Behandlungsanlagen mit Betrachtung der Maßnahmen zur Minderung des Eintrags von Spurenstoffen in Gewässer.....	60
2.11 Analytische Methoden und sonstige Maßnahmen zur frühzeitigen Erkennung von Spurenstoffen.....	64
3 Parameteruntersuchungen im Labor .....	71
3.1 Probenahmeverfahren zur Spurenstoffuntersuchung.....	74
3.2 Methodenentwicklung und Untersuchungsverfahren zur Spurenstoffbestimmung .....	75
3.3 Spurenstoffmonitoring und Untersuchungen weiterer Parameter.....	79
3.3.1 Spurenstoffmonitoring in den Abfallinputstoffen und im Ablauf der CPB Iserlohn-Letmathe.....	80
3.3.2 Spurenstoffmonitoring in den Abfallinputstoffen und im Ablauf der CP-Behandlungsanlage Frankfurt.....	89
3.3.3 Spurenstoffmonitoring bei der Untersuchung der Behandlungskonzepte .....	100
3.3.4 Summarische Bestimmung der organisch gebundenen Fluorverbindungen .....	101

3.3.5	Ökotoxikologische Untersuchungen in den Ablaufproben der CP-Behandlungs-Anlagen .....	102
3.3.6	Non-Target-GC-MS-Screening.....	106
4	Untersuchungen in Praxisanlagen.....	108
4.1	Untersuchung von Behandlungskonzepten .....	108
4.2	Evaluierung durch Probennahme und Analyse.....	109
4.2.1	Emulsionsspaltung mit Neutralisation, Fällung und Filtration.....	109
4.2.2	Vakuumverdampfung .....	111
4.2.3	Adsorptive Nachbehandlung organisch belasteter Abwässer mit Aktivkohle.....	112
4.3	Massenbilanzierung und Ermittlung der Eliminationsleistung .....	116
5	Fazit und Handlungsempfehlungen.....	126
5.1	Fazit.....	126
5.2	Handlungsempfehlungen.....	128
6	Quellenverzeichnis .....	132
A	Anhang III Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG.....	136
B	Zuordnung der Abfälle zu dem jeweiligen Input.....	137
C	Liste aller Spurenstoffe der 1. Entscheidungsphase – 104 Stoffe .....	138
D	CP-Behandlungsanlage relevante Spurenstoffe (nach 2. Entscheidungsphase) - 44 Stoffe .....	142
E	CP-Behandlungsanlagen-relevante Spurenstoffe nach chemischen und physikalischen Eigenschaften (3. Entscheidungsphase) – 60 Stoffe.....	148
F	Auswahlkriterien zur Bestimmung der endgültigen Spurenstoffe.....	152
G	Fragebogen an CP-Behandlungsanlagenbetreiber.....	157
H	Glossar .....	163
I	Versuchsergebnisse.....	169
I.1	Ergebnisse – Versuch 1 .....	169
I.2	Ergebnisse – Versuch 2 .....	173
I.3	Ergebnisse – Versuch 3 .....	177
I.4	Ergebnisse – Versuch 4 .....	181
I.5	Ergebnisse – Versuch 5 .....	186
I.6	Ergebnisse – Versuch 6 .....	191
J	GC-MS-Non-Target-Screening.....	196
J.1	Versuch 1 GC-MS-Non-Target-Screening.....	196
J.2	Versuch 2 GC-MS-Non-Target-Screening.....	204
J.3	Versuch 3 GC-MS-Non-Target-Screening.....	211
J.4	Versuch 4 GC-MS-Non-Target-Screening.....	215

J.5	Versuch 5 GC-MS-Non-Target-Screening.....	224
J.6	Versuch 6 GC-MS-Non-Target-Screening.....	229
J.7	GC-MS-Non-Target-Screening in den ersten beiden Messkampagnen (September und Dezember 2019).....	235
K	Vorschlag BVT zur Minderung des Eintrages von relevanten Spurenstoffen aus CP- Behandlungsanlagen .....	258

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der Anzahl der CP-Behandlungsanlagen in Deutschland.....	36
Abbildung 2: Abfallaufkommen der gefährlichen (oben) und nicht gefährlichen (unten) Abfälle.....	37
Abbildung 3: Verteilung von CP-Behandlungsanlagen nach Bundesland .....	38
Abbildung 4: Abfallaufkommen – gefährliche Abfälle nach Bundesland im Jahr 2016 .....	39
Abbildung 5: Allgemeiner Prozessablauf auf einer CP-Behandlungsanlage .....	41
Abbildung 6: Verfahrensbild der CP-Behandlungsanlage Lobbe Iserlohn-Letmathe .....	44
Abbildung 7: Verfahrensbild der CP-Behandlungsanlage Indaver Frankfurt a.M...46	
Abbildung 8: Entscheidungsverfahren zur Auswahl der für CP-Behandlungsanlagen relevanten Spurenstoffe.....	48
Abbildung 9: Häufigkeit der angewendeten Behandlungsverfahren in CP-Behandlungsanlagen [n=15] .....	53
Abbildung 10: Häufigkeit der angewendeten Nachbehandlungsverfahren auf CP-Behandlungsanlagen [n=15] .....	54
Abbildung 11: Prozentuale Zuordnung der Abfallherkunft nach Kapitel im AVV in den ausgewerteten CP-Behandlungsanlagen [n=15] .....	54
Abbildung 12: Behandelte Massenströme nach Abfallherkunft [n=15] .....	55
Abbildung 13: Stapeltank und Probenahmestelle CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe.....	74
Abbildung 14: Behandlungskonzept Emulsionsspaltung CP-Behandlungsanlage Lobbe-Letmathe .....	110
Abbildung 15: Behandlungskonzept Vakuumverdampfer CP-Behandlungsanlage Lobbe-Letmathe .....	112
Abbildung 16: Behandlungskonzept Adsorptive Nachbehandlung mit Aktivkohle CP-Behandlungsanlage Frankfurt .....	113

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zuordnung von Abfällen zu dem jeweiligen Input.....	40
Tabelle 2: Typische Behandlungsverfahren in CP-Behandlungsanlagen.....	42
Tabelle 3: Aussortierungskriterien der 2. Entscheidungsphase .....	49
Tabelle 4: Bewertungskriterien der 3. Entscheidungsphase .....	50
Tabelle 5: Identifizierte Spurenstoffe aus der Umfrage.....	56
Tabelle 6: Identifizierte Spurenstoffe im Indirekteinleiter-Screening-Messprogramm LANUV .....	57
Tabelle 7: Identifizierte Spurenstoffe aus ELWAS WEB .....	58
Tabelle 8: Auswahl der Spurenstoffe mit zugehöriger Analyseverfahren.....	59
Tabelle 9: Übersicht der typischen analytischen Summenparameter .....	65

Tabelle 10: Übersicht der Laborverfahren zur Spurenstoffidentifikation .....	67
Tabelle 11: Übersicht von ökotoxikologischen Untersuchungsverfahren zur Abwasserbewertung.....	68
Tabelle 12: Übersicht der untersuchten Spurenstoffe im CP-Behandlungsanlagen- Monitoring.....	71
Tabelle 13: Gradientenverlauf zur Phenolbestimmung; A = Methanol, B = Wasser .....	78
Tabelle 14: Gradientenverlauf zur Benzotriazolbestimmung; A = Methanol + 0,1 % Essigsäure & 2mM Ammoniumacetat, B = Wasser + 0,1 % Essigsäure & 2 mM Ammoniumacetat, C = Methanol .....	78
Tabelle 15: Untersuchungsergebnisse Ablauf CP-Behandlungsanlage Iserlohn- Letmathe.....	81
Tabelle 16: Ergebnisse des Spurenstoffmonitorings zur Charakterisierung der Input-Ströme in der CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe .....	86
Tabelle 17: Ergebnisse des Spurenstoffmonitorings zur Charakterisierung der Input-Ströme in der CP-Behandlungsanlage Frankfurt .....	91
Tabelle 18: Ergebnisse des Spurenstoffmonitorings zur Charakterisierung der Input-Ströme in der CP-Behandlungsanlage Frankfurt .....	97
Tabelle 19: Vergleich der Summe PFAS mit AOF und EOF .....	101
Tabelle 20: Ökotoxikologische Untersuchungen von Abwässern aus CP- Behandlungsanlagen .....	103
Tabelle 21: Versuch 1 – Emulsionsbehandlung mit Abfallsäure .....	110
Tabelle 22: Versuch 2 – Emulsionsbehandlung mit Abfallsäure und Abfalllauge ..	111
Tabelle 23: Versuch 3 - Emulsionsbehandlung im Vakuumverdampfer .....	112
Tabelle 24: Versuch 4 – Saure Abfallstoffe + Dekantat in KFP und Aktivkohle (3 Chargen) .....	115
Tabelle 25: Versuch 5 – Neutrale alkalisch Abfallstoffe in KFP und Aktivkohle (3 Chargen) .....	115
Tabelle 26: Versuch 6 – Abfallmischung in KFP und Aktivkohle (4 Chargen).....	115
Tabelle 27: Eliminationsleistungen in KFP für den Behandlungszweig „Emulsionsspaltung mit Zugabe von Altlauge“ – Versuch 1 ..	118
Tabelle 28: Eliminationsleistungen in KFP für den Behandlungszweig „Emulsionsspaltung + Altsäure“ – Versuch 2 .....	119
Tabelle 29: Eliminationsleistung für den Behandlungszweig „Emulsion in Vakuumverdampfer“ – Versuch 3 .....	120
Tabelle 30: Eliminationsleistung für den Behandlungszweig „saure Abfallstoffe + Dekantat in KFP und Aktivkohle“ – Versuch 4.....	120
Tabelle 31: Eliminationsleistung für den Behandlungszweig „neutrale alkalische Abfallstoffe in KFP und Aktivkohle“ – Versuch 5.....	121
Tabelle 32: Eliminationsleistung für den Behandlungszweig „Abfallmischung in KFP und Aktivkohle“ – Versuch 6 .....	122

Tabelle 33: Vergleich der Eliminationsleistung der verschiedenen  
Behandlungszweige .....123

Tabelle 34: r-Werte für alle analysierten Spurenstoffgruppen und  
Summenparameter .....125

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr [a]
<b>AFS</b>	Abfiltrierbare Stoffe
<b>AOBr</b>	Absorbierbares organisch gebundenes Brom
<b>AOCl</b>	Absorbierbares organische gebundenes Chlor
<b>AOF</b>	Adsorbierbares organisch gebundenes Fluor
<b>AOI</b>	Absorbierbares organisch gebundenes Iod
<b>AOX</b>	Adsorbierbare organisch gebundene Halogene
<b>BGBI</b>	Bundesgesetzblatt
<b>BMU</b>	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
<b>BSB</b>	Biochemischer Sauerstoffbedarf
<b>BTEX</b>	Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol
<b>BVT</b>	Beste verfügbare Technik
<b>C-IC</b>	Combustion Ionenchromatographie
<b>CP</b>	Chemisch-physikalisch
<b>CPB</b>	Chemisch-physikalische Behandlungsanlage
<b>CSB</b>	Chemischer Sauerstoffbedarf
<b>DeNOx</b>	Abscheidung von Stickoxiden mit Ammoniak
<b>Destatis</b>	Statistisches Bundesamt, Wiesbaden
<b>DOC</b>	Dissolved Organic Carbon, gelöster organischer Kohlenstoff
<b>DWA</b>	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.
<b>EAK</b>	Europäischer Abfallkatalog
<b>EAV</b>	Europäisches Abfallverzeichnis
<b>EOF</b>	extrahierbares organisch gebundenes Fluorid
<b>ERP-System</b>	Enterprise-Ressource-Planning-System
<b>Fa.</b>	Firma
<b>FIW</b>	Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH e.V.
<b>GAK</b>	Granulierte Aktivkohle
<b>GC</b>	Gaschromatographie
<b>ggü.</b>	gegenüber
<b>HP</b>	Hazardous Properties
<b>HPLC</b>	High Performance Liquid Chromatography
<b>HRMS</b>	High resolution mass spectrometry

HR-CS-GFMAS	hochauflösender-continuum source Graphitrohr Molekülabsorptionsspektrometrie
ISA	Institut für Siedlungswasserwirtschaft an der RWTH Aachen
k.A.	Keine Angaben
KA	Kläranlage
KFP	Kammerfilterpresse
kt	Kilotonne
KW-Index	Kohlenwasserstoff-Index
LAGA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Abfall
LANUV	Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen
LC	Flüssigchromatographie
LC50	mittlere letale Konzentration
LHKW	Leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe
Mg	Megagramm
MS	Massenspektrometrie
Mt	Megatonne
MVA	Müllverbrennungsanlage
NIST	National Institute of Standards and Technology
NRW	Nordrhein-Westfalen
PAK	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PFAS	Per- und Polyfluorierten Alkylverbindungen
PFC	Per- und polyfluorierte Chemikalien
PFOA	Perfluorooctansäure
PFOS	Perfluorooctansulfonsäure
PFT	Polyfluorierte Tenside
RWTH	Rheinisch-Westfälische Techn. Hochschule
SAK	Spektraler Adsorptionskoeffizient
SPE	Solid Phase Extraction
SVOC	Semi-volatile organic compounds
TDS	gesamte gelöste Salze
TN <sub>b</sub>	Total Nitrogen bound
TOC	Total Organic Carbon
TTC	Triphenyltetrazoliumchlorid
UBA	Umweltbundesamt
UV	Ultraviolettstrahlung
VOC	Volatile organic compounds
WGK	Wassergefährdungsklasse
YES	Yeast estrogen screen

## Zusammenfassung

Das Projekt „Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von chemisch-physikalisch-Behandlungsanlagen (nachfolgend als CP-Behandlungsanlagen bezeichnet) für gefährliche Abfälle in Gewässer“ sieht vor, geeignete organisatorische und technische Maßnahmen zur Minimierung des Eintrages von relevanten Spurenstoffen in Gewässer aus CP-Behandlungsanlagen zu beschreiben. Relevante Spurenstoffe sind anthropogene organische Stoffe, die in sehr geringen Konzentrationen in Gewässern vorkommen. Spurenstoffe stammen aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen und Produkten wie z.B. Bioziden, Human- und Tierarzneimitteln, Pflanzenschutzmitteln, Industriechemikalien oder Körperpflege- und Waschmitteln. Diese Stoffe sind problematisch, da sie toxisch sind, akkumuliert werden und persistent sind.

Der Eintrag von Spurenstoffen in Gewässer erfolgt meist über kommunales oder industrielles Abwasser. Hier sind Untersuchungen durchgeführt worden, um die Gehalte an Spurenstoffen im Ablauf von kommunalen Kläranlagen festzustellen, u.a. in Nordrhein-Westfalen. Im Abwasser enthaltene Spurenstoffe können in kommunalen Kläranlagen mit der derzeit eingesetzten Technik kaum entfernt werden. Daher laufen Bestrebungen, Anlagenbetreiber durch eine Änderung des Abwasserabgaben-Gesetzes durch einen Spurenstoff-Zuschlag zu weitergehenden Reinigungsmaßnahmen zu motivieren, z.B. durch Erweiterung mit Aktivkohlefiltern oder Ozonierung.

### Ermittlung relevanter CP-Behandlungsanlagen

Ein weiterer möglicher Eintragungspfad von Spurenstoffen in Gewässer ist die direkte oder indirekte Einleitung von gereinigtem Abwasser aus chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen. In diesen werden überwiegend gefährliche Abfälle behandelt, die flüssig bis schlammig sind und einen relativ hohen Wassergehalt aufweisen; überwiegend liegt der Wassergehalt oberhalb von ca. 80 Massen-%. In CP-Behandlungsanlagen werden 25 – 30 % der in Deutschland anfallenden gefährlichen Abfälle behandelt. Damit kommt diesen Behandlungsanlagen eine wichtige Rolle bei der ordnungsgemäßen Entsorgung der gefährlichen Abfälle zu, auch bei der mittelständischen Industrie und Gewerbe, die nicht über eigene Behandlungsanlagen für die im Betrieb anfallenden Abfälle verfügen.

Im Jahr 2016 fielen bundesweit 24, 5 Mt an gefährlichen Abfällen an. Dazu kamen noch ca. 390 Mt an nicht gefährlichen Abfällen, die z.T. auch in CP-Behandlungsanlagen behandelt wurden. Schwerpunkt der Erzeugung von gefährlichen Abfällen ist Nordrhein-Westfalen (6,75 Mt/a), gefolgt von Bayern (3,0 Mt/a) und Baden-Württemberg (3,0 Mt/a).

Allerdings sind in den Statistiken z. B. von DESTATIS unter dem Begriff „chemisch-physikalische Behandlungsanlagen“ verschiedene Arten von Behandlungsanlagen aufgeführt, neben Behandlungsanlagen für flüssige Abfälle auch Anlagen, in denen z. B.

Rauchgasreinigungsrückstände für den Untertageversatz vorbereitend behandelt werden. Im Jahr 2019 waren bundesweit 459 CP-Behandlungsanlagen in Betrieb, die über eine genehmigte Kapazität von 6,95 Mt/a verfügen. Fast die Hälfte (242) der Anlagen wurden in Bayern aufgelistet, weitere Schwerpunkte sind Nordrhein-Westfalen (83) und Baden-Württemberg (34).

Die Anlagen, die im Rahmen dieser Studie betrachtet werden, behandeln im Wesentlichen flüssige wasserbasierte Abfälle, die flüssig bis schlammartig sind und einen relativ hohen Wasseranteil > 80 Massen-% aufweisen. Diese Anlagen erzeugen neben dem Abwasser schlammartige Abfälle, die als gefährlicher Abfall unter der Abfallschlüsselnummer 19 02 05\* (Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten)

abgeben. Für das Jahr 2016 sind 126 Behandlungsanlagen aufgeführt, die Abfälle unter dieser Abfallschlüsselnummer abgeben, in einer Menge von 283 kt. Diese Anlagen werden als relevant für diese Studie angesehen.

Die behandelten wasserbasierten flüssigen Abfälle können schwerpunktmäßig acht Herkunftsbereichen aus den Kapiteln des Abfallartenkataloges zugeordnet werden. In Summe fallen aus diesen Herkunftsbereichen 5,1 Mt/a an gefährlichen Abfällen an. Der mengenmäßig größte Anfall entstammt der Gruppe 11 „Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen; Nichteisen-Hydrometallurgie“. In der Abfallgruppe 19 „Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke“ fielen 1,26 Mt an, in der Abfallgruppe 13 „Ölabfälle und Abfälle aus flüssigen Brennstoffen (außer Speiseöl und Öle die unter 1, 2 der 3 fallen)“ 0,68 Mt, und in der Gruppe 12 „Abfälle aus der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen“ weitere 0,65 Mt. In diesen Gruppen finden sich die hauptsächlich behandelten Abfallarten wieder, z. B. Emulsionen/ Kühlschmierstoffe, Säuren und Laugen, Konzentrate und metallhaltige Salzlösungen, Waschwässer, Inhalte von Benzin-/ Ölabscheidern, Lösemittel-/ Wassergemische, Schlämme und flüssige, wasserhaltige Abfälle mit hohen Konzentrationen an biologisch abbaubaren Stoffen.

Die Behandlung von flüssigen Abfällen erfolgt durch Verfahren einer chemischen Stoffumwandlung (z.B. Oxidation, Reduktion) und zur physikalischen Stofftrennung (z.B. Sedimentation, Filtration). Die Reaktoren, in denen die Behandlung stattfindet, werden bei stark veränderlichen Abfalleigenschaften im Batchbetrieb gefahren. Ein Durchlaufbetrieb ist besonders geeignet bei gleichbleibenden Eigenschaften der Abfälle. Die bei der Behandlung entstehenden Feststoffe (Schlämme, Filterkuchen) werden entwässert und ggfs. konditioniert.

Ziel der Behandlung in einer CP-Behandlungsanlage ist die Entfrachtung der Abfälle von schädlichen Verunreinigungen durch Abscheidung oder Umwandlung dieser Stoffe. Nach der Behandlung darf das CP-Abwasser nur in die Kanalisation oder in ein Gewässer eingeleitet werden, wenn die Einleitbedingungen des Anhangs 27 der Abwasserverordnung erfüllt werden. Dieser legt derzeit Grenzwerte für z.B. Kohlenwasserstoffe und Metalle fest. Eine Regelung für Spurenstoffe gibt es derzeit nicht. In BVT Schlussfolgerungen „Abfallbehandlung“, welche u.a. durch Anpassung des Anhangs 27 der Abwasserverordnung zurzeit in deutsches Recht umgesetzt werden, sind die Spurenstoffe PFOS und Perfluorooctansäure (PFOA) als reine Überwachungsparameter, unter anderem für CP-Behandlungsanlagen eingeführt worden.

Auf Grundlage der Auswertung der Daten zur Beschreibung von relevanten CP-Behandlungsanlagen wurden in der weiteren Durchführung des Projektes zwei CP-Behandlungsanlagen eingebunden.

Die CP-Behandlungsanlage der Fa. Lobbe in Iserlohn-Letmathe verfügt neben der klassischen Behandlung in Reaktoren auch über eine Verdampferanlage. In der CP-Behandlungsanlage werden überwiegend Abfälle aus der Metall- und Galvanikindustrie behandelt, z. B. Emulsionen sowie Abfallsäuren und -laugen. Bei der Behandlung von ölhaltigen Abwässern und Emulsionen abgeschiedene Öle werden einer thermischen Verwertung zugeführt. Die bei der Behandlung entstehenden Schlämme und Filterkuchen werden in externen Anlagen thermisch behandelt. PFC-haltige Abwässer können in der Verdampferanlage behandelt werden, wobei das entstehende Konzentrat einer thermischen Behandlung zugeführt wird. Abwässer, die neben den organischen Verunreinigungen z. B. mit Per- und Polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS) auch stickstoffhaltig sind, können zu einem Entstickungsmittel aufbereitet werden, bei dessen

Einsatz in Abfallverbrennungsanlagen oder Zementwerken ggfs. enthaltene Schadstoffe durch thermische Behandlung zerstört werden. In der CP-Behandlungsanlage wurde ein Managementsystem zum Umgang mit spurenstoffhaltigen Abfällen eingeführt. Dieses beruht auf der Identifikation von potential belasteten Stoffen in Zusammenarbeit mit Abfallerzeugern und einer spurenstoffspezifischen Behandlung.

Die CP-Behandlungsanlage der Indaver Deutschland GmbH in Frankfurt behandelt in drei Reaktoren ölhaltige Wässer sowie Säuren, Laugen und industrielle Abwässer. Die Behandlung erfolgt in zwei Behandlungssträngen für organisch (z. B. ölhaltige Flüssigkeiten) und anorganisch belastete Abfälle (z.B. Säuren). Im organischen Behandlungsstrang werden zunächst Feststoffe und Öle in einer Dekanteranlage abgeschieden, bevor die Wasserphase weitergehend behandelt wird. Säuren und Laugen werden in Reaktoren durch Verfahren der Stoffumwandlung behandelt. Bei der Behandlung von Säuren werden zur Kühlung der bei der Reaktion entstehenden Wärme vorzugsweise vorbehandelte Wässer aus dem organischen Behandlungsstrang eingesetzt, die nur noch geringe Restölgehalte aufweisen. Die bei der Behandlung anfallenden organisch belasteten Schlämme werden extern thermisch behandelt, die Filterkuchen vorzugsweise deponiert. Als Besonderheit verfügt die Anlage über hintereinandergeschaltete Aktivkohlefilter, in denen eine Nachbehandlung der Abwässer aus dem organischen Behandlungsstrang möglich ist. Dies erfolgt insbesondere bei erhöhten AOX-Werten, um die Grenzwerte des Anhangs 27 der Abwasserverordnung einzuhalten. Aktivkohlefilter können neben organischen Restbelastungen auch bestimmte Spurenstoffe eliminieren.

Beide Anlagen verfügen über technisch und personell gut ausgestattete Labore, in denen bei der Deklarations- und Eingangsanalytik, bei der Behandlung der Abfälle und der Prozesssteuerung sowie bei der Überprüfung der Einleitfähigkeit des Abwassers umfangreiche Analysen durchgeführt werden.

### **Situationsanalyse und Erfassung von relevanten Spurenstoffen**

In wasserbasierten, flüssigen Abfällen können organische Stoffe enthalten sein, die durch das Abwasser von CP-Behandlungsanlagen in Gewässer eingetragen werden. Es können auch Spurenstoffe enthalten sein, die im Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie als prioritär gefährlich eingestuft sind, welche durch die Behandlung weitgehend umgewandelt oder eliminiert werden sollen, wie z.B. Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) oder Perfluoroktansulfonsäure und ihre Derivate (PFOS). Untersuchungen, ob und in welchem Umfang diese Spurenstoffe im Abwasser der CP-Behandlungsanlagen vorhanden sind, gibt es nur eingeschränkt, z.B. durch Untersuchungen in Nordrhein-Westfalen, dann allerdings eingeschränkt auf wenige Spurenstoffe, z.B. PFOS.

Daher wurden zunächst im Rahmen einer Situationsanalyse die für CP-Behandlungsanlagen relevanten Spurenstoffe ermittelt.

Aus einer Literaturrecherche, basierend u.a. auf dem Programm zur Reduzierung der Gewässerbelastung aus chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen des Landes Nordrhein-Westfalen wurden zunächst 104 Spurenstoffe identifiziert.

Diese Spurenstoffe wurden anhand verschiedener Kriterien bewertet. Dabei wurden Stoffe aussortiert, die nicht oder nur gering wassergefährdend sind (WKG 0 – 1), eine geringe Ökotoxizität ( $LC_{50} > 2.000 \text{ mg/L}$ ) besitzen oder gut biologisch ( $> 90\%$ ) abbaubar sind. Des Weiteren wurden Stoffe, deren Herstellung, Nutzung oder Import in die EU verboten sind, aussortiert. Weiterhin wurden Stoffe nicht weiter berücksichtigt, die nicht im Anhang X „Liste

Prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik“ aufgeführt sind. Nach dieser Bewertung wurde die Anzahl der relevanten Spurenstoffe und Spurenstoffgruppen auf 44 reduziert.

Aus dieser Liste wurden in einer dritten Bewertungsphase 60 Spurenstoffe weitergehend beschrieben und charakterisiert. Die Wasserlöslichkeit eines Stoffes als Maß für eine Bioakkumulation gibt Hinweise auf eine mögliche Behandlung z.B. in einer biologischen Behandlungsstufe. So adsorbieren schlecht wasserlösliche Stoffe gut an festen Oberflächen. Gut adsorbierbare Stoffe sind meistens lipophil und häufig wasserunlöslich. Die in den CP-Behandlungsanlagen eingesetzten Verfahren der Flockung und Fällung können damit durch die Anlagerung dieser Substanzen an die entstehenden Flocken für deren Abscheidung geeignet sein. Als Kriterium für die Bewertung wurde der Oktanol-Wasser-Verteilungskoeffizient  $\log(K_{OW})$  verwendet. Der Siedepunkt und die Henry-Konstante sind Kriterien für den Einsatz eines thermischen Verfahrens, z.B. einer Verdampferanlage. In dieser werden vorzugsweise hochsiedende Stoffe mit einer Verdampfungstemperatur  $> 197,3 \text{ °C}$  zurückgehalten. Die Henry-Konstante beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Anteil einer gelösten Komponente in der Flüssigphase und deren Anteil in der Gasphase im Gleichgewicht. Strippverfahren dienen der Abscheidung von leichtsiedenden Stoffen mit einem Wert der Henry-Konstante von  $< 70 \text{ Pa}\cdot\text{m}^3/\text{mol}$ . Durch Membrantrennverfahren (z.B. Umkehrosmose, Ultrafiltration) können Stoffe abhängig von ihrem Molekulargewicht abgetrennt werden.

Insgesamt wurden 184 Betreiber von CP-Behandlungsanlagen gebeten, in einem Fragebogen ihre jeweilige Anlage zu beschreiben und insbesondere Erfahrungen zu Spurenstoffen mitzuteilen. Die Auswahl der Anlagenbetreiber erfolgte anhand der Einstufung der Anlagen nach den Ziffern 8.8.1, 8.10.1 und 8.11.1 des Anhangs 1 der vierten BImSchV. Die Rücklaufquote war mit insgesamt 10,5 % entsprechend 15 Anlagen niedrig. Die Auswertung der eingesetzten Verfahren zur Behandlung von Abfällen und der eingesetzten Abfälle zeigt, dass diese Anlagen den als relevant angesehenen CP-Behandlungsanlagen entsprechen. Die Auswertung der Angaben zu Spurenstoffen ergab, dass 3 Anlagen verschiedene Spurenstoffe im Ablauf detektiert haben. Die meisten Spurenstoffe waren schon in der Liste der relevanten Spurenstoffe enthalten, die noch um zwei Stoffe erweitert wurde (N-Heterocyclen, Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/F)).

Bei 8 der 15 Behandlungsanlagen ergreifen technische und organisatorische Maßnahmen zur Minderung der Emissionen von Spurenstoffen, z.B. durch Vermeidung der Annahme und Behandlung von Abfällen, die Spurenstoffe enthalten oder eine getrennte Behandlung dieser Abfälle.

Nach weiteren Recherchen im elektronischen wasserwirtschaftlichen Fachinformationssystem ELWAS des Landes Nordrhein-Westfalen und eines Indirekteinleiter-Screening-Messprogramms des LANUV NRW wurde die Liste der Spurenstoffe um drei weitere Stoffe (Perfluorbutansulfonsäure-Isomere, Perfluorhexansäure, Perfluorhexansulfonsäure Isomere) ergänzt.

Das Ergebnis der Recherchen ist eine Liste von 28 für die Projektziele relevanten Spurenstoffen und Spurenstoffgruppen. Es handelt sich hierbei um 62 Einzelstoffe verschiedener Substanzgruppen, wie Komplexbildner und Korrosionsschutzmittel, Per- und Polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS), Organohalogen-Verbindungen, Phosphor-Flammschutzmittel, Phthalate, PAK, polychlorierte Biphenyle (PCB), Alkylphenole, Dioxine und dioxinähnliche Verbindungen, Chloraromaten und Heterocyclische-Kohlenwasserstoffe.

## Parameteruntersuchungen und Methodenentwicklung

Die o.g. Spurenstoffe und Spurenstoffgruppen dienen als Leitsubstanzen für die Methodenentwicklung und Parameteruntersuchungen der Abfallinput- und Abwasserströme der beiden im Projekt betrachteten CP-Behandlungsanlagen.

Diese Stoffauswahl erforderte verschiedene analytische Methoden für die verschiedenen Stoffgruppen:

- ▶ Gaschromatographische (GC) für die unpolaren organischen Spurenstoffe
- ▶ Flüssigkeitschromatographische (LC) für die polaren Verbindungen
- ▶ GC-MS-Screening zur Identifikation weiterer potentiell relevanter organischer Spurenstoffe
- ▶ Untersuchung auf verschiedene abwassertechnisch relevante Summenparameter (pH, Leitfähigkeit, AFS, AOX, CSB, TOC, TN<sub>b</sub>, Phosphor, SAK254, KW-Index)
- ▶ C-IC oder HR-CS-GFMAS zur Bestimmung des SPE-AOF oder SPE-EOF als mögliche neue Summenparameter für die Überwachung von organischen Fluorverbindungen wie den Röntgenkontrastmitteln oder Per- und Polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) in Kooperation mit Mitsubishi Chemical Europe und Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)
- ▶ Nitrifikationshemmtest, TTC-Test, Leuchtbakterientest, Daphnientoxizitätstest, Algentoxizitätstest, Fischeitertest, YES- und Ames-Test zur Bewertung der biologischen und ökotoxikologischen Relevanz der Spurenstoffe für die Behandelbarkeit in einer Abwasserbehandlungsanlage bzw. Einleitbarkeit in ein Gewässer. Diese Testbatterie wurde vom ISA und Lobbe in Zusammenarbeit mit dem UBA exemplarisch an ausgewählten Proben durchgeführt.

Aufgrund der komplexen Matrix der Abfallstoffe und Abwässer und der Heterogenität der Spurenstoffe wurden u.a. genormte Verfahren für die Matrix angepasst und neue Verfahren inkl. Probenvorbereitungsverfahren entwickelt.

Die Bestimmung von organischen Spurenstoffen im Wasser erfolgt hauptsächlich mittels Gaschromatographie (GC) oder Flüssigkeitschromatographie (LC) gekoppelt mit massenspektrometrischer Detektion (MS). Diese Verfahren erlauben eine sowohl qualitative als auch quantitative Bestimmung einzelner Spurenstoffe, je nach Matrix auch bei sehr geringen Konzentrationen, z.B. im Bereich von wenigen ng/L. Die Durchführung der Analyse ist allerdings zeit- und kostenintensiv, da u.a. Anreicherungsverfahren und aufwändige Vorbehandlungsschritte der Probe vorgenommen werden müssen und die Analysetechnik sehr kostspielig ist. Für einige unpolare unzersetzt verdampfbare Substanzgruppen ist ein GC-MS-Screening ein möglicher Lösungsansatz.

Um schnell und mit vertretbarem Aufwand Informationen über das Vorhandensein von Spurenstoffen zu erhalten, wäre die Entwicklung von summarischen Screening-Verfahren sinnvoll. Für die fluororganischen Stoffe wäre die Bestimmung von adsorbierbaren (AOF) und extrahierbaren (EOF) organischen Fluorverbindungen eine geeignete Methode. Diese Methoden decken dabei auch eine deutliche größere Anzahl an PFAS-Verbindungen in einer Messgröße ab und bilden damit die reale PFAS-Belastung besser ab als eine Einzelstoffanalytik.

## **Spurenstoffmonitoring und Untersuchung weiterer Parameter**

In den beiden CP-Behandlungsanlagen wurden in 2 Messkampagnen Proben des Abwassers (nach Behandlung) und bestimmte Inputströme auf das Vorhandensein der ausgewählten 62 Spurenstoffe sowie weitere Begleitparameter untersucht. Neben den Spurenstoffen wurden auch verschiedene Wirk-, Summen- und ökotoxikologische Untersuchungsverfahren angewendet sowie ein GC-MS-Non-Target-Screening durchgeführt, bei dem die 10 intensivsten Signale mit der NIST-Datenbank abgeglichen wurden.

Zusätzlich wurden die Biotestbatterie und das AOF-Screening in der CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe angewendet.

In der CP-Anlage Iserlohn wurden bei den Abwasserproben nahezu keine PCB, PCDD/F und PFAS nachgewiesen. Einzelne Spurenstoffe wurden in teilweise hohen Konzentrationen im Bereich von  $\mu\text{g/L}$  nachgewiesen. Beim Spurenstoffscreening der typischen Abfall-Inputströme wurden bis auf PCB die ausgewählten Spurenstoffgruppen nachgewiesen. Einzelne Spurenstoffe konnten nicht oder nur in sehr geringen Konzentrationen nachgewiesen werden.

In der CP-Anlage Frankfurt wurden im Ablauf und im Input keine PCB und PAK nachgewiesen, und im Ablauf auch keine PCDD/F. Aus den Spurenstoffgruppen wurden im Ablauf einzelne Spurenstoffe in teilweise hohen Konzentrationen nachgewiesen. Die Konzentrationen schwanken dabei stark an verschiedenen Probenahmetagen. In Frankfurt konnten – im Gegensatz zu Iserlohn – Spuren von PFAS festgestellt werden. Zusätzlich wurden SPE-AOF-, SPE-AOCl-, SPE-AOBr- und SPE-AOI-Untersuchungen durchgeführt. Dabei zeigt sich, dass der SPE-AOF ausreichend empfindlich ist, die PFAS-Belastung nachzuweisen. Der Summenparameter lag dabei deutlich über der Summe der gefundenen Einzelparameter. Dies deutet darauf hin, dass die 10 Standard-PFAS-Substanzen nicht alle vorhandenen PFAS darstellen können.

Ähnlich wie in Iserlohn zeigt die Durchführung der Biotest eine ökotoxikologische Wirkung des unverdünnten Abwassers.

Die Untersuchungen zeigten auch, dass bestimmte Messverfahren an die Abfall- bzw. Abwassermatrix anzupassen sind. Die Untersuchungsergebnisse in beiden Anlagen deuten ferner darauf hin, dass stark partikulär gebundene Spurenstoffe wie PCDD/F, PCB und PAK offensichtlich wirksam eliminiert werden.

## **Non-Target GC-MS-Screening**

Das bei allen Proben durchgeführte GC-MS-Screening zeigt, dass neben den ausgewählten 62 Spurenstoffen weitere ca. 100 Spurenstoffe und Spurenstoffgruppen detektiert werden konnten, teilweise in relevanten Konzentrationen im Bereich von  $\mu\text{g/L}$  –  $\text{mg/L}$ . Dies spricht dafür, bestimmte Stoffgruppen über Summenparameter zu erfassen, und sich nicht auf Einzelstoffe zu analysieren.

## **Evaluierung von Behandlungskonzepten zur Eliminierung von Spurenstoffen**

Die beiden untersuchten CP-Behandlungsanlagen wenden Konzepte an, um im Abfall enthaltene Inhaltsstoffe stoffstromspezifisch zu behandeln.

In einer weiteren Versuchsreihe wurden in 6 Versuchen bei den angewendeten Behandlungskonzepten Proben an unterschiedlichen Stufen des Behandlungsprozesses (Zulauf, ggf. Reaktor, Ablauf, Nachbehandlung) bei der Behandlung unterschiedlicher Abfälle genommen, um damit die Eliminationsleistung dieser Prozesse, auch im Hinblick auf Spurenstoffe, bestimmen zu können:

1. Emulsionsspaltung mit Fällung, Flockung, Neutralisation und Filtration - Elimination durch Abscheidung von partikulär gebundenen Spurenstoffen
2. Vakuumverdampfung - Elimination durch Verdampfung von schwer flüchtigen Spurenstoffen
3. Adsorptive Nachbehandlung mit Aktivkohle im Ablauf nach Behandlung organisch belasteter Abfälle mit Fällung, Flockung, Neutralisation und Filtration - Elimination durch Adsorption von Spurenstoffen an Aktivkohle

Die Bandbreite der Untersuchung wurde auf Grundlage der Ergebnisse des ersten Monitorings von den 62 relevanten Substanzen auf 36 Substanzen reduziert. Insgesamt wurden Spurenstoffe in ähnlichen Bandbreiten wie beim ersten Monitoring detektiert. Auch zeigte sich eine gute Feststoffabtrennung durch niedrige AFS-Belastungen im Ablauf. Auch bei diesen Untersuchungen zeigte sich, dass die 11 ausgewählten PFAS-Substanzen nicht die gesamte Belastung an PFAS wiedergeben. Vielmehr ergeben die Untersuchungen mit SPE-AOF/EOF höhere Werte als die Summe der Einzelsubstanzen. Ebenfalls zeigte sich bei den Biotests, dass von einer Direkteinleitung des CP-Abwassers abzusehen ist.

### **Emulsionsspaltung**

In der CP-Behandlungsanlage Letmathe werden die Prozessschritte Spaltung, Neutralisation, Fällung und Filtration angewendet, um nach der Emulsionsspaltung gelöste Stoffe in Feststoffe umzuwandeln und diese durch die anschließende Filtration abzuscheiden. Dabei reichern sich die an Partikel gebundenen Spurenstoffe in der festen Phase an. Der verbleibende feste Filterkuchen wird zur Verbrennung in zugelassene Anlagen abgegeben. Das filtrierte Abwasser wird in den Vorlagebehälter vor Einleitung in den Kanal geleitet. Die Eliminationsleistung von Spurenstoffen ist hierbei abhängig von der Bindung der jeweiligen Substanzen.

### **Vakuumverdampfung**

Bei Anwendung einer Vakuumverdampfung werden schwerflüchtige Spurenstoffe durch Verdampfen im Konzentrat angereichert. Das Destillat wird nach der Analyse eingeleitet. Die Eliminationsleistung von relevanten Spurenstoffen im Vakuumverdampfer ist abhängig von der substanzspezifischen Flüchtigkeit.

### **Adsorptive Nachbehandlung mit Aktivkohle im Ablauf nach organischer Behandlung**

In der CP-Behandlungsanlage Frankfurt werden organische belastete Flüssigkeiten behandelt. Nach der Behandlung im Reaktor mit Flockung und Fällung und anschließender Fest-Flüssigtrennung in der Kammerfilterpresse besteht die Möglichkeit, das gereinigte Abwasser zusätzlich über eine Aktivkohlestufe weitergehend zu reinigen. Damit kann die Eliminationsleistung der Aktivkohlestufe bestimmt werden.

### **Massenbilanzierung und Ermittlung der Eliminationsleistung**

Zur Bewertung der Eliminationsleistung von Spurenstoffen in den Behandlungskonzepten der CP-Behandlungsanlagen wird die Differenz zwischen Massenströmen im Zulauf und Ablauf an bestimmten Stufen des Behandlungsprozesses betrachtet. Dabei wird dies bei > 90 % Elimination mit sehr gut bewertet, als gut zwischen 50 – 90 %, schlecht bei < 50 % und sehr schlecht bei < 0 %.

Grundsätzlich zeigt sich, dass keines der Behandlungsverfahren eine komplette Elimination aller Spurenstoffe ermöglicht.

Generell zeigt sich, dass phosphororganische Verbindungen, N-Heterozyklen, Phthalate und PFAS bei allen Versuchen positive Eliminationsleistungen gezeigt haben, ebenso wie PAK und Phenole. Komplexbildner werden erwartungsgemäß nur im Verdampfer gut eliminiert.

Teilweise schlechte Eliminationsleistungen der Aktivkohle sind in deren Betriebsweise begründet, die auf eine Resorption bestimmter Stoffe hindeutet.

Bei der Filtration in einer Kammerfilterpresse werden partikelgebundene Spurenstoffe (z.B. PAK, Phosphororganische Verbindungen, Phthalate) gut bis sehr gut eliminiert, gut wasserlösliche Stoffe (Komplexbildner) nicht. In einer Verdampferanlage werden Komplexbildner gut eliminiert, ebenso wie Phosphororganische Verbindungen und Phthalate, Phenole allerdings eher schlecht. Die Aktivkohlebehandlung nach einer Kammerfilterpresse zeigt – abhängig von der Beladung der Aktivkohle – sehr gute Ergebnisse bei Phthalaten und Triazolen, und gute Ergebnisse bei PFAS.

Eine Korrelationsanalyse zwischen der Eliminationsleistung der Stoffgruppen und der Eliminationsleistung von Summenparametern wie TOC, CSB, AFS und AOX deutet darauf hin, dass anhand dieser Summenparameter eine Vorhersage über die Elimination bestimmter Spurenstoffgruppen möglich wäre. Beispielhaft hierfür ist eine starke Korrelation zwischen Komplexbildner und TOC, oder PAK und AOX. Allerdings müsste das Datenkollektiv dieses Ansatzes durch weitere Versuche vergrößert werden.

### **Handlungsempfehlungen**

In CP-Behandlungsanlagen werden Abfälle behandelt, die aus allen Bereichen der industriellen Tätigkeiten stammen. Die Analysen auf bestimmte Substanzen und die beim Non-Target-Screening festgestellten Verunreinigungen mit Spurenstoffen zeigen, dass diese möglicherweise ohne Kenntnis der Abfallerzeuger als Bestandteile oder Verunreinigungen in verwendeten Chemikalien oder Rohstoffen enthalten sind und somit ihren Weg in die Produkte und den Abfall finden.

Grenzwerte für einzelne Spurenstoffe oder Spurenstoffgruppen sind im Ablauf von CP-Behandlungsanlagen noch nicht definiert. Grenzwerte sind auch im aktuellen Entwurf des Anhangs 27 der AbwV nicht vorgesehen. Grenzwerte müssten überprüft werden können, dazu bedarf es geeigneter Analyseverfahren. Angesichts der Vielzahl der Stoffe eignen sich Verfahren auf Summenparameter am besten. Ein geeigneter Summenparameter für die organischen Fluorverbindungen wäre der SPE-AOF oder der SPE-EOF, mit denen die Summe der PFAS bestimmt werden könnten.

Organisatorische bzw. technisch/organisatorische Maßnahmen können zielführend sein bei der Minderung des Eintrages von Spurenstoffen aus CP-Behandlungsanlagen.

Durch Einschränkung der Verwendung bestimmter Stoffe gelangen diese nicht in die Umwelt. Eine genaue Kenntnis der zu behandelnden Abfälle und deren Inhaltstoffe, insbesondere des Vorhandenseins von Spurenstoffen, ist Grundlage für eine angepasste Behandlung. Hierzu ist ein Informationsaustausch mit dem Abfallerzeuger erforderlich. Bei einer bekannten Belastung mit Spurenstoffen kann die Anwendung eines spezifischen Behandlungskonzeptes deren Gehalt im Abwasser minimieren. Hierzu zählt auch, dass die Abwässer aus der CP-Behandlungsanlage nicht abgeleitet werden, sondern an anderer Stelle genutzt und dabei thermisch behandelt werden, aber auch die direkte thermische Behandlung bestimmter Abfallströme. Generell sollten Abwässer aus CP-Behandlungsanlagen nicht direkt in ein Gewässer abgeleitet werden, sondern über eine kommunale Kläranlage, die bezogen auf den Inputstrom „Abwasser aus CP-Anlage“ eine angemessene Größe haben sollte. Eine weitergehende Reinigung der CP-Abwässer in der CP-Behandlungsanlage, z.B. mit Aktivkohle, kann die Fracht in den abgeleiteten Wässern reduzieren. Eine vierte Reinigungsstufe in einer kommunalen Kläranlage würde ebenso bestimmte Spurenstoffe weitergehend eliminieren. Zur Feststellung der Belastung mit

Spurenstoffen vor und nach Behandlung ist die Ausstattung der CP-Behandlungsanlage mit einem Labor mit geeigneter personeller und Geräte-Ausstattung erforderlich.

Die Ergebnisse des vorliegenden Vorhabens geben eine erste Grundlage für die zukünftige Revision des Merkblatts zu besten verfügbaren Technologien (BVT) zur Behandlung der hier betrachteten gefährlichen Abfälle. Vorgeschlagen wird die Vorbereitung einer BVT-Schlussfolgerung zur Minderung des Eintrages von relevanten Spurenstoffen aus CP-Behandlungsanlagen.

## Summary

The project "Best Available Technique (BAT) for the Reduction of Inputs of Micropollutants from Wastewater of Chemical-Physical Treatment Plants (hereinafter referred to as CP-treatment plants) for Hazardous Waste into Waters" aims to describe suitable organisational and technical measures to minimise the emission of relevant micropollutants from CP-treatment plants.

Relevant micropollutants are anthropogenic organic substances that occur in water bodies in very low concentrations. Micropollutants originate from different areas of application and products such as biocides, human and veterinary pharmaceuticals, plant protection products, industrial chemicals or personal care and detergents. These substances are problematic because they are toxic, get accumulated and are persistent.

The input of micropollutants into water bodies is mostly via municipal or industrial wastewater. Studies have been carried out to determine the levels of trace substances in the effluent of municipal wastewater treatment plants, e.g. in North Rhine-Westphalia. Micropollutants contained in wastewater can hardly be removed in municipal wastewater treatment plants with the technology currently used. Efforts are therefore underway to motivate plant operators to take more far-reaching purification measures, e.g. by expanding with activated carbon filters or ozonation, by amending the Waste Water Charges Act with a surcharge for micropollutants.

### Identifying relevant CP treatment plants

Another possible pathway of micropollutants into water bodies is the direct or indirect discharge of wastewater from chemical-physical treatment plants. These plants mainly treat hazardous wastes that are in liquid or sludge form and have a relatively high water content; in most cases the water content is above approx. 80% by mass. CP treatment plants treat 25-30% of the hazardous waste produced in Germany. These treatment plants play an important role in the appropriate disposal of hazardous waste, even in small and medium-sized enterprises that do not have their own treatment plants for the waste generated in their operations.

In 2016, 24.5 Mt of hazardous waste was generated nationwide. In addition, there were about 390 Mt of non-hazardous waste, some of which were also treated in CP treatment plants. The focus of hazardous waste generation is North Rhine-Westphalia (6.75 Mt/a), followed by Bavaria (3.0 Mt/a) and Baden-Württemberg (3.0 Mt/a).

However, in the statistics, e.g. from DESTATIS, various types of treatment plants are listed under the term "chemical-physical treatment plants", in addition to treatment plants for liquid waste, also plants in which, for example, flue gas cleaning residues are treated in preparation for underground backfilling. In 2019, 459 CP treatment plants were in operation nationwide, with a licensed capacity of 6.95 Mt/a. Nearly half (242) of the plants were listed in Bavaria, with other focal points being North Rhine-Westphalia (83) and Baden-Württemberg (34).

The plants considered in this study mainly treat liquid water-based wastes, which are in liquid or sludge form and have a relatively high water content > 80% by mass. In addition to wastewater, these plants generate sludges that are discharged as hazardous waste under waste code number 19 02 05\* (sludges from physico-chemical treatment containing hazardous substances). For the year 2016, 126 treatment plants are listed that discharge wastes under this waste code number, in a quantity of 283 kt. These facilities are considered relevant for this study.

The treated water-based liquid wastes can be assigned primarily to eight sources based on the waste type catalogue. In total, 5.1 Mt/a of hazardous waste is generated from these sources. In terms of volume, the largest part of waste comes from group 11 "Wastes from chemical surface

treatment and coating of metals and other materials; non-ferrous hydrometallurgy ". Waste group 19 "Wastes from waste treatment plants, public wastewater treatment plants and the treatment of water for human consumption and water for industrial purposes" generated 1.26 Mt, waste group 13 "Oil wastes and wastes from liquid fuels (except edible oil and oils covered by 1, 2 of 3)" 0.68 Mt, and in group 12 "Wastes from mechanical shaping as well as physical and mechanical surface treatment of metals and plastics " another 0.65 Mt. These groups contain the main types of waste treated, e.g. emulsions/cooling lubricants, acids and alkalis, concentrates and metal-containing salt solutions, wash waters, contents of petrol/oil separators, solvent/water mixtures, sludges and liquid, water-containing wastes with high concentrations of biodegradable substances.

Liquid waste is treated by chemical conversion processes (e.g. oxidation, reduction) and physical separation processes (e.g. sedimentation, filtration). The reactors in which the treatment takes place are operated in batch mode if the waste properties vary greatly. Continuous operation is particularly suitable when the properties of the waste remain constant. The solids produced during treatment (sludge, filter cake) are dewatered and, if necessary, conditioned.

The aim of treatment in a CP treatment plant is to remove harmful substances from the waste by separating or converting these substances. After treatment, the CP wastewater may only be discharged into the sewage system or into a water body if the discharge conditions of Annex 27 of the Wastewater Ordinance are met. This currently sets limits for e.g. hydrocarbons and metals. There is currently no regulation for trace substances. In the BAT conclusions for "Waste Treatment", which are currently being transposed into German law by adapting Annex 27 of the Wastewater Ordinance, the trace substances PFOS and PFOA have been introduced only as monitoring parameters for CP treatment and other waste treatment plants.

Based on the evaluation of the data describing relevant CP treatment plants, two CP treatment plants were included in the further implementation of the project.

The CP treatment plant of the Lobbe company in Iserlohn-Letmathe has an evaporator in addition to the traditional treatment in reactors. The CP treatment plant mainly treats waste from the metal and electroplating industries, e.g. emulsions and waste acids and alkalis. Oils separated during the treatment of oily waste water and emulsions are sent for thermal recovery. The sludges and filter cakes produced during treatment are thermally treated in external plants. Waste water containing PFCs can be treated in the evaporator, with the resulting concentrate being sent for thermal treatment. Waste water containing nitrogen and other organic contaminants, e.g. PFAS, can be treated to produce a denitrification agent. Pollutants contained in this denitrification agent can be destroyed when used in waste incineration or cement plants. At the CP treatment plant, a management system for handling waste containing trace substances was introduced. This is based on the identification of potentially contaminated substances in cooperation with waste producers and a trace substance-specific treatment.

The CP treatment plant of Indaver Deutschland GmbH in Frankfurt treats oily water as well as acids, alkalis and industrial waste water in three reactors. Treatment takes place in two treatment lines for organically (e.g. oil-containing liquids) and inorganically contaminated waste (e.g. acids). In the organic treatment line, solids and oils are first separated in a decanter before the water phase is further treated. Acids and alkalis are treated in reactors by material conversion processes. For the treatment of acids, pre-treated water from the organic treatment line, which only has a low residual oil content, is preferably used to cool the heat generated during the reaction. The organically contaminated sludges produced during treatment are thermally treated externally, and the filter cakes are preferably landfilled. As a special feature, the plant has activated carbon filters connected in series, in which post-treatment of the waste

water from the organic treatment line is possible. This is done in particular in the case of increased AOX values in order to comply with the limit values of Annex 27 of the Waste Water Ordinance. In addition to residual organic pollutants, activated carbon filters can also eliminate certain trace substances.

Both plants have well-equipped laboratories, both technically and in terms of personnel, in which extensive analyses are carried out during declaration and incoming analysis, waste treatment and process control, as well as when checking if the waste water can be discharged.

### **Situation analysis and detection of relevant trace substances**

Water-based liquid wastes may contain organic substances that are discharged into water bodies by the effluent from CP treatment plants. It may also contain trace substances classified as priority hazardous in Annex X of the Water Framework Directive, which should be largely transformed or eliminated by treatment, such as polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH) or perfluorooctane sulfonic acid and its derivatives (PFOS). Studies on whether and to what extent these trace substances are present in the wastewater of CP treatment plants exist only to a limited extent, e.g. through studies in North Rhine-Westphalia, which are limited to a few trace substances, e.g. PFOS.

Therefore, the trace substances relevant for CP treatment plants were first determined within the framework of a situation analysis.

By conducting a literature review which was based on (among others) the program for the reduction of water pollution from chemical-physical treatment plants of the state of North Rhine-Westphalia, 104 trace substances were initially identified.

These trace substances were evaluated on the basis of various criteria. Substances were sorted out that are not or only slightly hazardous to water (WKG 0 - 1), have low ecotoxicity (LC50 > 2,000 mg/L) or are readily biodegradable (> 90%). Furthermore, substances whose production, use or import into the EU is prohibited were sorted out. Furthermore, substances that are not listed in Annex X "List of Priority Substances in the Field of Water Policy" were not considered further. Following this assessment, the number of relevant trace substances and trace substance groups was reduced to 44.

From this list, 60 trace substances were further described and characterised in a third assessment phase. The water solubility of a substance as a measure of bioaccumulation provides indications of possible treatment, e.g. in a biological treatment stage. Thus, poorly water-soluble substances adsorb well on solid surfaces. Substances that adsorb well are mostly lipophilic and often insoluble in water. The flocculation and precipitation processes used in CP treatment plants can thus be suitable for their separation due to the attachment of these substances to the resulting flocs. The octanol-water partition coefficient  $\log(K_{OW})$  was used as a criterion for the evaluation. The boiling point and Henry's constant are criteria for the use of a thermal process, e.g. an evaporator. In an evaporator, preferably substances with high-boiling points are retained at an evaporation temperature of higher than 197.3 °C. Henry's constant describes the relationship between the proportion of a dissolved component in the liquid phase and its proportion in the gas phase at equilibrium. Stripping processes are used to separate substances with low-boiling points and with a Henry constant value of lower than 70 Pa·m<sup>3</sup>/mol. Membrane separation processes (e.g. reverse osmosis, ultrafiltration) can be used to separate substances depending on their molecular weight.

A total of 184 operators of CP treatment plants were asked to describe their plants in a questionnaire and in particular to report their experience with trace substances. The plant operators were selected on the basis of the classification of the plants in accordance with the

paragraphs 8.8.1, 8.10.1 and 8.11.1 of Annex 1 of the Fourth Ordinance for the Implementation of the Federal Immission Control Act (Ordinance on Installations Requiring a Permit – 4. BImSchV). The response rate was low with a total of 10.5 %, corresponding to 15 installations. The evaluation of the waste treatment processes used and the treated waste shows that these plants can be considered relevant. The evaluation of the data on trace substances showed that 3 plants detected different trace substances in the effluent. Most of the trace substances were already included in the list of relevant trace substances, which was extended by two more substances (N-heterocycles, PCDD/F).

8 out of the 15 treatment plants take technical and organisational measures to reduce emissions of trace substances, e.g. by avoiding the acceptance and treatment of waste containing trace substances or by treating this kind of waste separately.

After further research in the electronic water management information system ELWAS of the State of North Rhine-Westphalia and an indirect discharger screening measurement programme of the LANUV NRW, the list of trace substances was supplemented by three additional substances (perfluorobutanesulfonic acid isomers, perfluorohexanoic acid, perfluorohexanesulfonic acid isomers).

The result of the research is a list of 28 trace substances and trace substance groups relevant to the project objectives. These are 62 individual substances from various substance groups, such as complexing agents and corrosion inhibitors, perfluorinated and polyfluorinated alkyl compounds (PFAS), organohalogen compounds, phosphorus flame retardants, phthalates, PAHs, polychlorinated biphenyls (PCBs), alkylphenols, dioxins and dioxin-like compounds, chlorinated aromatics and heterocyclic hydrocarbons.

### **Parameter investigations and method development**

The aforementioned trace substances and trace substance groups served as lead substances for method development and parameter investigations of the waste input and wastewater streams of the two CP treatment plants considered in the project.

The selected substances required different analytical methods for the various substance groups:

- ▶ Gas chromatographic (GC) for the non-polar organic trace substances
- ▶ Liquid chromatographic (LC) for the polar compounds
- ▶ GC-MS screening for the identification of further potentially relevant trace organic compounds
- ▶ Analysis of various sum parameters relevant to wastewater (pH, conductivity, AFS, AOX, COD, TOC, TN<sub>b</sub>, Phosphorus, SAK254, KW index)
- ▶ C-IC or HR-CS-GFMAS for the determination of SPE-AOF or SPE-EOF as possible new sum parameters for the monitoring of organic fluorine compounds such as X-ray contrast media or per- and polyfluorinated alkyl compounds (PFAS) in cooperation with Mitsubishi Chemical Europe and the Federal Institute for Materials Research and Testing (BAM).
- ▶ Nitrification inhibition test, TTC test, luminescent bacteria test, daphnia toxicity test, algae toxicity test, fish egg test, YES- and Ames-test to assess the biological and ecotoxicological relevance of trace substances for treatability in a wastewater treatment plant or if they can be discharged into a water body. This test battery was carried out by the ISA and Lobbe in cooperation with the UBA on selected samples as examples.

Due to the complex matrix of waste materials and wastewater and the heterogeneity of the trace substances, standardised methods for the matrix were adapted and new methods including sample preparation procedures were developed.

The determination of organic trace substances in water is mainly carried out by means of gas chromatography (GC) or liquid chromatography (LC) coupled with mass spectrometric detection (MS). These methods allow both qualitative and quantitative determination of individual trace substances, depending on the matrix, even at very low concentrations, e.g. in the range of a few ng/L. However, carrying out the analysis is time-consuming and cost-intensive, since, among other things, enrichment processes and complex pretreatment steps of the sample have to be carried out and the analytical technology is very expensive. For some non-polar undecomposed vaporable substance groups, GC-MS screening is a possible approach.

In order to obtain information on the presence of trace substances quickly and with reasonable effort, the development of summary screening methods would be useful. For organofluorine substances, the determination of adsorbable (AOF) and extractable (EOF) organic fluorine compounds would be a suitable method. These methods also cover a significantly larger number of PFAS compounds in one measurement and thus represent the real PFAS load, which is better than single substance analysis.

### **Monitoring of trace substances and investigation of other parameters**

In the two CP treatment plants, samples of the wastewater (after treatment) and certain input streams were analysed for the presence of the selected 62 trace substances and other accompanying parameters in 2 measurement campaigns. In addition to the trace substances, various active, sum and ecotoxicological investigation methods were also applied and a GC-MS non-target screening was carried out, in which the 10 most intensive signals were compared with the NIST database.

In addition, the biotest battery and AOF screening were applied at the Iserlohn-Letmathe CP treatment plant.

In the CP plant of Iserlohn, almost no PCBs, PCDD/Fs and PFASs were detected in the wastewater samples. Some trace substances were detected in partly high concentrations in the range of µg/L. In the trace substance screening of the typical waste input streams, the selected trace substance groups were detected except for PCB. Some trace substances could not be detected or only in very low concentrations.

In the CP plant of Frankfurt, no PCBs and PAHs were detected in the effluent and input, and no PCDD/Fs were detected in the effluent. Some trace substances from the trace substance groups were detected in the effluent, in some cases in high concentrations. The concentrations vary greatly on different sampling days. In Frankfurt - in contrast to Iserlohn - traces of PFAS were detected. In addition, SPE-AOF, SPE-AOCl, SPE-AOBr and SPE-AOI analyses were carried out. The SPE-AOF was found to be sufficiently sensitive to detect PFAS contamination. This sum parameter was significantly higher than the sum of the individual parameters found. This indicates that the 10 standard PFAS substances cannot represent all PFAS present in the samples.

Similar to Iserlohn, the biotest showed an ecotoxicological effect of the undiluted wastewater.

The investigations also showed that certain measurement methods have to be adapted to the waste or wastewater matrix. The test results in both plants further indicate that highly particulate-bound trace substances such as PCDD/Fs, PCBs and PAHs are apparently effectively eliminated.

### **Non-target GC-MS screening**

The GC-MS screening carried out on all samples shows that, in addition to the selected 62 trace substances, a further approx. 100 trace substances and trace substance groups could be detected, in some cases in relevant concentrations in the range of µg/L to mg/L. This speaks in favour of determining certain groups of substances via sum parameters rather than analysing individual substances.

### **Evaluation of treatment concepts for the elimination of trace substances**

The two CP treatment plants investigated apply concepts to treat components contained in the waste specifically. In a further series of 6 tests, samples were taken at different stages of the treatment process (influent, reactor if applicable, effluent, after-treatment) for the treatment of different wastes in the treatment concepts applied, in order to be able to determine the elimination rate of these processes, also with regard to trace substances:

1. Emulsion splitting with precipitation, flocculation, neutralisation and filtration - elimination by separation of particulate-bound trace substances.
2. Vacuum evaporation - elimination by evaporation of poorly volatile trace substances
3. Adsorptive post-treatment with activated carbon in the effluent after treatment of organically contaminated waste with precipitation, flocculation, neutralisation and filtration - elimination by adsorption of trace substances on activated carbon

The scope of the investigation was reduced from the 62 relevant substances to 36 substances based on the results of the first monitoring. Overall, trace substances were detected in similar ranges as in the first monitoring. A good separation of solids was also shown due to low AFS loads in the effluent. These investigations also showed that the 11 selected PFAS substances do not reflect the total PFAS load. In fact, the investigations with SPE-AOF/EOF yield higher values than the sum of individual substances. The bioassays also showed that direct discharge of CP wastewater is not advisable.

#### **Emulsion splitting**

In the Letmathe CP treatment plant, the process steps of splitting, neutralisation, precipitation and filtration are used to convert dissolved substances into solids after emulsion splitting and to separate them by subsequent filtration. In the process, the trace substances bound to particles accumulate in the solid phase. The remaining solid filter cake is sent to incineration plants. The filtered wastewater is fed into the receiving tank before discharging into the sewer. The elimination rate of trace substances here depends on the binding of the respective substances.

#### **Vacuum evaporation**

When vacuum evaporation is used, trace substances with low volatility are enriched in the concentrate by evaporation. The distillate is discharged after analysis. The elimination rate of relevant trace substances in the vacuum evaporator depends on the substance-specific volatility.

#### **Adsorptive post-treatment with activated carbon in the effluent after organic treatment**

Organic polluted liquids are treated in the CP treatment plant Frankfurt. After treatment in the reactor with flocculation and precipitation and subsequent solid-liquid separation in the chamber filter press, there is an option of additionally purifying the treated wastewater via an activated carbon stage. This allows the determination of the elimination rate of the activated carbon stage.

#### **Mass balancing and determination of the elimination rate**

To evaluate the elimination rate of trace substances in the treatment concepts of CP treatment plants, the difference between mass flows in the influent and effluent at certain stages of the treatment process has been examined. This is rated as very good at > 90 % elimination, as good between 50 - 90 %, poor at < 50 % and very poor at < 0 %.

Basically, it is shown that none of the treatment processes enables complete elimination of all trace substances.

In general, it can be seen that organophosphorus compounds, N-heterocycles, phthalates and PFAS showed positive elimination rates in all tests, as did PAHs and phenols. As expected, complexing agents are only eliminated well in the evaporator. Partially poor elimination rates of activated carbon stage are due to its mode of operation, which indicates a resorption of certain substances.

During filtration in a chamber filter press, particle-bound trace substances (e.g. PAHs, organophosphorus compounds, phthalates) are eliminated well to very well, whereas water-soluble substances (complexing agents) are not. In an evaporator system, complexing agents are eliminated well, as are organophosphorus compounds and phthalates, but phenols are eliminated rather poorly.

The activated carbon treatment after a chamber filter press shows - depending on the loading of the activated carbon - very good results for phthalates and triazoles, and good results for PFAS.

A correlation analysis between the elimination rate of the substance groups and the elimination rate of sum parameters such as TOC, COD, AFS and AOX indicates that a prediction about the elimination of certain trace substance groups would be possible on the basis of these sum parameters. Examples of this are a strong correlation between complexing agents and TOC, or PAH and AOX. However, the database of this approach would have to be enlarged by further experiments.

### **Recommendations for action**

CP treatment facilities treat waste originating from all sectors of industrial activities. The analyses for certain substances and the contamination with trace substances detected in the non-target screening show that these may be contained as components or impurities in chemicals or raw materials used without being known by the waste producers and thus find their way into the products and waste.

Limit values for individual trace substances or groups of trace substances have not yet been defined for wastewater discharged from CP treatment plants. Limit values are also not provided in the current draft of the Annex 27 of the Wastewater Ordinance. It would have to be possible to check limit values, which requires suitable analytical procedures. In view of the large number of substances, methods based on sum parameters are best suited. A suitable sum parameter for organic fluorine compounds would be the SPE-AOF or SPE-EOF, with which the sum of PFAS could be determined.

Organisational or technical/organisational measures can be effective in reducing the input of trace substances from CP treatment plants.

Restricting the use of certain substances prevents them from entering the environment. Precise knowledge of the waste to be treated and its contents, especially the presence of trace substances, is the basis for adapted treatment. This requires an exchange of information with the waste producer. In the case of known contamination with trace substances, the application of a specific treatment concept can minimise their content in the wastewater. This includes not discharging the wastewater from the CP treatment plant, but using it elsewhere and treating it

thermally in the process. It also includes the direct thermal treatment of certain waste streams. In general, wastewater from CP treatment plants should not be discharged directly into a water body, but via a municipal wastewater treatment plant, which should be of an appropriate size in relation to the input stream "wastewater from CP plant". Further purification of the CP wastewater in the CP treatment plant, e.g. with activated carbon, can reduce the load in the discharged waters. A fourth treatment stage in a municipal wastewater treatment plant would also further eliminate certain trace substances. To determine the load of trace substances before and after treatment, the CP treatment plant must be equipped with a laboratory with suitable personnel and equipment.

The results of the present project provide a first basis for the future revision of the Best Available Technologies (BAT) document for the treatment of waste considered here. A BAT conclusion on the reduction of the input of relevant trace substances from CP treatment plants has been proposed.

# 1 Einleitung

## 1.1 Hintergrund

Das Projekt „Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen (nachfolgend als CP-Behandlungsanlagen bezeichnet) für gefährliche Abfälle in Gewässer“ sieht vor, geeignete organisatorische und technische Maßnahmen zur Minimierung des Eintrages von relevanten Spurenstoffen in Gewässer aus CP-Behandlungsanlagen zu beschreiben. Als relevante Spurenstoffe werden nach Hillenbrand & Tettenborn (2017) anthropogene organische Stoffe, die in sehr geringen Konzentrationen in Gewässern vorkommen, definiert. Spurenstoffe stammen aus unterschiedlichen Anwendungsbereichen und Produkten wie z. B. Bioziden, Human- und Tierarzneimitteln, Pflanzenschutzmitteln, Industriechemikalien oder Körperpflege- und Waschmitteln.

Probleme entstehen bei diesen Stoffen oft aufgrund ihrer Bioakkumulation, ihrer Persistenz, ihrer Toxizität oder weil sie mit heute üblicherweise eingesetzten Technologien kaum aus Abwasser zu entfernen sind.

Der Eintrag von Spurenstoffen in Gewässer erfolgt meist über kommunales oder industrielles Abwasser. Im Abwasser enthaltene Spurenstoffe können in Kläranlagen nicht oder nur unvollständig eliminiert werden. Die Spurenstoffe gelangen in Oberflächengewässer, können sich in Sedimenten anreichern oder bei Nutzung des Oberflächengewässers zur Trinkwassergewinnung ins Trinkwasser gelangen.

Für kommunale Kläranlagen gibt es Untersuchungen über den Austrag von Spurenstoffen. Auf Grundlage dieser Untersuchungen werden Strategien vorgeschlagen für weitergehende Reinigungsmaßnahmen.

Industrielle Abwässer werden, soweit sie nicht kommunalen Kläranlagen zugeleitet werden können, über chemisch-physikalische Behandlungsanlagen gereinigt. Untersuchungen über das Vorhandensein von Spurenstoffen in diesen CP-Behandlungsanlagen und deren Verhalten bzw. Elimination bei der Behandlung in der CP-Behandlungsanlage sind derzeit kaum vorhanden.

Im Zuge der Diskussion zum neuen BVT-Merkblatt zur Abfallbehandlung, das 2018 veröffentlicht wurde, wurden für Abfallbehandlungsanlagen, die direkt oder indirekt Abwässer in Gewässer einleiten die Parameter PFOS und PFOA als Überwachungsparameter neu eingeführt, ohne dass für diese Parameter Grenzwerte festgelegt wurden. Mit diesem Projekt sollen Grundlagen ermittelt werden, z. B. über Arten und Vorhandensein von Spurenstoffen, und deren Elimination in typischen CP-Behandlungsanlagen beurteilt werden. Aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen können dann Handlungsempfehlungen für die nächste Revision des BVT-Merkblattes abgeleitet werden.

Die Bearbeitung des Projektes erfolgte in 4 Arbeitspaketen:

### **AP 1: Situationsanalyse und Konzeptionierung**

Mit einer detaillierten Recherche werden die in CP-Behandlungsanlagen behandelten Arten und Mengen an flüssigen gefährlichen Abfällen dargestellt sowie die angewendeten Behandlungsverfahren bzw. die eingesetzte Abwasserreinigungstechnik beschrieben. Dabei werden die Mengen der behandelten Abfälle erfasst und eine Charakterisierung der jeweiligen Abfälle vorgenommen.

Aus der Vielzahl der organischen Verbindungen, die im Ablauf von CP-Behandlungsanlagen nachweisbar sind, bilden die organischen Mikroschadstoffe den Schwerpunkt der Betrachtungen und Recherchen.

Für die Minderung der Frachten bzgl. organischer Mikroverunreinigungen werden verschiedene technische und organisatorische Maßnahmen getrennt und/oder in Kombination eingesetzt bzw. sind einsetzbar. Diese werden im Rahmen der Bestandsaufnahme dargestellt und hinsichtlich ihrer Wirksamkeit und Eignung analysiert. Für die Effizienz von organisatorischen Maßnahmen ist die Kenntnis über die in den jeweiligen Teilströmen vorhandenen Mikroschadstoffe von elementarer Bedeutung. Von besonderer Bedeutung sind hierbei auch die Kenntnisse der Zusammensetzung der angelieferten Abfälle in Zusammenarbeit mit den Erzeugern der Abfälle.

Ebenfalls soll recherchiert werden, durch welche analytischen Methoden und sonstigen Maßnahmen derzeit schon eine frühzeitige Erkennung der Mikroschadstoffe und deren quantitative Bewertung z.B. im Rahmen von Ein- und Ausgangskontrollen zu realisieren wäre. Damit würde die Möglichkeit eröffnet, den Eintrag von organischen Mikroschadstoffen aus industriellen Vorbehandlungsanlagen bzw. aus CP-Behandlungsanlagen in die Gewässer (meist über den Weg der Indirekteinleitung) zu minimieren.

## **AP 2: Parameteruntersuchungen im Labor**

Grundlage von Laboruntersuchungen ist die Festlegung einer Parameterliste (z.B. relevante Mikroschadstoffe und Summenparameter) mit möglichst breitem Umfang.

Bei der Auswahl der Parameter ist zu beachten, dass die Stoffe/ Stoffgruppen sowohl im Input als auch im Output quantitativ analytisch nachgewiesen werden können. Wenn die analytischen Nachweisverfahren im Input von CP-Behandlungsanlagen als Steuerungsgröße zum Betreiben angewendet werden sollen, müssen die Ergebnisse der Untersuchung in hinreichend kurzer Zeit verfügbar sein. Die Nachweisverfahren für die auszuwählenden Parameter müssen reproduzierbare Konzentration sowohl in der Input- Analyse als auch im Abwasser bestimmen können, damit sie als Steuergröße für die Behandlung von Abfällen dienen können.

## **AP 3: Untersuchungen an Praxisanlagen**

In diesem Arbeitspaket erfolgen die Identifizierung der relevanten Abfallströme, die Auswahl von Behandlungsprogrammen, und die Messung bei verschiedenen angewandten Behandlungs-Verfahren.

Nach Auswahl der Parameter zur Untersuchung im AP 2 wurden Abfallströme identifiziert, welche potentiell die ausgewählten Mikroverunreinigungen enthalten können.

Für diese Abfälle wurde ein Behandlungsprogramm entwickelt, welches die in der jeweiligen Anlage vorhandenen verfahrenstechnischen Schritte kombiniert. Dabei soll abfallspezifisch eine Umwandlung der Mikroverunreinigungen zu ungefährlichen Stoffen oder eine Rückhaltung in einer Matrix (z.B. Filter) erreicht werden. Im Allgemeinen werden die Verfahren in Kombination angewendet. Das Behandlungsprogramm wird daraufhin geprüft, ob es sich für die gewählten Parameter selektiv anwenden lässt. Ein weiterer Aspekt ist die Prüfung, ob es bei Anwendung zu medienübergreifenden Effekten führt.

Die abgestimmten Programme wurden dann in den Anlagen für die jeweiligen Abfallstoffe angewendet. Von den Eingangsmaterialien wurden vor Behandlung jeweils möglichst repräsentative Proben genommen und auf die gewählten Parameter analysiert. Der Ablauf des Behandlungsprogramms wurde durch weitere Analysen nach relevanten Verfahrensschritten

untersucht. Im Ergebnis wurde eine Stoffflussanalyse bei Durchlaufen des Behandlungsprogramms für die Mikroverunreinigungen erstellt.

Das Ergebnis der Stoffflussanalyse wird daraufhin ausgewertet, inwieweit die jeweils in den einzelnen Stoffströmen enthaltenen Mikroverunreinigungen nach den jeweils vorgesehenen weiteren Behandlungsschritten (z.B. nachgeschaltete kommunale biologische Abwasserbehandlung, thermische Verwertung) zu einer Veränderung des Eintrages von Mikroschadstoffen in Gewässer führen. Im Ergebnis der Auswertung können zur Minimierung des Eintrags weitere/veränderte Behandlungsschritte oder geänderte nachgeschaltete Verfahren notwendig sein.

#### **AP 4: Handlungsempfehlungen**

Das BVT - Merkblatt Abfallbehandlung wird regelmäßig revidiert. Dabei sollen jeweils neue Erkenntnisse und der weiterentwickelte Stand der Technik einfließen. Bei der letzten Revision des BVT - Merkblatts wurde zum Themenkomplex „Minimierung des Eintrags von Mikroverunreinigungen aus CP-Behandlungsanlagen“ festgestellt, dass zur Darstellung der „best verfügbaren Technik“ keine hinreichenden Daten vorliegen.

Seitens der technischen Arbeitsgruppe wurde empfohlen, bis zur nächsten Revision Untersuchungen zur „best verfügbaren Technik“ anzustellen, die in die nächste Revision Eingang finden.

Ziel des Arbeitspaketes AP 4 ist die Erarbeitung von Empfehlungen/ Vorschlägen zu den best verfügbaren Techniken zur Minimierung des Eintrages von Mikroverunreinigungen aus CP-Behandlungsanlagen. Die „best verfügbaren Techniken“ aus BVT-Merkblättern haben eine besondere Relevanz, da sie national für den Bereich Emissionen ins Wasser in den relevanten Anhängen zur Abwasserverordnung umgesetzt werden müssen. Für den Bereich CP-Behandlungsanlagen für flüssige Abfälle ist dies der Anhang 27 der Abwasserverordnung (AbwV).

## **1.2 Projektziele**

Lang- und mittelfristiges Ziel des Projektes ist es, auf der Grundlage von Daten zu Einträgen von Spurenstoffen über den Ablauf von CP-Behandlungsanlagen Vorschläge und Empfehlungen zu erarbeiten, die bei der nächsten Revision des BVT-Merkblattes zur Abfallbehandlung auf EU-Ebene berücksichtigt werden können (AP 4). Kurzfristig können die gewonnenen Daten und die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen für technische und organisatorische Maßnahmen (AP 3) für eine Anpassung des Anhangs 27 der Abwasserverordnung hilfreich sein, um durch geänderte Vorgaben den Eintrag von Mikroverunreinigungen in Gewässer zu verringern (AP 4). Die Datengrundlage wird aufgrund von Literaturrecherchen, Angaben von Betreibern und Analysen in chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen geschaffen (AP 1, AP 2).

## 2 Situationsanalyse und Konzeptionierung

Während für kommunale Kläranlagen eine Reihe von Daten über den Eintrag von Spurenstoffen in Gewässer vorhanden sind, liegen für den Bereich der chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen allenfalls vereinzelte Daten vor.

Über die Auswertung einer Literaturrecherche wird beschrieben, welche Arten und Mengen von Abfällen in chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen behandelt werden, welche Techniken zur Behandlung angewendet werden, und ob bei Anlagenbetreibern schon Daten zu Spurenstoffen vorliegen. Hierfür wurden Anlagenbetreiber gebeten, mittels Fragebogen Daten zur Verfügung zu stellen.

Um die Anzahl der zu betrachtenden Spurenstoffe einzugrenzen, wird –auf Basis der Angaben der Anlagenbetreiber – deren Auswahl in 3 Stufen eingegrenzt. Diese wurden im Hinblick auf ihre analytische Nachweisbarkeit überprüft. Da für einzelne Stoffe noch keine Bestimmungsmethode vorhanden ist, wurde die Auswahl weiter eingegrenzt. Auf Grundlage dieser Auswahl konnten Analysen in zwei chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen durchgeführt werden. Diese unterscheiden sich im Hinblick auf die angewandte Technik und die behandelten Abfälle, geben allerdings einen guten Querschnitt über die insgesamt in Deutschland behandelten Abfälle wieder.

Für die Analytik einzelner Spurenstoffe in Abwässern und Abfällen stehen keine Analysenverfahren zur Verfügung. Hierfür wurden entweder normierte Verfahren angepasst oder Verfahren neu entwickelt.

In einer ersten Analysekampagne wurde das Abwasser der beiden CP-Behandlungsanlagen im Hinblick auf das Vorhandensein von Spurenstoffen untersucht. In einer zweiten Kampagne wurde für verschiedene Behandlungskonzepte untersucht, ob und in welchem Umfang Spurenstoffe eliminiert werden. Durch eine Massenbilanzierung kann eine Eliminationsleistung der verschiedenen Behandlungsverfahren für einzelne Spurenstoffe bestimmt werden.

Auf Grundlage der Ergebnisse der Analysen und der Beurteilung der Behandlungsverfahren lassen sich Handlungsempfehlungen ableiten.

### 2.1 Definition chemisch-physikalische Behandlungsanlage

Chemisch-physikalische-Abfallbehandlungsanlagen dienen der Aufbereitung von überwiegend gefährlichen flüssigen Abfällen. In diesem Projekt werden nur gefährliche Abfälle betrachtet, die flüssig bis schlammartig sind und einen relativ hohen Wassergehalt oberhalb von 80 Massen-% aufweisen. Im Gegensatz dazu werden in der Auswertung des statistischen Bundesamtes (DESTATIS) (Statistisches Bundesamt, Abfallentsorgung Fachserie 19 Reihe 1 – 2015, Artikelnummer: 2190100157004, 2015) auch solche chemisch-physikalischen Abfallbehandlungsanlagen erfasst, die als Vorbehandlungsanlagen für ausschließlich feste bzw. nur gering wasserhaltige gefährliche Abfälle dienen. Somit umfasst diese Auswertung einen deutlich umfangreicheren Anlagenkatalog.

Abfälle werden rechtlich in Deutschland nach der Abfallverzeichnisverordnung (über das Europäische Abfallverzeichnis, 2001) als „gefährlich“ eingestuft, wenn sie eine oder mehrere von den folgenden Eigenschaften (siehe Anhang A) aufweisen: explosiv, brandfördernd, entzündbar, reizend, toxisch für bestimmte Zielorgane, akut toxisch, karzinogen, ätzend, infektiös, reproduktionstoxisch, mutagen, toxische Gase emittierend, sensibilisierend und ökotoxisch, oder eine der vorstehend genannten Eigenschaften entwickeln, die der ursprüngliche Abfall nicht unmittelbar aufweist.

Falls flüssige gefährliche Abfälle wasserbasiert vorliegen, benötigen sie eine spezielle Aufbereitung, bevor der größere Anteil als flüssiger Teilstrom nach Behandlung als Abwasser in die Kanalisation eingeleitet werden darf, da der ursprüngliche Abfall in der Regel nicht den gesetzlichen Einleitkriterien nach Anhang 27 der Abwasserverordnung oder den Kriterien der jeweils gültigen kommunalen Abwassersatzung genügt. Hierzu werden chemische und physikalische Verfahren angewendet, welche die Abwässer nach der Behandlung in einen für kommunale Kläranlagen geeigneten Zustand bringen. Die direkte Einleitung des Abwassers in ein Gewässer ist zwar ebenfalls möglich, in Deutschland wird allerdings üblicherweise das Abwasser einer kommunalen Kläranlage zugeleitet, in der eine weitergehende Behandlung erfolgt.

Durch die physikalisch-chemische Behandlung werden die eingehenden Abfälle, die überwiegend flüssig mit Anteilen von Feststoffen vorliegen können, umgewandelt. Die nach der Behandlung eingeleiteten flüssigen Rückstände werden dann nicht mehr als Abfälle, sondern als Abwasser bezeichnet und unterliegen rechtlich betrachtet nicht mehr dem Abfallregime. Es gelten somit andere Vorschriften / Verordnungen (u.a. Bundesimmissionsschutzgesetz, Industrieemissionsrichtlinie, Abwasserverordnung und kommunale Abwassersatzungen). Somit verfolgt die CP-Behandlungsanlage als Hauptziel die Umwandlung von gefährlichen in ungefährliche Stoffe, sowie ihre möglichst vollständige Elimination (Umweltbundesamt, Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen, 2006). Generell dienen CP-Behandlungsanlagen nicht nur Mensch und Umweltschutz, sondern stellen wesentliche Voraussetzungen für eine mittelständische Industrie einschließlich Gewerbe dar, da es für diese nicht effizient wäre, eigene Behandlungsanlagen vorzuhalten (Umweltbundesamt, Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen, 2006). Insgesamt behandeln CP-Behandlungsanlagen ungefähr 25 – 30 % aller in Deutschland anfallenden gefährlichen Abfälle (Umweltbundesamt, Chemisch-Physikalische Behandlung, 2013). Produktionsbedingt entstehen auch zukünftig Abfälle, die in CP-Behandlungsanlagen entsorgt werden müssen. Vorteilhaft für Industrie und Gewerbe ist die bedarfsweise Inanspruchnahme von allgemein zugänglichen CP-Behandlungsanlagen. Dies ermöglicht sowohl eine ordnungsgemäße Entsorgung als auch eine wirtschaftliche Entlastung von Industrie und Gewerbe.

CP-Behandlungsanlagen werden in zwei Arten eingestuft (Umweltbundesamt, Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen, 2006):

- ▶ Spezialisten
- ▶ Generalisten

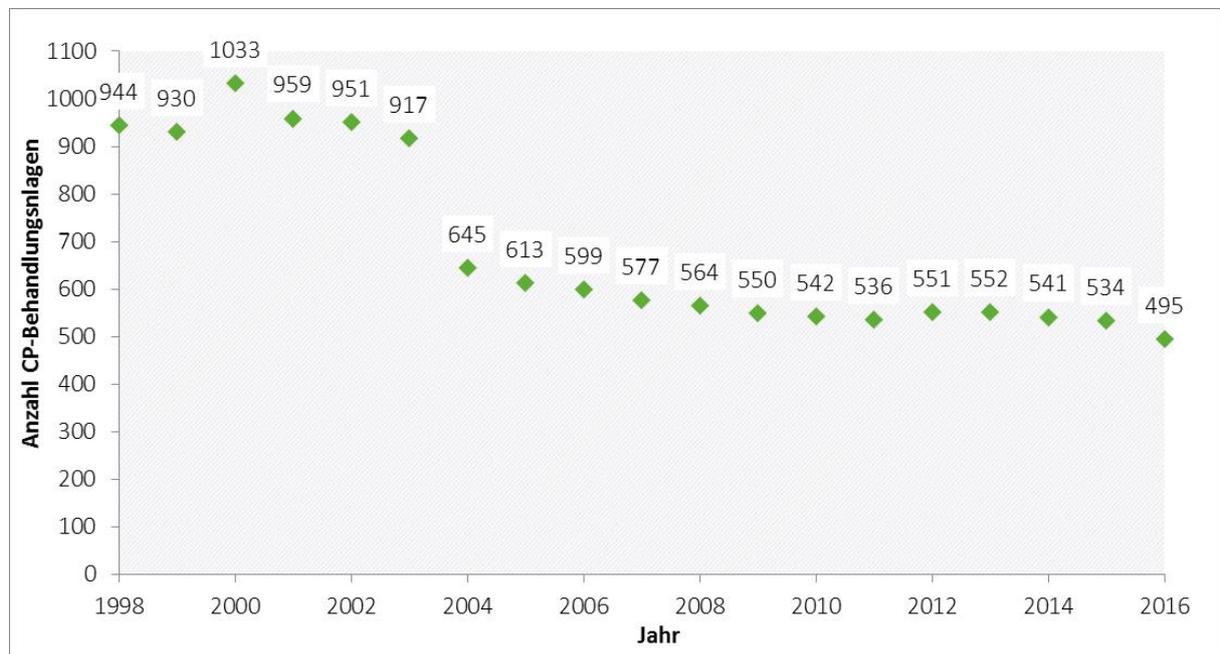
Unter Spezialisten versteht man CP-Behandlungsanlagen, die auf eine bestimmte Art von Abfall aus einem angewendeten industriellen Prozess spezialisiert sind. Diese Anlagen sind meistens an betriebseigene Prozesse gekoppelt, und sind dem Markt nicht zugänglich.

Unter Generalisten versteht man CP-Behandlungsanlagen, die sich für die Behandlung von mehreren Abfallarten eignen und für unterschiedliche Industriezweige zugänglich sind. Im Rahmen dieses Vorhabens liegt der Fokus auf dieser Art von Anlagen.

Basierend auf den Angaben von DESTATIS waren im Jahr 2016 in Deutschland insgesamt 495 chemisch-physikalische Behandlungsanlagen für organisch und/oder anorganisch belastete Abfälle in Betrieb, welche zusammen eine bewilligte Behandlungskapazität von rund 6,95 Mt/a

aufweisen (Statistisches Bundesamt, 2016). In Abbildung 1 ist die Entwicklung der Anzahl an CP-Behandlungsanlagen in Deutschland in den Jahren zwischen 1998 und 2016 dargestellt.

**Abbildung 1: Zeitlicher Verlauf der Anzahl der CP-Behandlungsanlagen in Deutschland**



Quelle: Statistisches Bundesamt 2016, eigene Darstellung FiW

Aus dieser Aufstellung ist erkennbar, dass die Anzahl der CP- Behandlungsanlagen bundesweit seit 2003 abnimmt. Zwischen den Jahren 2003 und 2004 ist eine besonders hohe Abnahme der Anzahl an CP-Behandlungsanlagen zu sehen. Im Jahr 2002 löste das Europäische Abfallverzeichnis (EAV) den Europäischen Abfallkatalog (EAK) ab (Umweltbundesamt, Abfallaufkommen, 2017). Dieser Ersatz führte zu Veränderungen innerhalb der Zuordnung von nicht gefährlichen und gefährlichen Abfällen. Die gefährlichen Abfälle wurden im EAV nach dem Grad der Überwachungsbedürftigkeit eingestuft, während im EAK die Abfälle branchenspezifisch nach Herkunft eingestuft wurden. Letzteres führte zu einer unterschiedlichen Einstufung von Abfällen gleicher Zusammensetzung, je nachdem, wo sie entstanden sind (Statistisches Landesamt, 2016). Seit 2004 ist weiterhin eine Abnahme der Anzahl von CP-Behandlungsanlagen zu erkennen. Wie in Abbildung 2 zu sehen ist, besitzt dieser Trend keine direkte Korrelation mit dem Abfallaufkommen von gefährlichen und nicht gefährlichen Abfällen. Die Abfallmengen schwanken unabhängig von der Anlagenzahl.

**Abbildung 2: Abfallaufkommen der gefährlichen (oben) und nicht gefährlichen (unten) Abfälle**

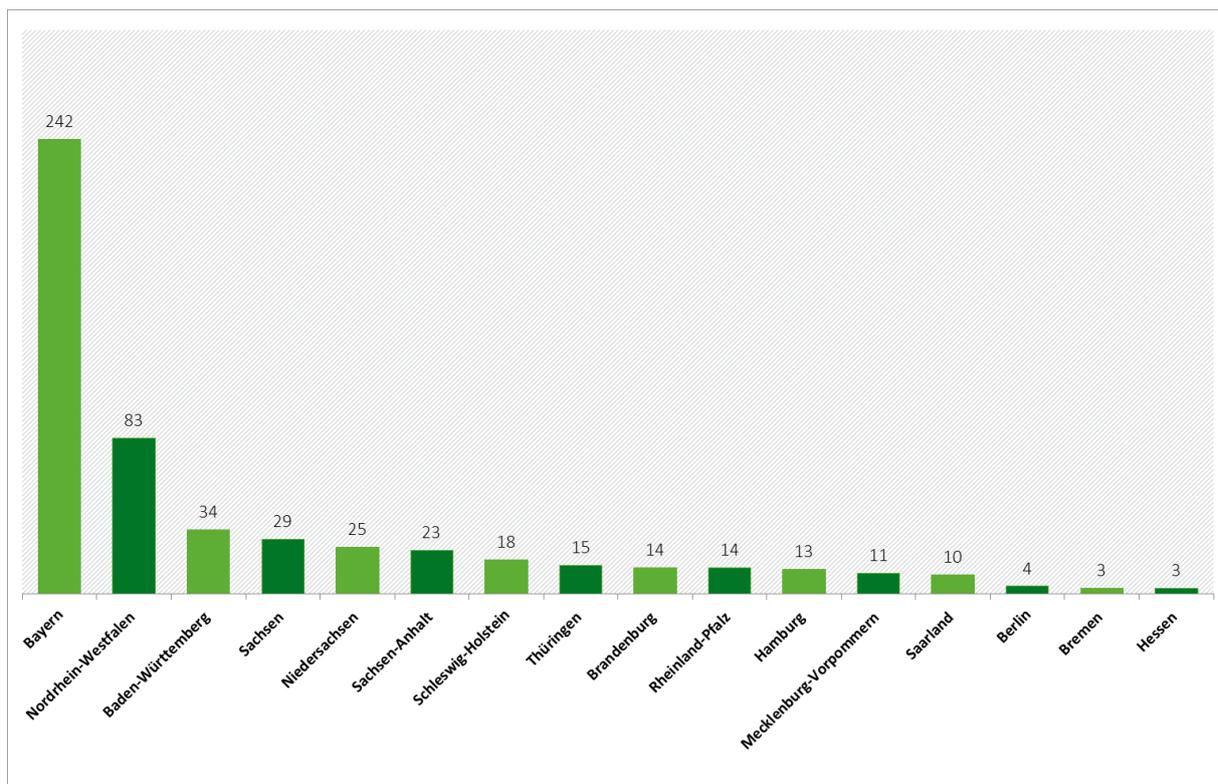


Quelle: Statistisches Bundesamt 2016, eigene Darstellung FiW

Wie diese Ergebnisse zeigen, lässt sich anhand der Abfallmenge kein Zusammenhang zwischen der Abnahme der Anzahl an CP-Behandlungsanlagen und dem Abfallmengenaufkommen herstellen.

CP-Behandlungsanlagen sind bundesweit verteilt. Im Jahr 2016 waren 495 CP-Behandlungsanlagen in Deutschland in Betrieb (Statistisches Bundesamt, DESTATIS, 2016). Allerdings ist deren räumliche Verteilung im Bundesgebiet unterschiedlich. In Abbildung 3 ist die Verteilung der CP-Behandlungsanlagen nach Bundesland zu sehen.

Abbildung 3: Verteilung von CP-Behandlungsanlagen nach Bundesland

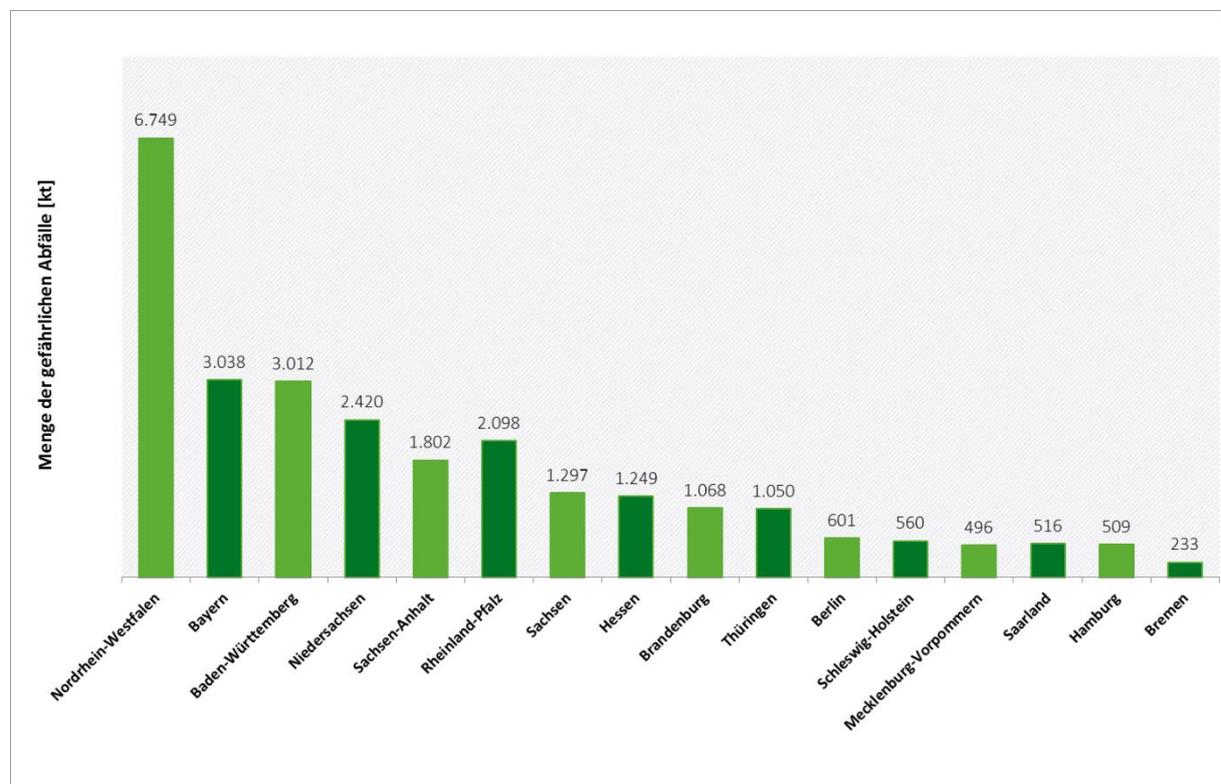


Quelle: Statistisches Bundesamt, Abfallentsorgung Fachserie 19 Reihe 1 – 2014. Artikelnummer: 2190100147004, 2014, eigene Darstellung FiW

Im Bundesland Bayern sind mit 242 Anlagen fast die Hälfte (45 %) aller in Deutschland stehenden CP-Behandlungsanlagen angesiedelt. Nordrhein-Westfalen folgt mit 15 % und Baden-Württemberg mit 6 %. 66 % aller in Deutschland betriebenen Anlagen sind in diesen drei Bundesländern zu finden. Diese Länder sind durch eine ausgeprägte Metall-, Maschinenbau-, und Gesundheitsindustrie sowie deren chemischen und pharmazeutischen Sektoren (Bundesländer auf einen Blick, 2016) gekennzeichnet. Ein weiterer Industriesektor, der die Behandlung von gefährlichen flüssigen Abfällen in CP-Behandlungsanlagen stark in Anspruch nimmt, ist die Automobilindustrie. Sie ist ebenfalls in den bereits erwähnten Bundesländern tätig sowie in Sachsen, Niedersachsen und Sachsen-Anhalt. Die drei letztgenannten Bundesländer machen zusammen knapp 14 % der gesamten Anzahl der CP-Behandlungsanlagen aus. Abbildung 4 zeigt die Menge an gefährlichen Abfällen, die im Jahr 2016 in Deutschland angefallen sind. Es wird deutlich, dass in Nordrhein-Westfalen die größte Abfallmenge von 6.749 kt produziert wird, dies entspricht 25 % aller in Deutschland entstandenen gefährlichen Abfälle. Bayern und Baden-Württemberg weisen jeweils eine Abfallmenge von 3.038 bzw. 3.012 kt auf und machen zusammen mit Nordrhein-Westfalen 45 % der anfallenden gefährlichen Abfälle aus. Diese Abfallmengen stimmen allerdings nicht genau mit der Verteilung der CP-Behandlungsanlagen in dem jeweiligen Bundesland überein. Eine mögliche Erklärung dafür ist, dass der Begriff der CP-Behandlungsanlage ein breites Spektrum an unterschiedlichen Anlagenarten umfasst. Die von DESTATIS angegebenen CP-Behandlungsanlagen beinhalten nicht nur die „klassischen“ Anlagen mit kombinierten chemisch-physikalischen Verfahren, sondern auch andere Anlagenarten, beispielsweise Destillationsanlagen, Silberelektrolyseanlagen oder Anlagen zur Behandlung von Rauchgasreinigungsabfällen vor der untertägigen Verwertung. Aus diesem Grund kann es zu Unstimmigkeiten zwischen Abfallmenge und Anzahl an CP-Behandlungsanlagen kommen. So bestehen in Sachsen-Anhalt weniger, dafür

jedoch große Anlagen mit großen Durchsätzen. Auch befinden sich hier Anlagen, die große Mengen an Rauchgasreinigungsrückständen aus MVA aufarbeiten.

**Abbildung 4: Abfallaufkommen – gefährliche Abfälle nach Bundesland im Jahr 2016**



Quelle: Statistische Ämter, 2017, eigene Darstellung FiW

## 2.2 Behandelte Arten und Mengen an flüssigen gefährlichen Abfällen

Unter den im Bericht des Bundesamts für Statistik gelisteten Anlagen zur CP-Behandlung werden alle Typen summiert, die chemisch-physikalische Verfahren in Kombination anwenden. Die Anlagen, die in dieser Studie betrachtet werden sollen, behandeln im Wesentlichen flüssige wasserbasierte Abfälle, die flüssig bis schlammartig sind und einen relativ hohen Wassergehalt oberhalb von 80 Massen-% aufweisen. Sie zeichnen sich u.a. dadurch aus, dass sie nach der Behandlung zwei wesentliche Output-Ströme abgeben:

- ▶ Abwasser nach der CP-Behandlung, welches indirekt in ein Gewässer eingeleitet wird.
- ▶ Schlammartige Abfälle nach der CP- Behandlung

Die schlammartigen Abfälle, zumeist Filterkuchen aus der Schlammentwässerung in einer Kammerfilterpresse, werden nach eigener Recherche von den Anlagenbetreibern der CP-Behandlungsanlagen überwiegend als gefährlicher Abfall unter der Abfallschlüsselnummer 190205\* (Schlämme aus der physikalisch-chemischen Behandlung, die gefährliche Stoffe enthalten) abgegeben.

Im Bericht des statistischen Bundesamtes sind für das Jahr 2016 126 CP-Behandlungsanlagen gelistet, die Abfälle unter der o.g. Abfallschlüsselnummer abgegeben haben. Die insgesamt abgegebene Schlammmenge dieser Anlagen im Jahr 2016 betrug 282,9 Mg. Diese 126 CP-Behandlungsanlagen werden daher als relevant im Sinne dieser Studie angesehen.

Der Fokus dieses Vorhabens liegt auf Behandlungsanlagen für wasserbasierte organische und/oder anorganische flüssige Abfälle. In Tabelle 1 werden auszugsweise die acht für dieses Vorhaben relevanten Herkunftsbereiche der Abfälle dargestellt. Auch die Menge der Abfälle, die in diesen CP-Behandlungsanlagen behandelt wurden, ist der Tabelle 1 zu entnehmen. Die vollständige Tabelle ist im Anhang B zu finden.

**Tabelle 1: Zuordnung von Abfällen zu dem jeweiligen Input**

1. Ziffer der Abfallschlüsselnummer	CP-Behandlungsanlagenrelevante Abfallarten des Abfallverzeichnisses	Menge [kt]
01	Abfälle, die beim Aufsuchen, Ausbeuten und Gewinnen sowie bei der physikalischen und chemischen Behandlung von Bodenschätzen entstehen	42
07	Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen	439
08	Abfälle aus Herstellung, Zubereitung, Vertrieb und Anwendung (HZVA) von Beschichtungen (Farben, Lacke, Email), Klebstoffen, Dichtmassen und Druckfarben	174,7
11	Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen; Nichteisen-Hydrometallurgie	1.383,3
12	Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen	649,8
13	Ölabfälle und Abfälle aus flüssigen Brennstoffen (außer Speiseöl und Öle die unter 1, 2 der 3 fallen)	678,2
16	Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind	443,7
19	Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke	1260,2

Quelle: Statistisches Bundesamt, Abfallentsorgung Fachserie 19 Reihe 1 – 2015. Artikelnummer: 2190100157004, 2015)

Aus Tabelle 1 wird ersichtlich, dass der Ursprung der angegebenen Abfallarten sehr unterschiedlich sein kann. Da die Abfälle aus einer Vielfalt von Industrieprozessen stammen, sind deren Zusammensetzungen und Belastungen sehr unterschiedlich.

Die Abfälle entstehen bei spezifischen industriellen und gewerblichen Produktionsabläufen sowie bei Wartungs-, Instandsetzungs-, Reinigungs- und Pflegearbeiten. Dementsprechend wird ihre Behandlung in jeder CP-Behandlungsanlage an die jeweilige Abfallzusammensetzung angepasst. Somit ist eine allgemeine Zuordnung von Abfällen zu Behandlungsanlagen nicht möglich, da Abfälle bestimmter Eigenschaften individuellen Behandlungsverfahren zugeordnet werden. Es handelt sich üblicherweise um folgende Abfallarten:

- Emulsionen/ Kühlschmierstoffe

- ▶ Säuren
- ▶ Laugen
- ▶ Konzentrate/ metallhaltige Salzlösungen
- ▶ Waschwässer
- ▶ Inhalte von Benzin-/ Ölabscheidern
- ▶ Lösemittel-/ Wassergemische
- ▶ Schlämme
- ▶ flüssige, wasserhaltige Abfälle mit hohen Konzentrationen an biologisch abbaubaren Stoffen

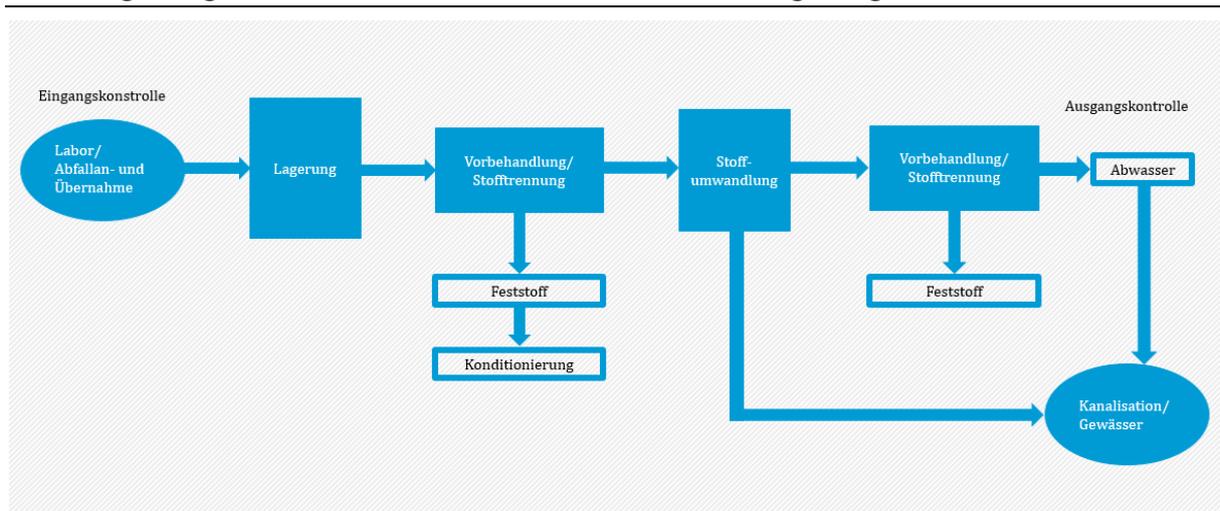
Trotz verschiedener Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung der Abfallmengen muss weiterhin mit dem produktionsbedingten Entstehen dieser Abfälle gerechnet werden.

Die Verminderung der Abfallmengen führt jedoch durch z.B. längere Nutzung von Emulsionen oder Bädern in galvanischen Betrieben häufig zu einer Aufkonzentrierung oder Vermischung verschiedener, kleinerer Abfallströme bei den Abfallerzeugern, was wiederum mit einer aufwändigeren Behandlung in den Behandlungsanlagen verbunden ist. An diese Veränderungen passen sich die CP-Behandlungsanlagen technisch, betrieblich und organisatorisch an.

## 2.3 Angewendete Behandlungsverfahren

Die Art und Reihenfolge der Verfahrensschritte zur Behandlung der flüssigen Abfälle hängen von der Art und den Eigenschaften des jeweiligen Abfalls ab. Dementsprechend gibt es keine „Standard“-CP-Behandlungsanlage, sondern jede Anlage wird gemäß den eingehenden Abfallarten und Mengen aus dem Bereich der Erzeuger für den eigenen Betrieb konzipiert und dimensioniert. Abbildung 5 zeigt einen allgemeinen Prozessablauf von einer repräsentativen CP-Behandlungsanlage.

Abbildung 5: Allgemeiner Prozessablauf auf einer CP-Behandlungsanlage



Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Neben den eigentlichen chemischen und physikalischen Behandlungsverfahren sind die Eingangs- und Ausgangskontrolle sowie die Lagerung der Abfälle von besonderer Bedeutung. Das Ziel der Eingangsuntersuchung ist ein Abgleich der angelieferten Abfallzusammensetzung

mit den bereits hinterlegten Abfalldaten des jeweiligen Kunden. Diese Abfalldaten werden im Vorfeld durch eine Laboranalyse einer Abfallprobe erfasst, die sogenannte Deklarationsanalyse. Anhand der Analysenergebnisse bestimmt das Labor die am besten geeignete Behandlungsmaßnahme bzw. die Behandlungslinie für den jeweiligen Abfallstrom.

Bei der Behandlung der Abfälle wird zwischen den Verfahren zur chemischen Stoffumwandlung (z.B. Oxidation oder Reduktion) und zur physikalischen Stofftrennung (z.B. Sedimentation, Filtration) unterschieden. Schlammwässerung und Schlammkonditionierung werden ebenfalls zur chemischen und physikalischen Behandlung gerechnet. Für eine geeignete Abfallaufbereitung werden die Reaktoren der CP-Behandlungsanlagen in zwei Betriebsweisen gefahren:

1. Batch: besonders geeignet bei stark veränderlichen Eigenschaften bzw. Reaktionsverhalten der zu behandelnden Abfälle. Diese Betriebsart erlaubt die Behandlung von Chargen, die aufgrund ihrer Eigenschaften eine individuelle Behandlung erfordern, wie z.B. bei der organischen Spaltung.
2. Kontinuierlich: besonders geeignet bei etwa gleichbleibenden Eigenschaften/weitgehend gleichbleibendem Reaktionsverhalten der zu behandelnden Abfälle; die gleichbleibenden Eigenschaften sind entweder durch die Abfallentstehung bedingt (z. B. betriebsinterne Anlage) oder werden durch geeignete Lager zur Vergleichmäßigung der Abfallqualität, die aufgrund der Eingangskontrolle demselben Behandlungsplan zugewiesen worden sind, erreicht.

Typische Verfahren zur Stoffumwandlung und Stofftrennung, die auf CP-Behandlungsanlagen zum Einsatz kommen, sind in Tabelle 2 aufgelistet (Thaler P., 2010), (Umweltbundesamt, Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen, 2006), (Wagner, 2010).

**Tabelle 2: Typische Behandlungsverfahren in CP-Behandlungsanlagen**

Verfahren	Behandlung von z.B.
<b>Stofftrennung - physikalische Verfahren</b>	
Absorption/ Adsorption	organisch belasteten Abfallwässern (zum Beispiel belastet mit TOC, AOX, PCB)
Eindampfung/ Destillation	Emulsionen/ ölhaltigen Lösungen, Salzlösungen
Emulsionsspaltung mit organischen Spaltmitteln	Emulsionen
Extraktion	metall- und salzhaltigen Schlämmen
Filtration	ölhaltigen Lösungen
Flotation	Suspensionen, Emulsionen und ölhaltigen Lösungen
Ionenaustausch	Säuren, Laugen, Behandlung der wässrigen Phase aus anderen Verfahren
Membranfiltration	wässrigen, ölverunreinigten Substanzen; Abwässern; Entsalzung von Abwässern

Verfahren	Behandlung von z.B.
Säurespaltung	Emulsionen
Sedimentieren/ Zentrifugieren	Entwässerung von Schlämmen
Sieben	Emulsionen, ölhaltigen Lösungen, (organische) Lösungsmittel und Tensidhaltigen Lösungen
Strippung	Ammoniak-, Cyanid- und Kupferhaltigen Lösungen, Fixierbäder (Fotografie) und Konzentraten
Thermische Verfahren	fest/ flüssig, ungelösten Abwasserinhaltsstoffen
Zementation	Galvanikschlämmen (Metallrückgewinnung aus flüssiger Phase)
<b>Stoffumwandlung - chemische Verfahren</b>	
Elektrolyse	Cyaniden, Komplexbildnern, Metallrückgewinnung (z.B. Silber aus Fotografieabfall)
Flockung/ Fällung	Emulsionen
Neutralisation	Säuren/ Laugen
Oxidation/ Reduktion	Cyaniden, Nitriten, Chromverbindungen, organischen Säuren, Waschwasser

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Aufgrund der heterogenen Abfallqualitäten müssen die angewandten Behandlungsverfahren an die chemischen, physikalischen und toxikologischen Eigenschaften der Abfälle angepasst werden. Die Anlagen verfügen daher über unterschiedliche Behandlungstechniken, die für die verschiedenen Abfälle aus den unterschiedlichen Industrien ausgelegt werden. Beispielsweise sind die Abfälle aus den Metallverarbeitungs- und Galvanikindustrien durch ihre hohen Schwermetallgehalte (zum Beispiel Chrom, Blei und Nickel) charakterisiert. Bei der metallverarbeitenden Industrie entsteht zudem eine besonders große Menge an Emulsionen (zum Beispiel Kühlmittel, Kühlschmiermittel, Waschflüssigkeiten). Die Abfälle aus der chemischen Industrie, die ein breites Spektrum an chemischen Prozessen umfasst, bestehen im Allgemeinen aus sauren Abwässern und Schlämmen (Thomé-Kozmiensky, 1987). Allgemein lassen sich die Behandlungswege auf der CP-Behandlungsanlage wie folgt gliedern:

1. Cyanidentgiftung
2. Chromatentgiftung
3. Emulsionstrennung
4. Neutralisation
5. Abwasserbehandlung
6. Schlammbehandlung

## 2.4 Praxisanlagen im Forschungsvorhaben

Für das vorliegende Forschungsvorhaben wurden zwei CP-Behandlungsanlagen im industriellen Maßstab für die Untersuchungen der relevanten Spurenstoffe bzw. deren Minderung im

Behandlungsprozess ausgewählt. Diese sind die Anlagen Iserlohn-Letmathe der Fa. Lobbe und Frankfurt a.M. der Fa. Indaver.

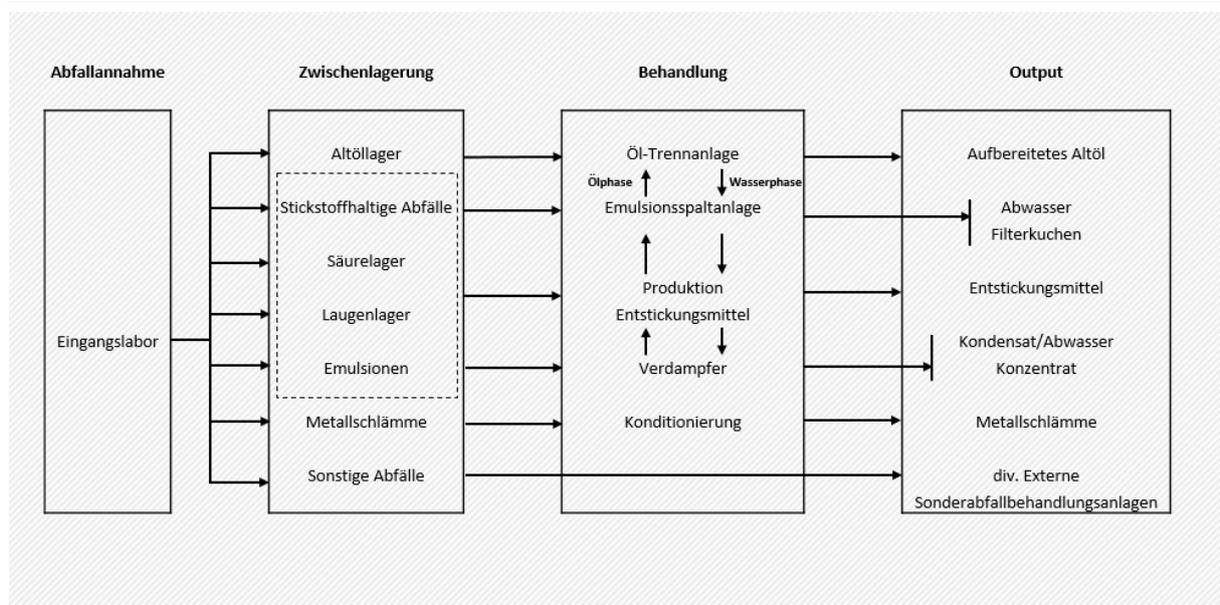
Die beiden gewählten Behandlungsanlagen sind insofern auch repräsentativ, da sie den Stand der Technik im Bereich der CP-Behandlungsanlagen darstellen. Dabei ist dies aus Sicht der Autoren begründet in den angewendeten Behandlungsverfahren in diesen beiden Anlagen, da bei anderen Marktteilnehmern vergleichbare Behandlungstechniken angewendet werden. Die zur Anwendung kommenden Behandlungsverfahren geben dabei auch einen repräsentativen Querschnitt über die derzeit angewendeten Behandlungsverfahren wieder. Auch ist die Ausstattung der Anlagen, was z.B. Labore und angewandte Analyseverfahren, Personal und dessen Fachkenntnis sowie weitere infrastrukturelle Maßnahmen wie z. B. Lagerhaltung oder Rückverfolgbarkeit von Abfällen zu Abfallerzeugern entsprechend dem Stand der Technik, wie im BVT-Merkblatt beschrieben.

Im Weiteren werden die Anlagen, deren Inputstoffe und die angewendeten Verfahren beschrieben.

#### 2.4.1 CP-Behandlungsanlage der Fa. Lobbe in Iserlohn-Letmathe

Die CP-Behandlungsanlage der Firma Lobbe in Iserlohn-Letmathe behandelt zum größten Teil Abfälle aus der Metall- und Galvanikindustrie. Diese Abfälle bestehen hauptsächlich aus Emulsionen, Abfallsäuren, Abfalllaugen, stickstoffhaltigen Abfällen und Schlämmen. Die in der Abbildung 6 dargestellte Verfahrenstechnik der CP-Behandlungsanlage ist an die angenommenen Abfälle angepasst. Die CP-Behandlungsanlage ist in vier Arbeitsbereiche aufgeteilt: Abfallannahme, Zwischenlagerung, Behandlung und Output für die bei der Behandlung entstehenden Abfallstoffe (siehe Abbildung 6). Des Weiteren wird die Reihenfolge der Prozessschritte spezifisch vom jeweiligen zu behandelndem Abfall bestimmt.

**Abbildung 6: Verfahrensbild der CP-Behandlungsanlage Lobbe Iserlohn-Letmathe**



Quelle: Eigene Darstellung, Lobbe

Im Eingangslabor wird der Inhalt von jedem anliefernden Fahrzeug und Behälter kontrolliert. Die Eingangskontrolle ist abfallspezifisch und wird in Abhängigkeit von den Ergebnissen der Deklarationsanalyse angepasst. Die Deklarationsanalyse wurde im Vorfeld zur besseren Kenntnis der Zusammensetzung des Abfalles durchgeführt. Hier wird unter anderem bei jedem

angelieferten Abfall das Vorhandensein der Spurenstoffe Benzotriazole, Sulfolan und PFAS überprüft. Neben der Kontrolle des Abfalles wird im Eingangslabor auch das Verhalten des Abfalles in der CP-Behandlungsanlage simuliert. Die Ergebnisse des Eingangslabors werden an die Annahme übermittelt. Hier wird der Inhalt der LKWs getrennt nach den Abfallarten Feststoffe, Ölemulsionen, Öle, Laugen, Säuren, Metallschlämme und stickstoffhaltigen Flüssigkeiten entleert, und in unterschiedlichen Behälter zwischengelagert. Im Falle, dass in den Fahrzeugen (Saugwagen, Tankwagen) nach dem Entleeren noch Reststoffe enthalten sind, werden diese in die Ausstoßbecken restentleert und dort auch die Tanks der Fahrzeuge gereinigt. Die Reststoffe aus den Fahrzeugen werden weiter in Flüssigkeit und Feststoff getrennt. Während die Flüssigkeiten in der CP-Behandlungsanlage weiterbehandelt werden, werden die Feststoffe mit einem Absorbermaterial konditioniert und anschließend in einer Verbrennungsanlage ordnungsgemäß entsorgt.

In der CP-Behandlungsanlage werden Emulsionen mit Abfallsäuren in eine ölhaltige und in eine wässrige Phase gespalten. Die aufschwimmenden Öle können dabei mittels Skimmer aus den Behandlungsbehältern abgezogen und zusammen mit Altöl aus anderen Abfallanlieferungen gemischt und aufbereitet werden. Das verbleibende saure Wasser wird mit Kalkmilch und anderen alkalischen Abfallprodukten neutralisiert, um Metalle auszufällen.

Das ausgefällte und ausreagierte Fällprodukt wird in einer Kammerfilterpresse entwässert. Danach wird das behandelte Abwasser in Lagertanks gespeichert, nach den rechtlichen Rahmenbedingungen für Indirekteinleiter geprüft und batchweise in die Kanalisation eingeleitet. Von dort wird das Abwasser in die Kläranlage des Ruhrverbandes Iserlohn-Letmathe eingeleitet.

In einem weiteren Bereich der CP-Behandlungsanlage kann aus stickstoffhaltigen und flüssigen Abfällen durch Nutzung von Abfallsäuren und Abfalllaugen ein Entstickungsmittel hergestellt werden. Die Zuordnung zu diesem Behandlungs-Bereich wird in der Deklarationsanalyse oder bei Eingang des Abfalles im Eingangslabor abfallspezifisch festgelegt. Da das Produkt in einem thermischen Prozess zum Einsatz kommt, können die darin möglicherweise enthaltenen Spurenstoffe thermisch zerstört werden. Das Entstickungsmittel wird z.B. bei der Rauchgasentstickung in Müllverbrennungsanlagen oder in Kraftwerken verwendet.

In einem dritten Behandlungsbereich wird ein Verdampfer der Firma KMU Loft Cleaning GmbH eingesetzt, um unter anderem Löschwasser, welches mit PFC aus der Anwendung von Feuerlöschmitteln belastet ist, oder andere Abwässer zu behandeln, die mit den oben beschriebenen Verfahren schlecht zu behandeln sind, da schlecht ausfällbare Bestandteile enthalten sind, z. B. Komplexbildner.

Der Verdampfer kann zudem bei Abwässern angewendet werden, die potentiell mit Spurenstoffen belastet sind. Im Verdampfer werden solche Spurenstoffe im Konzentrat aufkonzentriert.

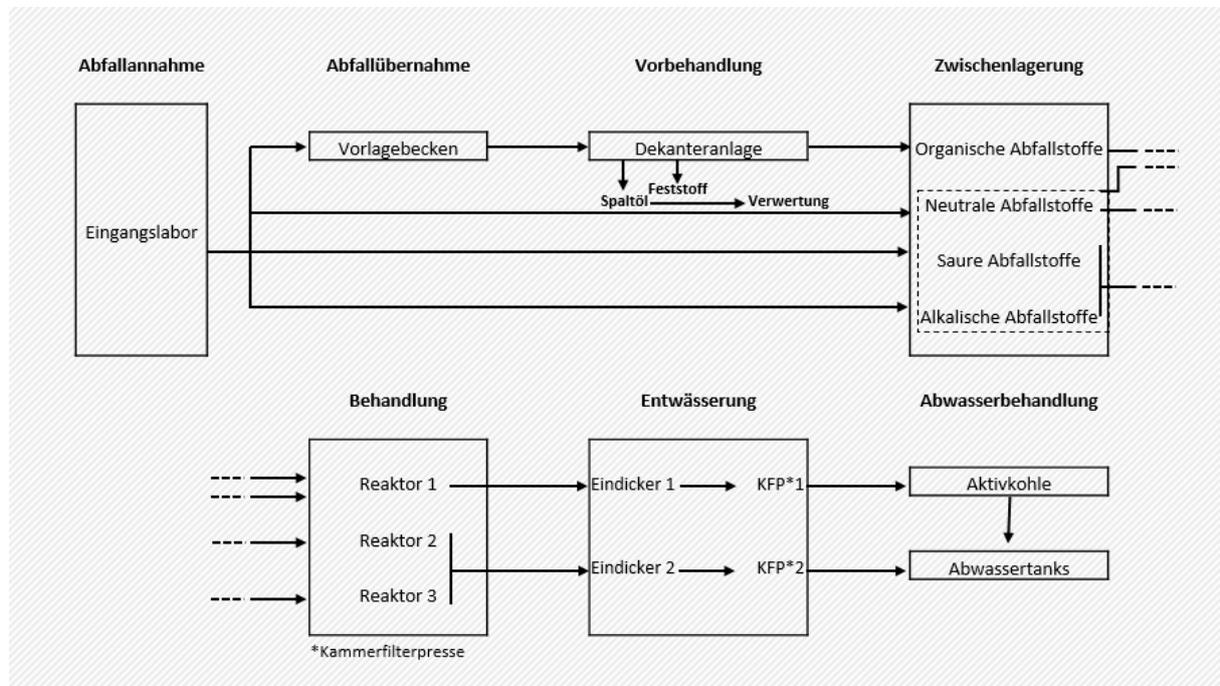
Das verdampfte Wasser wird nach der Prüfung der maximal zulässigen Konzentrationen der Indirekteinleitergenehmigung, der Entwässerungssatzung der Stadt Iserlohn und nach dem Anhang 27 der Abwasserverordnung in die Kanalisation eingeleitet. Das Konzentrat des Verdampfers wird anschließend extern mittels einer Hochtemperaturverbrennung behandelt.

#### **2.4.2 CP-Behandlungsanlage der Fa. Indaver in Frankfurt a.M.**

Die CP-Behandlungsanlage Frankfurt a.M. behandelt hauptsächlich Abfälle aus der chemischen Industrie und der Metallbehandlung. Vor der ersten Abfallannahme eines neuen Kunden wird eine Deklarationsanalyse des zu behandelnden gefährlichen Abfalls durchgeführt. Diese dient

zur Ermittlung der Behandelbarkeit. Die damit festgestellten Eigenschaften des Abfalls ermöglichen eine effiziente und abfallspezifische Aufbereitung. Die Abfallzusammensetzung bestimmt die Arbeitsweise der CP-Behandlungsanlage. In der folgenden Abbildung 7 ist das Verfahrensbild der CP-Behandlungsanlage Frankfurt a.M. dargestellt.

**Abbildung 7: Verfahrensbild der CP-Behandlungsanlage Indaver Frankfurt a.M**



Quelle: Eigene Darstellung, Indaver

Bei der Anlieferung des Abfalls wird im Eingangslabor eine Identifikationskontrolle durchgeführt, die mit den Ergebnissen der Deklarationsanalyse verglichen wird. Dabei werden abfall- und anlieferungsspezifisch die Sicherheits- und Behandlungsmaßnahmen festgelegt. Die CP-Behandlungsanlage betreibt vier Behandlungsstränge für Abfälle, welche im Großteil eine flüssige bis pastöse Konsistenz aufweisen: organisch, neutral, sauer und alkalisch. Der organische Abfallinput wird bei der Abfallübernahme in ein Vorlagebecken entleert und gelangt danach zur Vorbehandlung in einer Dekanteranlage. Hier wird das Abfallgemisch in Feststoffe, Öl und Dekantat (wässriger Anteil) getrennt. Während die Feststoffe konditioniert und anschließend deponiert oder thermisch verwertet werden, wird das Spaltöl extern aufbereitet und damit weiterverwertet. Das Dekantat wird bei Bedarf zwischengelagert und anschließend in einem Reaktor mittels Neutralisation, Reduktion, Oxidation und Fällung behandelt. Dazu können bei Eignung und Verfügbarkeit die neutralen, sauren und alkalischen Abfälle genutzt werden. Die Behandlung des organischen Abfallstromes erfolgt in der CP-Behandlungsanlage insgesamt diskontinuierlich.

Bei der Behandlung der neutralen, sauren und alkalischen Abfälle werden diese individuell und/oder kombiniert mit anderen angelieferten Altchemikalien behandelt. Die Neutralisation der Abfallsäuren und Abfalllaugen erfolgt dabei in den Reaktoren chargenweise, da die Konzentrationen der angelieferten Abfälle und Altchemikalien Schwankungen unterliegen und ein gewisses Gefahrenpotenzial besteht. Das Gefahrenpotenzial liegt in unerwarteten und erwarteten exothermen Reaktionen zwischen den Säuren und Laugen. Des Weiteren sollen damit unerwünschte Reaktionen vermieden werden. Daher erfolgt in der CP-Behandlungsanlage eine Mischung von chemisch ähnlichen Substanzen erst dann, wenn die Freigabe nach der

Analyse im Labor erfolgt. Die Abfallsäuren und Abfalllaugen werden zusätzlich mit Flockungs- und Fällmittel behandelt.

Nach der Behandlung werden sowohl die anorganischen als auch die organischen Abfallströme mittels Kammerfilterpresse in eine Festphase und eine wässrige Phase getrennt. Der Abwasserstrom aus der organischen Behandlung wird bei Bedarf zusätzlich durch eine Aktivkohlefilterung aufbereitet. Der Aktivkohlefilter dient neben der Nachbehandlung des organischen Stromes zum Einhalten der TOC- und AOX-Grenzwerte auch zur Spurenstoffentfernung. Der Aktivkohlefilter in der CP-Behandlungsanlage besteht aus drei Behältern, die wechselnd als Vor-, Haupt- und Reservefilter eingesetzt werden. Der Vorfilter ist dabei bereits belastet, um den Hauptfilter zu entlasten. Ist der Vorfilter maximal belastet, wird dessen Aktivkohle getauscht, und der vorherige Hauptfilter als Vorfilter eingesetzt, und der mit frischer Aktivkohle beladene Reservefilter als Hauptfilter. Mit dieser Betriebsweise ist eine kontinuierliche Nutzung des Aktivkohlefilters möglich. Die Nutzungsdauer des Aktivkohlefilters der CP-Behandlungsanlage beträgt jeweils zwei bis drei Monate. Der Abwasserstrom aus der organischen Behandlung durchfließt den Aktivkohlefilter im Kreislauf, anschließend erfolgt eine Pufferung in einem Abwasserbehälter. Hier wird überprüft, ob die Grenzwerte des Anhangs 27 der Abwasserverordnung und der Abwassersatzung der Stadt Frankfurt eingehalten werden. Die beiden Abwasserströme aus dem organischen und anorganischen Behandlungsstrang werden in Abwassertanks mit 40 m<sup>3</sup> Inhalt gepuffert, die jeweils einzeln beprobt und analysiert werden. Nach der betriebsinternen Prüfung der Einleitbedingungen werden die Abwässer batchweise in die Kanalisation abgepumpt und somit dem städtischen Klärwerk der Stadt Frankfurt zugeleitet. Die Einhaltung der Ablaufwerte wird neben der batchweisen Beprobung durch das betriebseigene Labor auch in Stichproben regelmäßig monatlich durch die Stadt Frankfurt und zusätzlich durch ein unabhängiges Labor überprüft.

## **2.5 Identifizierung von für CP-Behandlungsanlagen relevanten Spurenstoffen**

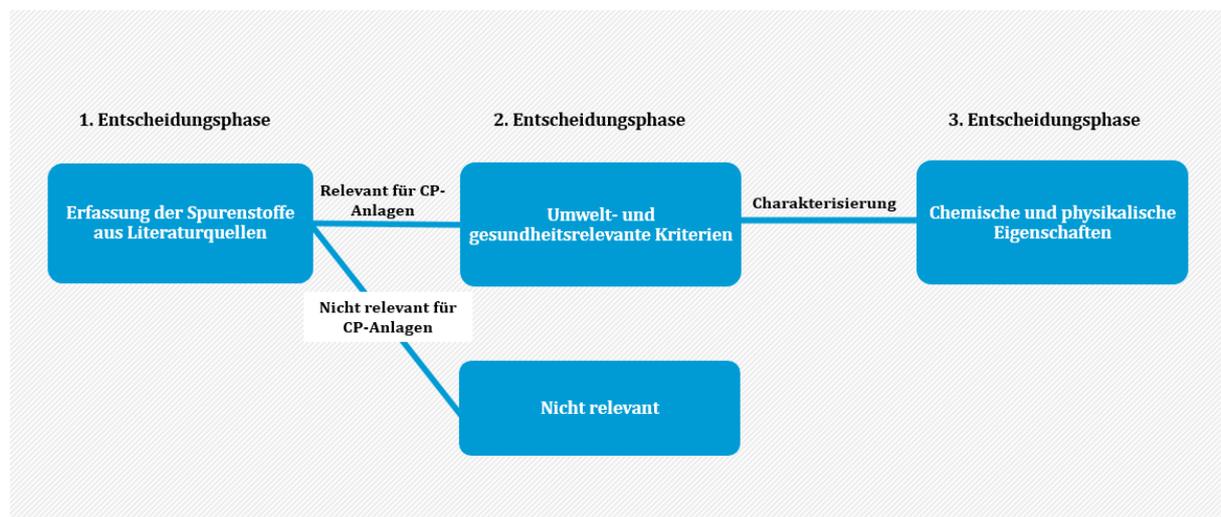
Die Erfassung der für CP-Behandlungsanlagen relevanten Spurenstoffe erfolgte über zwei Wege. Über eine Literaturrecherche wurde eine Auswahl an möglichst vielen Spurenstoffen ermittelt, die nach deren Relevanz bewertet und diese dann nach chemischen, physikalischen und ökotoxikologischen Eigenschaften eingeordnet wurden. Über eine an CP-Behandlungsanlagenbetreiber gerichtete, gezielt erstellte Umfrage sollten praxisrelevante Informationen von Anlagenbetreibern über die Anzahl, die behandelten Arten und Mengen von Abfällen, die eingesetzten Techniken der CP-Behandlungsanlagen, die Bedeutung der CP-Behandlungsanlage aufgrund ihres Abfalldurchsatzes und insbesondere der dort vorkommenden Spurenstoffe ermittelt werden. Ergänzend zu der o.g. Literaturrecherche und Umfrage wurden weitere Recherchen über andere Quellen (siehe Kapitel 2.9 „Weitere Recherchen“) durchgeführt.

## **2.6 Entscheidungskriterien für die Literaturrecherche**

Die Literaturrecherche zur Identifizierung der für CP-Behandlungsanlagen relevanten Spurenstoffe wurde in 3 Phasen durchgeführt. Die erste Phase diente der Erfassung von möglichen Chemikalien, die theoretisch im Input der in CP-Behandlungsanlagen behandelten Abfälle vorkommen und in die Kläranlage eingeleitet werden könnten. Die zweite Phase diente der Identifikation der Spurenstoffe, die für dieses Projekt relevant in Bezug auf Umwelt- und Gesundheitsschädlichkeit sind. Die dritte Phase diente der Klassifizierung der Spurenstoffe nach chemischen und physikalischen Eigenschaften, um eine Bewertung der auf CP-Behandlungsanlagen verwendeten Verfahren in Bezug auf die Spurenstoffelimination zu

vereinfachen. Abbildung 8 zeigt den Entscheidungsverlauf zur Auswahl der relevanten Spurenstoffe.

**Abbildung 8: Entscheidungsverfahren zur Auswahl der für CP-Behandlungsanlagen relevanten Spurenstoffe**



Quelle: Eigene Darstellung, FiW

## 1. Entscheidungsphase

Da Nordrhein-Westfalen das Bundesland mit dem höchsten Abfallaufkommen von gefährlichen Abfällen und mit den zweitmeisten CP-Behandlungsanlagen (vergleiche Kapitel 2.1) ist, dient der Bericht vom „Programm zur Reduzierung der Gewässerbelastung aus Chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen in Nordrhein-Westfalen – CPB-Programm“ als repräsentative Grundlage zur Auswahl der relevanten Spurenstoffe. Weitere Literaturquellen, die in Kapitel 6 Quellenverzeichnis aufgelistet sind, wurden zur Sammlung der relevanten Spurenstoffe ebenfalls herangezogen. Während dieser Entscheidungsphase sind 104 Spurenstoffe identifiziert worden, welche im Anhang C aufgelistet sind (Thull, 2018).

## 2. Entscheidungsphase

Um die Stoffe zu identifizieren, die spezifisch für dieses Projekt relevant sind, wurden in der zweiten Entscheidungsphase diejenigen Spurenstoffe ausgewählt, die einen negativen Einfluss auf Umwelt und Gesundheit haben können. Als Grundlage zur Auswahl der Kriterien diente der Bericht des Bayerisches Landesamt für Umwelt „Spurenstoffe im Wasser“ (Bayerisches Landesamt für Umwelt, 2016). Folgende Kriterien wurden zunächst in Betracht gezogen:

- a) Umweltauswirkung/ Toxizität/ umweltrelevante Dosis
- b) Biologische Abbaubarkeit, z. B. in einer KA
- c) Zulassungsstatus der Stoffarten
- d) Einstufung der Stoffe nach der Wasserrahmenrichtlinie

Unter dem Begriff Umweltauswirkung ist die Wassergefährdungsklasse (Thieme, 2018) zu verstehen. Diejenigen Stoffe, die eine Wassergefährdungsklasse zwischen 0 und 1 (jeweils nicht und schwach wassergefährdend) und eine geringe Ökotoxizität besitzen, wurden aussortiert. Stellvertretend wurde hier die letale Konzentration LC50 von verschiedenen Wasserorganismen (zum Beispiel für Fische) ausgewählt. Stoffe, die einen höheren LC50 -Wert als 2000 mg/L aufweisen, wurden aussortiert.

Unter dem Kriterium der biologischen Abbaubarkeit wurden die Stoffe aussortiert, die mindestens zu 90 % z.B. in der KA abgebaut werden. Da es sich bei den zwei betrachteten CP-Behandlungsanlagen um Indirekteinleiter handelt und die behandelten Abfälle in eine Kläranlage gelangen, ist das Kriterium der biologischen Abbaubarkeit maßgebend.

Dementsprechend wird dieses Kriterium im Rahmen der 2. Entscheidungsphase am stärksten gewichtet. Stoffe, die unter allen anderen Kriterien aussortiert wären, aber eine schlechte biologische Abbaubarkeit aufweisen, wurden weiterhin als relevant eingestuft und für die spätere analytische Untersuchung berücksichtigt.

Als weiteres Kriterium zur Aussortierung wurde die Zulassung aller Stoffarten überprüft. Wenn die Herstellung, Nutzung oder Import des Stoffes verboten ist (BGBl II S. 803 vom 16. April, 2002), wurde der Stoff aussortiert.

Ein anderes Kriterium ist die prioritäre Einstufung der Stoffe nach der Wasserrahmenrichtlinie (Wasserrahmenrichtlinie, 2000). Wenn der Stoff nicht im Anhang X „Liste Prioritärer Stoffe im Bereich der Wasserpolitik“ der Wasserrahmenrichtlinie gelistet ist, wurde er aussortiert.

Obwohl einige Stoffe (bspw. Phenoxyethanol) chemische und physikalische Eigenschaften aufweisen, die zur Aussortierung führen würden, wurden sie weiterhin als relevant eingestuft und beibehalten. Grund der Beibehaltung ist die Vorkommenshäufigkeit in flüssigen Abfällen, sowie die einfache Bestimmung im Labor.

In Tabelle 3 sind die Kriterien der zweiten Entscheidungsphase zusammengefasst, welche mit gleicher Gewichtung angewendet wurden.

**Tabelle 3: Aussortierungskriterien der 2. Entscheidungsphase**

Kriterium	Wasser- gefährdungs- klasse	Letale Konzentration LC <sub>50</sub> [mg/L]	Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	biologische Abbaubarkeit	Status Zulassung
Grenzwert	0 - 1	> 2000	nicht im Anhang X enthalten	> 90 %	verboten

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Alle Stoffe und ihre Eigenschaften wurden tabellarisch aufgeführt und einzeln unter diesen Kriterien geprüft (vgl. Anhang D). Dementsprechend konnten die betrachteten Stoffe aussortiert oder beibehalten werden. Nach der zweiten Entscheidungsphase lag eine Stoffliste mit für CP-Behandlungsanlagen relevanten Spurenstoffen vor. Insgesamt konnte in dieser Entscheidungsstufe die Anzahl der zu betrachtenden Spurenstoffe von 104 auf 44 reduziert werden (vgl. Anhang D).

### **Bewertung und 3. Entscheidungsphase**

In der dritten Entscheidungsphase wurden die 44 Spurenstoffe weiter nach ihren physikalischen und chemischen Eigenschaften bewertet. Diese Charakterisierung der Spurenstoffe dient der Bewertung der bereits verwendeten chemischen und physikalischen Verfahren auf CP-Behandlungsanlagen sowie anderen potentiell einsetzbaren, weitergehenden Reinigungsverfahren bezüglich Spurenstoffentfernung. Dabei wurden folgende Eigenschaften berücksichtigt: Wasserlöslichkeit, Siedepunkt, Henry-Konstante, Wasserverteilungskoeffizient log(KOW) und Molekulargewicht. Anhand dieser Eigenschaften können erste Aussagen bezüglich Adsorbierbarkeit an festen Oberflächen, Flüchtigkeit, Bioakkumulation und Abbaubarkeit getroffen werden. Tabelle 4 gibt einen Überblick der physikalischen und

chemischen Eigenschaften mit einer Zuordnung zu den möglichen Verfahren, die als weitergehende Reinigung zur Spurenstoffelimination angewendet werden könnten.

**Tabelle 4: Bewertungskriterien der 3. Entscheidungsphase**

Eigenschaft	Wasserlöslichkeit [mg/L]	Log(K <sub>ow</sub> )	Siedepunkt [ °C]	Henry-Flüchtigkeitskonstante [Pa·m <sup>3</sup> /mol]	Molekulargewicht [g/mol]
Maß für	<i>Adsorbierbarkeit, Persistenz, Bioakkumulation</i>	<i>Bioakkumulation, Adsorbierbarkeit</i>	<i>Flüchtigkeit</i>	<i>Flüchtigkeit/ Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten</i>	<i>Filtrierbarkeit/ Adsorbierbarkeit</i>
Bsp. für weitergehende Reinigungsstufe	<i>Belebungsbecken KA</i>	<i>Pulver-Aktivkohle, Fällung, Flockung</i>	<i>Vakuumverdampfung</i>	<i>Strippungsverfahren</i>	<i>Membranverfahren/ Pulveraktivkohle, Fällung, Flockung</i>
Klassifizierung	<i>Schlecht &lt; 1.280 Gut &gt; 100.000</i>	<i>&gt;1 lipophil &lt;1 hydrophil</i>	<i>197,3</i>	<i>&gt;70</i>	<i>Umkehrosiose &gt; 100 Nanofiltration &gt;200 Ultrafiltration &gt;1000</i>

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Gut wasserlösliche Stoffe können schnell und in hohen Konzentrationen in Gewässer gelangen. Schlecht wasserlösliche Stoffe adsorbieren oft gut an festen Oberflächen und tendieren zu Bioakkumulation (Gräf, 2003). Daher spielt die Wasserlöslichkeit eine wichtige Rolle für die Bewertung eines Adsorptionsverfahrens. Adsorptionsverfahren dienen der Entfernung von gelösten und ungelösten organischen Substanzen, die sich an der Oberfläche des Adsorbens anlagern. Gut adsorbierbare Stoffe sind meistens lipophil und weisen eine aromatische Struktur auf (Murakami, et al., 2018). Da lipophile Substanzen häufig gleichzeitig wasserunlöslich sind, ist die Wasserlöslichkeit ebenfalls ein Maß für das Adsorptionsverhalten der Spurenstoffe. Die Verfahren der chemischen Fällung, Flockung und die Nutzung von Aktivkohle (Pulveraktivkohle, granuliert Aktivkohle) zur Entfernung von Spurenstoffen beruhen auf Adsorptionsprozessen. Bei der chemischen Fällung werden gelöste Verbindungen in einen ungelösten Zustand überführt und Flocken gebildet, die als Adsorptionsfläche dienen. Als wichtigstes Adsorbens für die Abwasserreinigung hat sich Aktivkohle etabliert. Der Einsatz von Pulveraktivkohle zur Spurenstoffentfernung hat sich mit Eliminationsgraden von über 80 % als besonders effizient erwiesen (Mailler, et al., 2016), (Bonvin, Jost, Randin, Bonvin, & Kohn, 2016). Der Oktanol-Wasserverteilungskoeffizient log(KOW) ist ein Maß für das Verhältnis zwischen Lipophilie (Fettlöslichkeit) und Hydrophilie (Wasserlöslichkeit) einer Substanz und dementsprechend für die Adsorbierbarkeit eines Stoffes (Moldoveanu, 2016). Stoffe mit hohem log(Kow) neigen dazu, sich im Fettgewebe von Organismen anzureichern. Aus diesem Grund ist der log(KOW) ein Maß für die Bioakkumulation (Sixt, 1998), (Clara, 2003).

Der Siedepunkt und die Henry-Konstante sind Maße für die Wahl eines geeigneten thermischen Eliminationsverfahrens. Anhand dieser Werte lässt sich das Verdampfungsverhalten eines Stoffes vorhersagen. Hochsiedende Stoffe werden bei der Vakuumverdampfung zurückgehalten. Als Grenzwert für das Rückhaltevermögen der hochsiedenden Spurenstoffe bei der

Vakuumverdampfung gilt eine Temperatur von 197,3 °C (Yao, Woo, Tijng, Choi, & Shon, 2018). Das heißt alle Stoffe, die erst ab 197,3 °C verdampfen, werden zurückgehalten.

Im Gegensatz dazu dient das Strippungsverfahren der Entfernung von leichtsiedenden bzw. flüchtigen Stoffen. Die Henry-Konstante beschreibt den Zusammenhang zwischen dem Anteil einer gelösten Komponente in der Flüssigphase und deren Anteil in der Gasphase im Gleichgewicht. Somit sind Stoffe mit einer hohen Henry-Konstante leichtflüchtig. Als Grenzwert für leichtsiedende Stoffe gilt der Wert 70 Pa·m<sup>3</sup>/mol (TAUW Umwelt, 1995). Eine Strippungsstufe als Vorstufe der Vakuumverdampfung wird empfohlen, um leichtflüchtige Stoffe auszutragen.

Membrantrennverfahren wie z.B. die Nanofiltration können in Abhängigkeit von den Molekulargewichten der zu eliminierenden organischen Spurenstoffe angewendet werden. Eine Elimination durch Nanofiltration ist aufgrund des Molekulargewichtes im Bereich von 200 – 20.000 g/mol bei verschiedenen organischen Spurenstoffen zu erwarten. Die Ultrafiltration entfernt Verbindungen mit einem Molekulargewicht größer als 1.000 g/mol. Die Umkehrosmose erlaubt es Verbindungen mit einem Molekulargewicht größer als 100 g/mol zu entfernen (Hendricks, 2006) (Pinnekamp & Friedrich, 2006).

Das Molekulargewicht kann auch als Maß für Adsorbierbarkeit dienen. Moleküle mit großem Molekulargewicht haften schlechter an festen Oberflächen, da sie nicht in die Poren des Adsorbens eindringen können. Andererseits sind Stoffe mit kleinen Molekulargewichten oft wasserlöslicher, was sich ebenfalls negativ auf die Adsorption auswirkt (Schrader, 2007).

Bei fehlenden Angaben zum Siedepunkt wurde dieser durch die Zersetzungstemperatur ersetzt und mit einem Sternchen (\*) gekennzeichnet.

## 2.7 Auswertung der Umfrage an CP-Behandlungsanlagenbetreiber

Im Rahmen dieses Projektes wurde eine Umfrage bei 184 CP Behandlungsanlagenbetreibern durchgeführt, um Informationen über Herkunft und Menge der behandelten Abfälle und die angewendeten Verfahren zur Abfallbehandlung sowie über eine in den Anlagen bereits bekannte Spurenstoffproblematik zu erheben. Bei diesen Anlagen handelte es sich um immisionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlagen nach den Ziffern Nr. 8.8.1, 8.10.1 und 8.11.1 des Anhangs 1 der Vierten Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen – 4. BImSchV):

- ▶ 8.8.1 Anlagen zur chemischen Behandlung, insbesondere zur chemischen Emulsionsspaltung, Fällung, Flockung, Kalzinierung, Neutralisation oder Oxidation, von gefährlichen Abfällen
- ▶ 8.10.1 Anlagen zur physikalisch-chemischen Behandlung, insbesondere zum Destillieren, Trocknen oder Verdampfen von gefährlichen Abfällen
- ▶ 8.11.1 Behandlung von gefährlichen Abfällen, ausgenommen Anlagen, die durch die Nummern 8.1 und 8.8 erfasst werden
  - durch Vermengung oder Vermischung sowie durch Konditionierung,
  - zum Zweck der Hauptverwendung als Brennstoff oder der Energieerzeugung durch andere Mittel,
  - zum Zweck der Ölraffination oder anderer Wiedergewinnungsmöglichkeiten von Öl,
  - zum Zweck der Regenerierung von Basen oder Säuren,

- zum Zweck der Rückgewinnung oder Regenerierung von organischen Lösungsmitteln oder
- zum Zweck der Wiedergewinnung von Bestandteilen, die der Bekämpfung von Verunreinigungen dienen, einschließlich der Wiedergewinnung von Katalysatorbestandteilen.

Durch die Wahl dieser Ziffern aus dem Anhang der 4. BImSchV wurde sichergestellt, dass Betreiber an der Umfrage teilnehmen, deren Anlagen die für diese Untersuchung relevanten Abfallströme behandeln.

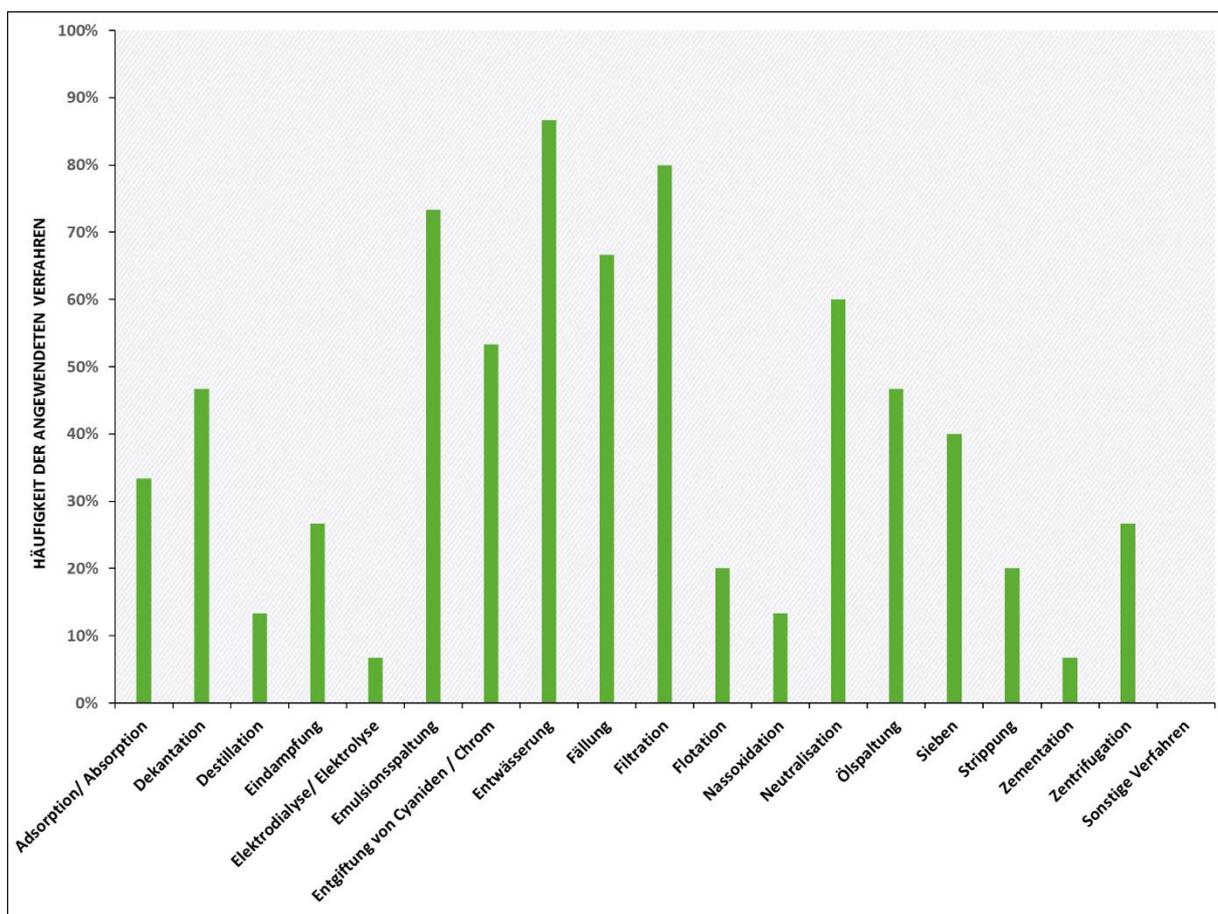
Für diese Umfrage wurde ein Fragebogen (siehe Anhang G) erstellt und mit dem Fachbeirat abgestimmt. Die Rücklaufquote nach Ablauf der Umfragefrist (sechs Wochen) betrug nur 2 %. Daraufhin wurde eine Erinnerung mit Fristverlängerung an die Betreiber versandt. Aufgrund der weiterhin fehlenden Rückmeldungen wurden zusätzliche Telefongespräche mit Anlagenbetreibern, von denen noch keine Antwort vorhanden war, durchgeführt. Dadurch konnte die Rücklaufquote auf insgesamt 8,1 % erhöht werden. Als letzte Maßnahme zur Datenerhebung wurden die CP-Behandlungsanlagenbetreiber im Bundesland Nordrhein-Westfalen über das Ministerium für Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz NRW kontaktiert und gebeten, an der Umfrage teilzunehmen. Nach rund 3 Monaten erhöhte sich die Rücklaufquote von 8,1 % auf 10,5 %.

Von den erhobenen Daten wurde ersichtlich, dass 5 Anlagen ausschließlich anorganische Abfälle behandeln. Da der Fokus dieses Projektes auf organischen Abfällen und nicht auf anorganischen Abfällen liegt, sind diese 5 Anlagen für dieses Projekt nicht relevant und wurden nicht weiter betrachtet. Die restlichen CP-Behandlungsanlagen dienen der Behandlung von sowohl organischen als auch anorganischen Abfällen. Insgesamt wurden 15 CP-Behandlungsanlagen erfasst, die für das Jahr 2017 zusammen einen angegebenen Durchsatz von ca. 538.529 t/a aufwiesen.

Aufgrund des geringen Rücklaufs von 7,9 % an auswertbaren Anlagendatensätzen ist die statistische Signifikanz sowie die Repräsentativität der Daten schwer zu beurteilen. Die mit dem Fragebogen erhobenen Daten sind dennoch ausgewertet worden und die Ergebnisse werden im Folgenden diskutiert.

In Abbildung 9 ist die Häufigkeit der angewendeten Verfahren in CP-Behandlungsanlagen aus der Umfrage dargestellt. Von den 15 CP-Behandlungsanlagen haben 13 Anlagen (Häufigkeit: 87 %) das Verfahren Entwässerung als einen Schritt im Behandlungsprozess angegeben. Mit einer Häufigkeit von 80 % ist die Filtration das zweithäufigste Behandlungsverfahren. Die Emulsionsspaltung kommt an dritter Stelle mit einer Häufigkeit von 73 %.

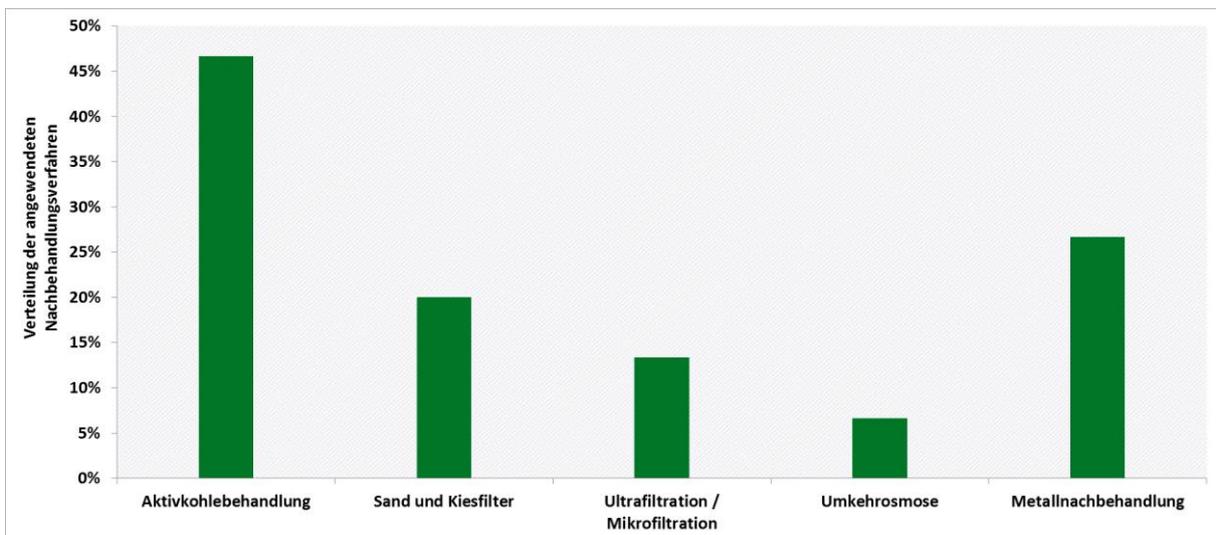
**Abbildung 9: Häufigkeit der angewendeten Behandlungsverfahren in CP-Behandlungsanlagen [n=15]**



Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Alle CP-Behandlungsanlagen haben ein oder mehrere Nachbehandlungsverfahren angegeben. In Abbildung 10 ist zu sehen, dass das am häufigsten verwendete Nachbehandlungsverfahren die Aktivkohlefiltration ist. Die Metallnachbehandlung ist das zweithäufigste angegebene Nachbehandlungsverfahren.

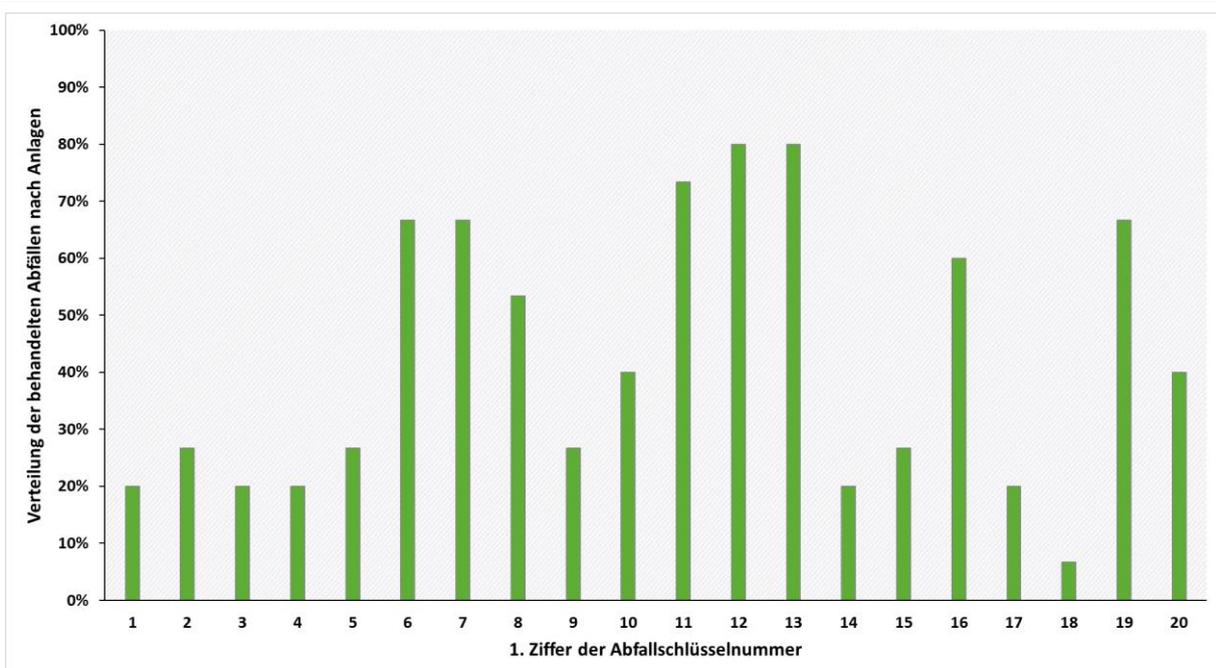
**Abbildung 10: Häufigkeit der angewendeten Nachbehandlungsverfahren auf CP-Behandlungsanlagen [n=15]**



Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Die Bestimmung der relevantesten Herkunft der Abfälle war ebenfalls ein wichtiges Ziel der Umfrage. In Abbildung 11 ist zu erkennen, dass 80 % der CP-Behandlungsanlagen Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen (Kapitel 12 der Abfall-Verzeichnis-Verordnung (AVV)), zusammen mit Ölabbfällen und Abfällen aus flüssigen Brennstoffen (Kapitel 13) annehmen. 67 % der CP-Behandlungsanlagen haben als Herkunft Abfälle aus den beiden folgenden Kapiteln angegeben: Abfälle aus anorganisch-chemischen Prozessen (Kapitel 6) und Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen (Kapitel 7).

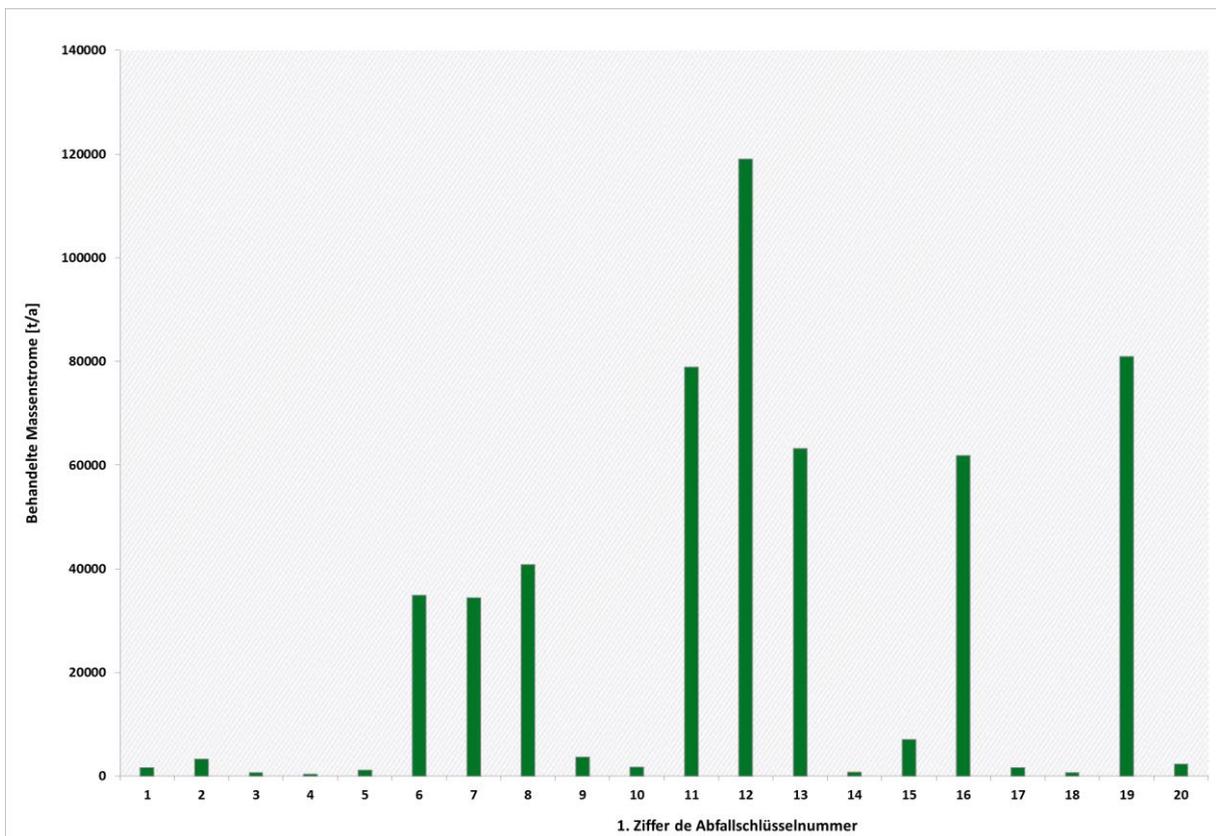
**Abbildung 11: Prozentuale Zuordnung der Abfallherkunft nach Kapitel im AVV in den ausgewerteten CP-Behandlungsanlagen [n=15]**



Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Die Zuordnung der Massenströme zu den jeweiligen Kapiteln der AVV ist der Abbildung 12 zu entnehmen. Der höchste Gesamtabfallmassenstrom stammt aus der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen (Kapitel 12) und beträgt 118.999 t/a. An zweiter Stelle sind die Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke (Kapitel 19) mit einem gesamten behandelten Massenstrom von 80.904 t/a zu nennen. Der drittgrößte behandelte Massenstrom mit 78.897 t/a stammt aus Abfällen aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen; Nichteisenhydrometallurgie (Kapitel 11).

**Abbildung 12: Behandelte Massenströme nach Abfallherkunft [n=15]**



Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Werden alle von den Anlagenbetreibern angegebenen Massenströme addiert, so ergibt die Summe nicht den Gesamtdurchsatz von ca. 474.155 t/a, sondern rund 538.529 t/a. In drei Fragebögen gab es Diskrepanzen zwischen den Angaben der Betreiber für den Gesamtdurchsatz und Angaben für Teile der Massenströme. Auf eine weitere Klärung wurde verzichtet.

## 2.8 Auswertung der Umfrage: Angaben zu Spurenstoffen

Ein weiteres Ziel der Umfrage war die Erhebung von Informationen über Spurenstoffe, die bei CP Behandlungsanlagen im Ablauf detektiert werden. Diese Informationen dienen als Vergleich, um eine Bewertung der Relevanz von den Spurenstoffen aus der Literaturrecherche machen zu können. Zwölf Anlagen haben keine Problematik mit Spurenstoffen übermittelt. Die restlichen drei Anlagen haben die in der Tabelle 5 angegebenen Spurenstoffe im Ablauf detektiert. Des

Weiteren wurde in dieser Tabelle angegeben, ob der jeweilige Spurenstoff bereits in der Spurenstoffliste (s. Anhang C) aus der Literaturrecherche enthalten ist und ob dieser Spurenstoff für dieses Projekt relevant ist. Das resultierende Votum für die jeweiligen Stoffe ist in der Tabelle 5 zusammen mit dem Grund für die Aussortierung festgehalten. Es wird ersichtlich, dass die meisten Spurenstoffe bereits in die Spurenstoffliste aufgenommen wurden. Die Spurenstoffliste wurde um zwei Stoffe bzw. Stoffgruppen erweitert: N-Heterocyclen, sowie PCDD/PCDF.

**Tabelle 5: Identifizierte Spurenstoffe aus der Umfrage**

Spurenstoff	Bereits in Spurenstoffliste vorhanden	Bleibt in Spurenstoffliste	Grund für Aussortierung
4-Methylbenzotriazol	Ja (allgemein als Benzotriazol)	Ja	
5,6-Dimethylbenzotriazol	Ja (allgemein als Benzotriazol)	Ja	
5-Methylbenzotriazol	Ja (allgemein als Benzotriazol)	Ja	
Benzotriazol	Ja	Ja	
BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol)	Ja	Nein	Gut abbaubar
Coffein	Nein	Nein	Gut abbaubar
Natriumcyclamat	Nein	Nein	Gut abbaubar
N-Heterocyclen	Nein	Ja	
PAK	Ja	Ja	
PCDD/PCDF	Nein	Ja+	
PFC	Ja	Ja	
Saccharin	Nein	Nein	Gut abbaubar
Sulfolan	Ja	Ja	

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Acht von den 15 CP-Behandlungsanlagen ergreifen technische und organisatorische Maßnahmen zur Minderung von Emissionen an Spurenstoffen. Zu den häufigsten Maßnahmen zählt nach Angaben der Anlagenbetreiber:

- ▶ Prüfung der zu behandelnden wässrigen Abfälle auf biologische Abbaubarkeit im Betriebslabor mittels biologischer Kleinkläranlage im Technikumsmaßstab, analog der biologischen Reinigungsstufe der kommunalen Kläranlage
- ▶ Abfälle, die bekanntermaßen schwer abbaubare Stoffe enthalten (z. B. Löschwasser mit PFOS), werden getrennt behandelt (i. d. R. Verdampfung) und somit gelangen die Spurenstoffe nicht in das Abwasser

- ▶ Vermeidung der Annahme und Behandlung von Abfällen, die bekanntermaßen organische Spurenstoffe enthalten
- ▶ Vermeidung der Behandlung von Abfällen bei bekannter Belastung mit Spurenstoffen (z.B. PFAS-/ PAK-haltige Abfallstoffe)
- ▶ Chargenbehandlung, separater Abwasserstrom
- ▶ Schwermetallfällung

Weitere organisatorische und technische Maßnahmen zur Minderung von Spurenstoffeinträgen in Gewässer werden im Kapitel 2.10 ausführlich diskutiert.

## 2.9 Weitere Recherchen

Aufgrund des geringen Rücklaufs aus der Umfrage wurden zwei weitere Recherchen zur Sammlung und Abgleich von relevanten Spurenstoffen durchgeführt. Hierfür wurden das elektronische wasserwirtschaftliche Fachinformationssystem für die Wasserwirtschaftsverwaltung in Nordrhein-Westfalen (NRW) ELWAS-WEB und die Ergebnisse eines Indirekteinleiter-Screening-Messprogramms, das vom LANUV in NRW beauftragt wurde, genutzt.

Für die Aufnahme von neuen Stoffen in die Spurenstoffliste wurde die Häufigkeit der Positivbefunde in dem o.g. Indirekteinleiter-Screening-Messprogramm berücksichtigt. In Tabelle 6 sind die Spurenstoffe aufgelistet, die mindestens 8-mal positiv im LANUV Indirekteinleiter-Screening gefunden wurden. Der Grund für die Aussortierung ist der Tabelle 6 zu entnehmen.

**Tabelle 6: Identifizierte Spurenstoffe im Indirekteinleiter-Screening-Messprogramm LANUV**

Spurenstoff	Bereits in Spurenstoffliste vorhanden	Bleibt in Spurenstoffliste	Grund für Aussortierung
Benzyl Alcohol	Nein	Nein	Gut abbaubar
2-(2-butoxyethoxy)-ethanol	Nein	Nein	Gut abbaubar
Cyclohexanamine, N-cyclohexyl	Nein	Ja	
Phenol	Nein	Nein	Gut abbaubar

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Um eine zielführende Suche in ELWAS-WEB durchführen zu können, sind nur Anlagen nach Nr. 8.8.1.1, 8.10.1.1 und 8.11.1.1 des Anhangs 1 der 4. BImSchV untersucht worden. Insgesamt wurden 15 Anlagen gefunden, von denen Ablaufwerte verfügbar waren.

Folgende Kriterien sind zur Wahl und Eingrenzung der relevanten Spurenstoffe für die Auswertung angewendet worden:

- ▶ Konzentration im Ablauf > 1 µg/L
- ▶ Stoff wurde ab 2014 gemessen
- ▶ Stoff ist bei mind. 5 Anlagen vorzufinden

Insgesamt wurden sieben Stoffe identifiziert (siehe Tabelle 7). Vier der Stoffe waren bereits in der Liste enthalten und drei wurden nicht berücksichtigt, da sie gut abbaubar sind. Die Spurenstoffliste wurde um drei neue Stoffe ergänzt. Dazu zählen die Perfluorbutansulfonsäure-Isomeren (PFBS), Perfluorhexansäure (PFHxA) und Perfluorhexansulfonsäure Isomeren (PFHxS).

**Tabelle 7: Identifizierte Spurenstoffe aus ELWAS WEB**

Spurenstoff	Bereits in Spurenstoffliste vorhanden	Bleibt in Spurenstoffliste	Grund für Aussortierung
BTEX (Benzol, Toluol, Ethylbenzol, Xylol)	Ja	Nein	Gut abbaubar
Dichlormethan	Ja	Nein	Gut abbaubar
Naphthalin	Ja	Nein	Gut abbaubar
Perfluorbutansulfonsäure Isomeren	Nein	Ja	
Perfluorhexansäure	Nein	Ja	
Perfluorhexansulfonsäure Isomeren	Nein	Ja	
Tetrachlorethen	Ja	Ja	

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Insgesamt sind durch die Literaturrecherche, die Betreiberumfrage und die weitere Recherche 50 Spurenstoffe und Spurenstoffgruppen erfasst worden, die als relevant für dieses Projekt eingestuft werden. Diese Stoffe und deren chemischen und physikalischen Eigenschaften sind tabellarisch aufgetragen und dem Anhang E zu entnehmen. In der genannten Tabelle wurden alle Stoffe aus der Stoffgruppe der N-Heterozyklen einzeln aufgelistet. Dabei handelt es sich um Chinolin, Isochinolin, Indol, 2-Methylchinolin, 6-Methylchinolin, 2,4-Dimethylchinolin, 2,6-Dimethylchinolin, Acridin und Carbazol. Da Perfluorbutansulfonsäure, Pefluorhexansäure und Perfluorhexansulfonsäure bei der Recherche als relevant eingestuft und diese der Stoffgruppe der Per- und polyfluorierten Akyilverbindungen (PFAS) zugeordnet werden, wurden diese Stoffgruppe um 3 weitere relevante Verbindungen (PFHxA, PFBS, PFHxS) ergänzt und dem Anhang E zugefügt. Die Gruppe der polycyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) wurde ebenfalls um den Spurenstoff Phenanthren ergänzt. Aus diesem Grund enthält die Tabelle im Anhang E insgesamt 60 Stoffe. Die Spurenstoffe aus den Recherchen und der Umfrage wurden auf die quantitative analytische Nachweisbarkeit vom Umweltanalytischen Laboratorium am Institut für Siedlungswasserwirtschaft (ISA) geprüft und bewertet. Einige der Einzelstoffe lassen sich zu Stoffgruppen zusammenfassen und können analytisch mit einer Methode erfasst werden (PAK, Phosphorflammschutzmittel, Komplexbildner, PFAS, endokrin wirksame Substanzen, Dioxine). Da es für einzelne Spurenstoffe noch keine Bestimmungsmethode gibt und diese sich ggf. nur unter erheblichem Aufwand für die Abfall-Matrix entwickeln lässt, werden im Rahmen dieses Projektes nicht alle Spurenstoffe aus der Literaturrecherche im Arbeitspaket 2 und 3 untersucht. Die Liste aus der Literaturrecherche sollte allerdings als Orientierung für andere CP-Behandlungsanlagen zur Untersuchung von Spurenstoffen dienen. Die weiter in diesem Projekt untersuchten Spurenstoffe (Leitsubstanzen

für AP 2), die Bestimmungsmethode und die Literaturquelle, aus der sie stammen, sind in der Tabelle 8 genannt. Eine ausführliche Darstellung der Auswahlkriterien ist in Anhang F zu finden. Für die Spurenstoffe N-Heterocyclen, Phenoxyethanol und O-Phenylphenol wird eine analytische Methode entwickelt bzw. an die Abfallmatrix angepasst. Insgesamt sind 28 Leitsubstanzen ausgewählt worden, die bei den Labor- und Praxisuntersuchungen betrachtet werden.

**Tabelle 8: Auswahl der Spurenstoffe mit zugehöriger Analysemethode**

CP-B relevante Spurenstoffe	Methode	LANUV Screening	ELWAS	Umfrage
Diethylentriamin-pentaessigsäure	GC			
Ethylendiamin-tetraessigsäure	GC			
Nitrilotriessigsäure	GC			
Fluoranthen	GC			
Phenanthren				
polychlorierte Biphenyle	GC	-		
Triphenylphosphate	GC			
Tris(1,3-dichlorisopropyl)-phosphate	GC			
Tris(2-butoxyethyl)-phosphate	GC			
Tris(2-chlorisopropyl)-phosphate	GC	9		
Tris(2-chloroethyl)-phosphate	GC			
Tributylphosphat	GC			
Bis(2-ethylhexyl)-phthalat	GC			
Benzotriazol	LC			1 (zus. 4-Methylbenzotriazol)
Perfluordekansäure	LC		1	
Perfluornonansäure	LC		1	
Perfluoroctansäure	LC			
Perfluoroctansulfonat	LC			
Perfluorbutansulfonsäure Isomeren	LC		5	
Perfluorhexansäure	LC		5	

CP-B relevante Spurenstoffe	Methode	LANUV Screening	ELWAS	Umfrage
Perfluorhexansulfonsäure Isomeren	LC		5	
Bisphenol A	LC	7		
Nonylphenol	LC			
Octylphenol	LC			
N-Heterocyclen	GC			1
o-Phenylphenol	LC			
Phenoxyethanol	GC	10		
PCDD/F	GC			

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

## 2.10 Betriebsabläufe in den CP-Behandlungsanlagen mit Betrachtung der Maßnahmen zur Minderung des Eintrags von Spurenstoffen in Gewässer

Im Zuge der Bearbeitung wurden zwei CP-Behandlungsanlagen (Fa. Lobbe und Fa. Indaver) besichtigt und dabei die eingesetzten Technologien sowie die internen Abläufe intensiv betrachtet.

Nach der chemisch-physikalischen Behandlung besitzen die entstandenen Abwässer eine Restbelastung an potentiellen Schadstoffen. Die vorbehandelten Abwässer müssen beim Verlassen der CP-Behandlungsanlage eine bestimmte Qualität aufweisen, um in eine KA eingeleitet werden zu dürfen. Die Qualität ist gesetzlich vorgegeben, relevant sind hier die im Anhang 27 der Abwasserverordnung vorgegebenen Emissionsgrenzwerte für die direkte bzw. indirekte Einleitung sowie im Fall einer Indirekteinleitung, zusätzlich die kommunalen Abwassersatzungen. Zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte ist ein Prozessmanagementsystem nötig. Dieses lässt sich in mehrere Aspekte unterteilen, die im Wesentlichen schon vor der eigentlichen Behandlung berücksichtigt werden müssen. Im Folgenden werden diese Aspekte u.a. anhand bereits besichtigter Anlagen erläutert (SUC GmbH, 2018), (Nehlsen AG, 2018), (Rest Oil GmbH & Ko. KG, 2018), (Indaver Deutschland GmbH, 2009):

### Vorprüfung angelieferter Abfallarten (Deklarationsanalyse):

Als erster Schritt erfolgt die Zusendung einer möglichst repräsentativen Abfallprobe seitens des Kunden an das Labor der CP-Behandlungsanlage. Das Ziel der Voruntersuchung der Abfallprobe ist die Durchführung einer ausführlichen Charakterisierung der Abfallzusammensetzung (Deklarationsanalyse). Sowohl chemische als auch physikalische Parameter der Probe werden untersucht (bspw. pH-Wert, Dichte, Nitrat-, Nitrit-, Halogengehalt, Konzentration an Schwermetallen, etc.), um die beste Behandlungsart bestimmen zu können und besonders gefährliche Inhaltsstoffe zu erkennen bzw. ausschließen zu können. Die untersuchten Anlagen berichteten übereinstimmend, dass eine enge Zusammenarbeit und insbesondere vertrauensvolle und stetige Kommunikation zum Abfallerzeuger und dessen Ansprechpartner von hoher Relevanz für die Bestimmung des besten Behandlungsverfahrens ist, da die

Abfallerzeuger ohne weitere Aufforderung oft nicht alle wesentlichen Informationen kommunizieren (z.B. Änderungen im Produktionsprogramm oder der Produktionstechnik). Wenn die anzuliefernde Abfallmenge 20 t übersteigt, muss anschließend ein Entsorgungsnachweis erstellt werden.

### **Eingangskontrolle:**

Hier geht es um die Sicherstellung, dass der zu entsorgende Abfall bei der Anlieferung der analysierten Musterabfallprobe entspricht oder dass zumindest eine ähnliche Qualität gegeben ist, damit der Abfall mit den verfügbaren Behandlungsverfahren behandelt werden kann. Dabei muss ebenfalls sichergestellt werden, dass das Vorhandensein von bestimmten Stoffen, wie zum Beispiel cyanidischen Verbindungen, ausgeschlossen ist. Das in Verbindung mit der Eingangskontrolle festgelegte Behandlungsverfahren bzw. der freigegebene Abfallbehandlungsweg ist danach in der CP-Behandlungsanlage bindend und wird im Betriebstagebuch der CP-Behandlungsanlage dokumentiert.

### **Qualifiziertes Personal:**

Eine Voraussetzung für eine erfolgreiche Eingangskontrolle und dementsprechend eine sachgerechte Abfallbehandlung ist qualifiziertes und erfahrenes Labor- und Betriebspersonal. So bietet beispielweise die Fa. Lobbe für das eigene Personal interne betriebliche Aus- und Fortbildungsmaßnahmen an.

### **Annahmeverfahren:**

Nach der Eingangskontrolle einschließlich des erstellten Behandlungsplans kann der Abfall angenommen werden. Hierzu verfügt jede CP-Behandlungsanlage über ein eigenes Annahmeverfahren, um einen sicheren Umgang bei der Annahme und die nachfolgende Zuordnung zu den Behandlungsverfahren sicherzustellen. Vor der Übernahme wird der Inhalt von jedem anliefernden Abfallsammelfahrzeug und Behälter im Eingangslabor kontrolliert. Hier werden die aktuellen Abfalldaten mit den bereits hinterlegten Daten abgeglichen, um zu entscheiden, ob der Abfall wie vorgesehen behandelt, anders behandelt oder zurückgewiesen werden soll.

### **Rückverfolgbarkeit:**

Bei der Anlieferung von Abfällen in Behältern, z. B. IBC oder ASF (Abfall-Sammler-flüssig), ist zuerst eine vollständige Kennzeichnung der angenommenen Behälter vorzunehmen. Zum Beispiel versieht die Fa. Indaver hierzu alle Behälter mit einer Kennzeichnung und einer Identifikationsnummer, mit Hilfe derer die wichtigsten Informationen zum Inhalt und Herkunft entnommen werden kann.

### **Kennzeichnung / Identifikation:**

Bei der Fa. Lobbe ist jeder firmeneigene Behälter mit einer sechsstelligen Nummer gekennzeichnet und in einer Datenbank mit den Behälterstammdaten (Lebensdauer, Hersteller, Hersteller Nummer, durchgeführte Inspektionen, usw.) verknüpft. Durch die Behälterverfolgung per Identifikationsnummer können dann auch Informationen über den Inhalt abgefragt werden. Zudem ist jeder Behälter mit einem RFID-Transponder ausgestattet, der es ermöglicht, Behälterstammdaten berührungsfrei auszulesen. Diese Informationen werden im Enterprise-

Ressource-Planning (ERP)-System automatisch erfasst und sind für die Mitarbeiter digital verfügbar. Bei Anlieferungen in Tankfahrzeugen oder in Mulden- bzw. Containerfahrzeugen bekommt jede Anlieferung einen Laufzettel.

### **Rückstellproben:**

Die Betreiber der CP-Behandlungsanlagen sind verpflichtet, bis zum Ende einer sicheren Behandlung des Abfalls und über weitere 3 Monate hinaus Rückstellproben von allen Anlieferungen einzulagern.

### **Überwachung der Abfallbehandlung:**

Um die Effizienz und den Betrieb der Anlage überprüfen/ steuern zu können, verfügen die besichtigten CP-Behandlungsanlagen über unterschiedliche Systeme. Beispielsweise erfolgt die Steuerung der CP-Behandlungsanlage der Fa. Indaver über eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) Siemens S7. Mittels dieses Systems werden alle chemischen und physikalischen Prozesse auf einer Bedieneroberfläche abgebildet. Somit können die Mitarbeiter der Anlage unterschiedliche Funktionen wie die Dosierung von Chemikalien oder den Abbruch von Reaktionen steuern. Betriebsparameter wie z.B. Druck und Temperatur sowie die Zudosierung von Chemikalien werden als Datensatz gespeichert und stehen für eine Nachbetrachtung bestimmter Betriebszustände zur Verfügung. Eine Nutzung der Software mittels einer App auf Mobiltelefonen zur Fernüberwachung der Anlage ist ebenfalls möglich.

### **Verfahren zum Umgang mit spurestoffhaltigen Abfällen:**

Bereits jetzt werden existierende Verfahren bei den CP-Behandlungsanlagen genutzt, um den Eintrag von Spurenstoffen in Gewässer zu minimieren. Die Fa. Lobbe wendet zum Beispiel ein Managementsystem an, bei dem zunächst mittels Informationsaustauschs mit dem Abfallerzeuger potentiell spurestoffbelastete Abfälle identifiziert werden können. Diese Abfälle können dann speziell behandelt werden. Zu den spezifischen Behandlungsverfahren zählen z.B. die Eindampfung von Konzentraten bzw. Wässern aus vorangegangenen Behandlungsstufen sowie die Adsorption an Aktivkohle (A-Kohle) für ebenfalls bereits vorbehandelte Wässer. Die Eignung weiterer Verfahren wird im Verlaufe des Vorhabens geprüft. Bei der Fa. Indaver erfolgt dies in ähnlicher Weise. Abfälle, die nicht in der CP-Behandlungsanlage behandelt werden können, werden in einer Verdampfer- oder Verbrennungsanlage an einem anderen Standort der Fa. Indaver behandelt.

### **Verwertung:**

Zum wirtschaftlicheren und umweltschonenden Betrieb einer CP-Behandlungsanlage gehört die Wiederverwendung von gebrauchten Abfällen (z.B. Abfallsäuren und -laugen, Kalkmilch), um einen möglichst ressourcenneutralen Betrieb zu erzielen. Zusätzlich lassen sich aus einigen Abfällen durch weitere Behandlung dieser Sekundärrohstoffe neue Produkte herstellen. Bei der Firma Lobbe beispielweise kann aus stickstoffhaltigen flüssigen Abfällen ein Entstickungsmittel zum Einsatz bei Rauchgasentstickung (DeNOx-Verfahren) in Kraftwerken/Müllverbrennungsanlagen (MVA) hergestellt werden.

### **Ausgangskontrolle:**

Im am jeweiligen Standort der Behandlungsanlage vorhandenen eigenen Labor werden die vorbehandelten Abwässer, die in die öffentliche Kanalisation eingeleitet werden, im Hinblick auf die Einhaltung der Ableitungsparameter untersucht. In speziellen Fällen werden externe akkreditierte Labore zur Untersuchung von z.B. Spurenstoffen beauftragt.

Aus derzeitiger Sicht ist es essenziell für die Minderung von Spurenstoffemissionen in Gewässer, dass die Quellen bekannt sind bzw. möglichst eingegrenzt werden können. Daraus leitet sich dann ab, welcher Behandlungspfad eingeschlagen, welcher Ablauf der Behandlungsschritte erfolgt und welche Chargen sowie welche Art der Nachbehandlung der abgetrennten flüssigen Phase verwendet wird. Für Letztere stehen wie o.g. zunächst die Verfahren Adsorption an Aktivkohle und die Eindampfung zur Verfügung. Für zukünftige Vermeidungsstrategien kann es ggf. interessant sein, die Spurenstoffelimination ggf. bereits beim Produzenten bzw. gekoppelt an dessen Produktionsprozesse zu etablieren, wenn dies technisch-wirtschaftlich sinnvoll ist. Allerdings erfordert dies eine sehr weitreichende Kooperationsbereitschaft des Produzenten.

## **2.11 Analytische Methoden und sonstige Maßnahmen zur frühzeitigen Erkennung von Spurenstoffen**

Zur Beurteilung der Wasserqualität werden unterschiedliche Methoden und Parameter verwendet. Summarische Parameter wie z.B. die gesamten gelösten Salze (TDS), der gelöste organische Kohlenstoff (DOC) oder der chemische Sauerstoffbedarf (CSB) sind erprobte und robuste Bestimmungsverfahren (Kunz, 1995). Diese können kontinuierlich, z.B. mit Sensoren, Sonden oder Elektroden, ohne zusätzliche Fehlereinflüsse bei den Probenahmen oder durch Schnelltests und ohne aufwendige Vorbehandlung gemessen werden. Der Nachteil der Summenparameter ist, dass keine Aussagen über einzelne Inhaltsstoffe im analysierten Wasser getroffen werden können.

Die genaue Bestimmung von organischen Spurenstoffen im Wasser erfolgt hauptsächlich mittels Gaschromatographie (GC) oder Flüssigkeitschromatographie (LC) gekoppelt mit massenspektrometrischer Detektion (MS) (Schulz, 2010). Diese Verfahren erlauben eine sowohl qualitative als auch quantitative Bestimmung einzelner Spurenstoffe, je nach Matrix auch bei sehr geringen Konzentrationen, z.B. im Bereich von wenigen ng/L. Die Durchführung der Analyse ist allerdings zeit- und kostenintensiv, da u.a. Anreicherungsverfahren und aufwändige Vorbehandlungsschritte der Probe (Festphasen- oder Flüssig-Flüssig-Extraktion) vorgenommen werden müssen und die Analysentechnik sehr kostspielig ist. Für einige unpolare unzersetzt verdampfbare Substanzgruppen ist ein GC-MS-Screening ein möglicher Lösungsansatz.

Um dennoch schnell und mit vertretbarem Aufwand Informationen über das Vorhandensein von Spurenstoffen zu bekommen, wäre die Findung bzw. Entwicklung von summarischen Screeningverfahren eine große Hilfe. Für einen der relevanten Parameter – die fluororganischen Stoffe – wäre die Bestimmung von adsorbierbaren organischen Fluorverbindungen (AOF) bzw. extrahierbaren organischen Fluorverbindungen (EOF) eine geeignete Methode, um die Summe der adsorbierbaren organischen Fluorverbindungen näher differenzieren zu können. Des Weiteren decken diese summarischen Screeningverfahren eine deutlich größere Menge an PFAS-Verbindungen in einer Messgröße ab und spiegeln damit die reale PFAS Belastung näher wieder als die Einzelstoffanalytik.

### **Summenparameter:**

Über Summen- und Gruppenparameter werden Rückschlüsse auf den Gehalt an organischen Stoffen in einer Wasserprobe gezogen. Die dafür am häufigsten verwendeten Summen-/Gruppenparameter sind in Tabelle 9 aufgelistet.

**Tabelle 9: Übersicht der typischen analytischen Summenparameter**

Name	Beschreibung	Methode
Adsorbierbare organische Halogenverbindungen	Bestimmung adsorbierbarer organisch gebundener Halogene (AOX)	DIN EN ISO 9562:2005-02
	AOX Küvetten-Test	Küvetten-Test
Adsorbierbare organische Fluorverbindungen	Bestimmung von adsorbierbarem organisch gebundenem Fluor, Chlor, Brom und Iod (AOF, AOCl, AOBr, AOI) mittels Verbrennung und nachfolgender ionenchromatographischer Messung (H 59)	DIN 38409-59:2020-11 ((Normentwurf)
Extrahierbare organische Halogenverbindungen	Schlamm und Sedimente (Gruppe S) - Teil 17: Bestimmung von extrahierbaren organisch gebundenen Halogenen (EOX)	DIN 38414-17:2017-01
Extrahierbare organische Fluorverbindungen	Extraktion analog EOX und anschließende Atomabsorptionsmessung (AAS)	Koch et. al. 2019; Metzger et. al. 2019; Gehrenkemper et. al. 2020; Aro et. al. 2021
Biochemischer Sauerstoffbedarf	Bestimmung des biochemischen Sauerstoffbedarfs nach n Tagen (BSB <sub>n</sub> ) – Teil 1: Verdünnungs- und Impfverfahren mit Zugabe von Allylthioharnstoff	DIN EN ISO 5815-1:2020-11
	Bestimmung des Biochemischen Sauerstoffbedarfs nach n Tagen (BSB <sub>n</sub> )	DIN EN 1899-2:1998-02
Chemischer Sauerstoffbedarf	Bestimmung des chemischen Sauerstoffbedarfs (ST-CSB)	
	(Küvettentest)	DIN ISO 15705:2003-01
	Bestimmung des Chemischen Sauerstoffbedarfs (CSB) im Bereich über 15 mg/l	DIN 38409-41:1980-12
	Bestimmung des Chemischen Stoffbedarfs (CSB) Kurzzeitverfahren	DIN 38409-43:1981-12
Total / Dissolved organic carbon - gelöster / gesamter organischer Kohlenstoff	Anleitungen zur Bestimmung des gesamten organischen Kohlenstoffs (TOC) und des gelösten organischen Kohlenstoffs (DOC)	DIN EN 1484:2019-04

Name	Beschreibung	Methode
spektraler Absorptionskoeffizient bei 254 nm	Bestimmung der Absorption im Bereich der UV-Strahlung, Spektraler Absorptionskoeffizient	DIN 38404-3:2005-03
Total Nitrogen – gesamter gebundener Stickstoff	Bestimmung von Stickstoff, Bestimmung von gebundenem Stickstoff (TN <sub>b</sub> ) nach Oxidation zu Stickstoffoxiden	DIN EN 12260:2003-12

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Obwohl anhand der Summenparameter einzelne Inhaltsstoffe nicht identifiziert werden können, dienen sie als Indikatoren für einen Konzentrationsunterschied der typischen Ablaufwerte. Beispielsweise können Veränderungen der organischen Substanzen anhand der Summenparameter CSB und DOC erfasst werden.

Aus den oben genannten Summenparametern lässt sich über den spektralen Absorptionskoeffizienten (SAK) der Wasserproben eine erste (grobe) quantitative Analyse zur Summe der organischen Spurenstoffe durchführen. In Stoffgemischen kann die Absorption der Probe durch mehrere Einzelstoffe bei einer Wellenlänge beeinflusst werden. Die gesamte Absorption ergibt sich aus der Summe der einzelnen Beiträge (Frimmel, 1999).

Extrahierbare organisch gebundene Fluorverbindungen (EOF) und adsorbierbare organisch gebundene Fluorverbindungen (AOF) sind wichtige Summenparameter zum Nachweis von PFAS in wässrigen Proben. Die AOF werden dabei mittels Combustion-Ionenchromatographie (CIC) und die EOF mittels hochauflösender Kontinuumquellen-Graphitrohr-Molekularabsorptionsspektrometrie (HR-CS-GFMAS) bestimmt. Die HR-CS-GFMAS ist dabei die empfindlichere und präzisere Methode zur Bestimmung der organischen Fluorverbindungen, wobei beide Methoden vergleichbare Gesamtfluorgehalte ermitteln können (Gehrenkemper et. al. 2020). Im Vergleich zur HPLC-MS-Einzelstoffanalytik sind die EOF und AOF zur Risikobewertung der PFAS gut geeignet, da sie nicht nur definierte PFAS-Verbindungen, sondern auch die gesamte Stoffklasse erfassen.

### Einzelstoffanalytik

Aktuell werden organische Spurenstoffe hauptsächlich mittels zwei Verfahren bestimmt: Gaschromatographie und Flüssigkeitschromatographie. Beide werden in Verbindung mit Massenspektrometrie (GC-MS und LC-MS) verwendet. Dabei dient der chromatographische Teil zur Trennung der Inhaltsstoffe und die Massenspektrometrie zur Identifikation der ionisierbaren Stoffe (Kolb, 2012). Die Flüssigkeitschromatographie hat sich für die Bestimmung von polaren Spurenstoffen als Methode der Wahl etabliert (Wode, 2014). Diese besitzt, im Vergleich zur Gaschromatographie, den Vorteil der Identifizierung polarer Spurenstoffe, die zuvor nicht oder nur mit erheblichem Aufwand bestimmt werden konnten (Sacher, 2013).

Als Nachteil dieser Methoden ergibt sich die Tatsache, dass nur Stoffe genau bestimmt werden, die bereits bekannt und als Referenzsubstanz auch verfügbar sind. Zur Identifizierung von einzelnen unbekanntem Stoffen müssen die Ergebnisse der Untersuchungen mit Daten aus Datenbanken verglichen werden. Dies ist zeitaufwendig und verlangsamt die Analytik. Für eine direkte Steuerung einer CP-Behandlungsanlage eignen sich diese Bestimmungen nicht.

Tabelle 10 zeigt eine Auswahl möglicher Laborverfahren zur Identifikation von Spurenstoffen mit Beispielen von damit nachweisbaren Spurenstoffen. Für die Anwendung auf gefährliche

flüssige Abfälle müssten die Standardverfahren an die komplexe Matrix angepasst werden. Nicht alle Methoden wurden für Abfälle validiert.

**Tabelle 10: Übersicht der Laborverfahren zur Spurenstoffidentifikation**

Name	Beschreibung	Methode
Polychlorierte Biphenyle	Bestimmung von Organochlorpestiziden, Polychlorbiphenylen und Chlorbenzolen in Wasser - Verfahren mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC-MS) nach Flüssig-Flüssig-Extraktion	DIN 38407-37:2013-11
Chlorphenole	Gaschromatographische Bestimmung einiger ausgewählter Chlorphenole in Wasser	DIN EN 12673:1999-05
Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe	Bestimmung ausgewählter polycyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (PAK) Verfahren mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC-MS)	DIN 38407-39:2011-09
Organochlorpestizide	Bestimmung von Organochlorpestiziden (OCP) in Gesamtwasserproben - Verfahren mittels Festphasenextraktion (SPE) mit SPE-Disks in Verbindung mit Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS)	DIN EN 16693:2015-12
Polybromierte Diphenylether	Bestimmung von ausgewählten polybromierten Diphenylethern (PBDE) in Gesamtwasserproben - Verfahren mittels Festphasen-extraktion (SPE) mit SPE-Disks in Verbindung mit Gaschromatographie-Massen-spektrometrie (GC-MS)	DIN EN 16694:2015-12
GC-MS-Screening	GC-MS-Screening - Qualitative und halbquantitative Übersichtsanalyse	DIN 3599:2022-02
N-Heterocyclen	Bestimmung ausgewählter heterocyclischer aromatischer Kohlenwasserstoffe (NSO-Heterocyclen) in Wasser - Verfahren mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GS/MS) nach Fest-Flüssig-Extraktion (SPE)	DIN 38407-44:2018-02
Phosphororganische Verbindungen und Phenoxy-ethanol	Bestimmung mittels Festphasenextraktion (SPE) Verbindung mit Gaschromatographie-Massenspektrometrie (GC-MS)	analog DIN EN 16693:2015-12
Polychlorierte Dibenzodioxine (PCDD) und Dibenzofurane (PCDF)	Bestimmung von tetra- bis octachlorierten Dioxinen und Furanen. Verfahren nach Isotopen-Verdünnung GC/MS	ISO 18073: 2004-04
Per- und polyfluorierte Chemikalien (PFC)	Bestimmung ausgewählter polyfluorierter Verbindungen (PFC) in Wasser – Verfahren mittels Hochleistungs-	DIN 38407-42:2011-03

Name	Beschreibung	Methode
	Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS) nach Fest-Flüssig-Extraktion	
Phthalate	Bestimmung ausgewählter Phthalate mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie	DIN EN ISO 18856:2005-11
Komplexbildner	Bestimmung von sechs Komplexbildnern - Gaschromatographische Verfahren	DIN EN ISO 16588:2004-02
Benzotriazol	Bestimmung ausgewählter Arzneimittelwirkstoffe und weiterer organischer Stoffe in Wasser und Abwasser – Verfahren mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS oder -HRMS) nach Direktinjektion	analog DIN 38407-47:2017-07
Alkylphenole/BPA	Gaschromatographisch-massenspektrometrische Bestimmung von Alkylphenolen, deren Ethoxylaten und Bisphenol A für nichtfiltrierte Proben unter Verwendung der Festphasenextraktion und Derivatisierung	DIN EN ISO 18857-2
	Bestimmung mittels Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (HPLC-MS/MS oder -HRMS) nach Direktinjektion	analog DIN 38407-47:2017-07

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Eine automatisierte Probenahme ist, soweit technisch möglich, besser und sinnvoller als eine manuelle Probenahme. Dies resultiert daraus, dass anthropogene Fehler sich nicht durch geschickte instrumentelle Analytik wieder korrigieren lassen.

### Biotests / Ökotoxikologische Tests

Bio- oder ökotoxikologische Tests dienen der Bewertung des Gefahrenpotentials von Chemikalien. Sie werden zur Untersuchung der Wirkung von Chemikalien auf verschiedene Organismen eingesetzt. Unter einer Wirkung werden Abweichungen vom normalen Erscheinungsbild und der Verdacht einer Schädigung verstanden (Parlar & Angerhöfer, 1995). In Tabelle 11 werden verschiedene Biotests aufgelistet, die auf organische Inhaltsstoffe im Abwasser hindeuten können und für CP-Behandlungsanlagen relevant sind bzw. sein könnten.

**Tabelle 11: Übersicht von ökotoxikologischen Untersuchungsverfahren zur Abwasserbewertung**

Parameter	Beschreibung	Methode
Giftigkeit gegenüber Fischeiern (GEi)		
(Anhang 27)	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der akuten Toxizität	DIN EN ISO 15088 (T6) (Ausgabe Juni 2009)

Parameter	Beschreibung	Methode
	von Abwasser auf Zebrafisch-Eier (Danio rerio)	
Giftigkeit gegenüber Leuchtbakterien (GL)		
(Anhang 27)	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Hemmwirkung von Wasserproben auf die Lichtemission von <i>Vibrio fischeri</i> (Leuchtbakterientest) - Teil 1: Verfahren mit frisch gezüchteten Bakterien (ISO 11348-1:2007); Deutsche Fassung EN ISO 11348-1:2008	DIN EN ISO 11348-1 (L51) (Ausgabe Mai 2009) der DIN EN ISO 11348-2 (L52) (Ausgabe Mai 2009), jeweils gem. AbwV mit folgender Maßgabe: Die Abwasseruntersuchung ist gemäß Anhang B dieser Normen durchzuführen.
Giftigkeit gegenüber Daphnien (GD)		
(Anhang 27)	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L); Bestimmung der nicht akut giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Daphnien über Verdünnungsstufen (L 30)	DIN 38412- 30 (L30) (Ausgabe März 1989)
Erbgutveränderndes Potential (umu-Test)		
(AbwV)	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Suborganismische Testverfahren (Gruppe T) - Teil 3: Bestimmung des erbgutverändernden Potentials von Wasser mit dem umu-Test (T 3)	DIN 38415-3 (T3) (Ausgabe Dezember 1996)
Giftigkeit gegenüber Wasserlinsen (GW)		
(AbwV)	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der toxischen Wirkung von Wasserinhaltsstoffen und Abwasser gegenüber Wasserlinsen ( <i>Lemna minor</i> ) - Wasserlinsen-Wachstumshemmtest	DIN EN ISO 20079 (L49) (Ausgabe Dezember 2006)
Giftigkeit gegenüber Algen (GA)		
(AbwV)	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung; Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L);	DIN 38412-L 33 (L33) (Ausgabe März 1991) mit folgender Maßgabe gem. AbwV: In Abschnitt 3.5 dieser Norm gilt nicht der Satzteil „sofern bei

Parameter	Beschreibung	Methode
Östrogenes Potential	Bestimmung der nicht giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Grünalgen (Scenedesmus-Chlorophyll-Fluoreszenztest) über Verdünnungsstufen (L 33)	höheren Verdünnungsfaktoren keine Hemmung größer als 20 Prozent festgestellt wird“ und in Abschnitt 11.1 dieser Norm gilt nicht die Anmerkung.
YES-Test	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung des östrogenen Potentials von Wasser und Abwasser - Teil 1: Hefebasierter Östrogentest ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> )	ISO 19040-1 (Ausgabe August 2018)
Genotoxizität		
Ames-Test	Wasserbeschaffenheit - Bestimmung der Genotoxizität von Wasser und Abwasser - Verfahren mittels Salmonella/Microsomen-Fluktuationstest (Ames-Fluktuationstest)	ISO 11350 (Ausgabe März 2012)
TTC-Test	Deutsche Einheitsverfahren zur Wasser-, Abwasser- und Schlammuntersuchung - Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L) - Teil 3: Toxizitätstest zur Bestimmung der Dehydrogenasenaktivitätshemmung in Belebtschlamm (TTC-Test)	DIN 38412-3 (Ausgabe Oktober 2010)
Nitrifikationshemmtest (NHT)	Wasserbeschaffenheit - Toxizitätstest zur Bestimmung der Nitrifikationshemmung in Belebtschlamm	DIN EN ISO 9509

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### 3 Parameteruntersuchungen im Labor

Im Arbeitspaket 1 wurde nach Auswertung der Fragebögen der Betreiber, verschiedener Datenbanken, Indirekteinleiterüberwachungsdaten und einer Literaturrecherche eine Liste von 104 potentiellen Spurenstoffen und Spurenstoffgruppen erarbeitet (Anhang C). Diese Liste wurde anhand verschiedener Gewichtungskriterien mit einer dreistufigen Entscheidungsmatrix auf 62 relevante Spurenstoffe bzw. 12 Spurenstoffgruppen als Leitsubstanzen für das Monitoring der Abwasserströme der beiden im Projekt betrachteten CP-Behandlungsanlagen der Fa. Lobbe Entsorgung West GmbH & Co KG in Iserlohn-Letmathe und Fa. Indaver Deutschland GmbH in Frankfurt reduziert. Hierbei handelt es sich bei den 62 Einzelstoffen um verschiedene Substanzgruppen, wie Komplexbildner und Korrosionsschutzmittel, Per- und Polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS), Organohalogenverbindungen, Phosphor-Flammschutzmittel (Phosphorsäureester), Weichmacher (Phthalate), PAK, PCB, Alkylphenole, Dioxine und Dioxinähnliche-Verbindungen, heterocyclische-Kohlenwasserstoffe, Alkohole und Lösungsmittel (Tabelle 12).

**Tabelle 12: Übersicht der untersuchten Spurenstoffe im CP-Behandlungsanlagen-Monitoring**

Parameter	Einheit	Stoffgruppe
Nitrilotriessigsäure	µg/l	Komplexbildner
Ethylendiamin-tetraessigsäure	µg/l	Komplexbildner
Diethylentriamin-pentaessigsäure	µg/l	Komplexbildner
Phenanthren	µg/l	PAK
Fluoranthren	µg/l	PAK
PCB28	ng/l	PCB
PCB52	ng/l	PCB
PCB101	ng/l	PCB
PCB118	ng/l	PCB
PCB153	ng/l	PCB
PCB138	ng/l	PCB
PCB180	ng/l	PCB
Tributylphosphat	ng/l	Phosphor-Flammschutzmittel
Tris(2-chloroethyl) -phosphate	ng/l	Phosphor-Flammschutzmittel
Tris(2-chlorisopropyl) -phosphate	ng/l	Phosphor-Flammschutzmittel
Tris(1,3-dichlorisopropyl) -phosphate	ng/l	Phosphor-Flammschutzmittel
Tris(2-butoxyethyl) - phosphate	ng/l	Phosphor-Flammschutzmittel
Triphenylphosphate	ng/l	Phosphor-Flammschutzmittel
Bis(2-ethylhexyl) -phthalat	µg/l	Weichmacher Phthalate

Parameter	Einheit	Stoffgruppe
Benzotriazol	µg/L	Korrosionsschutzmittel
Bisphenol A	µg/L	Alkylphenole
Nonylphenol	µg/L	Alkylphenole
Octylphenol	µg/L	Alkylphenole
o-Phenylphenol	µg/L	Alkylphenole
Chinolin	µg/l	N-Heterocyclen
Isochinolin	µg/l	N-Heterocyclen
Indol	µg/l	N-Heterocyclen
2-Methylchinolin	µg/l	N-Heterocyclen
6-Methylchinolin	µg/l	N-Heterocyclen
2,4-Dimethylchinolin	µg/l	N-Heterocyclen
2,6-Dimethylchinolin	µg/l	N-Heterocyclen
Acridin	µg/l	N-Heterocyclen
Carbazol	µg/l	N-Heterocyclen
Phenoxyethanol	µg/l	Alkohol
Aceton	µg/L	Lösungsmittel
PFBA	µg/l	PFAS
PFPeA	µg/l	PFAS
PFHxA	µg/l	PFAS
PFHpA	µg/l	PFAS
PFOA (Perfluoroctansäure)	µg/l	PFAS
PFNA (Perfluornonansäure)	µg/l	PFAS
PFDA (Perfluordekansäure)	µg/l	PFAS
PFBS	µg/l	PFAS
PFHxS	µg/l	PFAS
PFOS (Perfluoroctansulfonat)	µg/l	PFAS
2,3,7,8-TetraCDD	ng/l	Dioxine
1,2,3,7,8-PentaCDD	ng/l	Dioxine
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	ng/l	Dioxine
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	ng/l	Dioxine
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	ng/l	Dioxine
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	ng/l	Dioxine

Parameter	Einheit	Stoffgruppe
OctaCDD	ng/l	Dioxine
2,3,7,8-TetraCDF	ng/l	Dioxine
1,2,3,7,8-PentaCDF	ng/l	Dioxine
2,3,4,7,8-PentaCDF	ng/l	Dioxine
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	ng/l	Dioxine
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	ng/l	Dioxine
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	ng/l	Dioxine
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	ng/l	Dioxine
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	ng/l	Dioxine
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	ng/l	Dioxine
OctaCDF	ng/l	Dioxine

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Die Spurenstoffe mit ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften sind übersichtlich im Anhang E aufgelistet.

Diese breite Stoffauswahl erfordert verschiedene analytische Methoden für die verschiedenen Stoffgruppen. Basis sind dabei für die unpolaren organischen Spurenstoffe gaschromatographische (GC) und für die polaren Verbindungen hochleistungsflüssigkeitschromatographische (HPLC) Methoden mit verschiedenen Detektoren und Kopplungstechniken. Ergänzend wurde auch ein GC-MS-Screening zur Identifikation von weiteren potentiell relevanten organischen Spurenstoffen an beiden Anlagen durchgeführt.

Neben der quantitativen und qualitativen Untersuchung der Einzelsubstanzen in den verschiedenen Abfällen (Input) und Abwasserströmen an verschiedenen Behandlungstagen erfolgte für alle Proben eine Untersuchung auf verschiedene abwassertechnisch relevante Parameter/Summenparameter (pH-Wert, Leitfähigkeit, Abfiltrierbare Stoffe, AOX, CSB, TOC, TNb, Phosphor, SAK2<sub>54</sub>, KW-Index).

Zusätzlich zu den in der AbwV Anhang 27 genannten Überwachungsparametern wurde in Kooperation mit Mitsubishi Chemical Europe auch die Combustion-Ionenchromatographie (C-IC) zur Bestimmung von adsorbierbarem organisch gebundenem Fluor, Brom, Chlor und Iod (AOF, AOB<sub>r</sub>, AOCl, AOI) eingesetzt und mit der Bundesanstalt für Materialwissenschaften (BAM) der EOF als möglicher neuer Summenparameter teilweise mitbestimmt. Mit diesem Summenparameter wäre bei einer erfolgreichen Umsetzung die Überwachung von organischen Halogenverbindungen wie den Röntgenkontrastmitteln oder Per- und Polyfluorierten Alkylverbindungen (PFAS) möglich.

Zur Bewertung der biologischen und ökotoxikologischen Relevanz der Spurenstoffe für die Behandelbarkeit in einer Abwasserbehandlungsanlage bzw. Einleitbarkeit in ein Gewässer wurden vom ISA und Lobbe in Zusammenarbeit mit dem UBA (Fachgebiet III 2.5) exemplarisch an ausgewählten Proben eine Testbatterie, bestehend aus Nitrifikationshemmtest, TTC-Test (Bestimmung der metabolischen Aktivität der Zellen), Leuchtbakterientest, Daphnientoxizitäts-

test, Argentoxizitätstest, Fischeitest, YES (hormonelle Wirkung), Genotoxizitätstest (umu) und Mutagenitätstest (Ames-Test) untersucht.

Ein Teil der Untersuchungen wurden vom Betriebslabor der jeweiligen CP-Behandlungsanlage durchgeführt. Die Dioxine und PFAS wurden im Unterauftrag von spezialisierten Laboren bestimmt. Alle anderen Spurenstoffe und ein größter Teil der Summenparameter wurden vom umweltanalytischen Laboratorium des ISA für alle Proben untersucht. Hierbei kamen zum einen genormte Verfahren und zum anderen Hausverfahren zum Einsatz. Vor dem Monitoring wurden die Methoden zunächst auf die Eignung für die komplexen Matrizen in einer CP-Behandlungsanlage geprüft und durch entsprechende Probenvorbereitungs- und Clean-Up-Verfahren weiterentwickelt (s. Kapitel 3.2).

### 3.1 Probenahmeverfahren zur Spurenstoffuntersuchung

Die meisten CP-Behandlungsanlagen in Deutschland geben diskontinuierlich behandeltes Abwasser in das kommunale Abwassernetz ab. In der CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe wird zunächst das behandelte Abwasser in einem Stapeltank gesammelt und vor dem Ablassen in den Abwasserkanal in Bezug auf den in der AbwV bzw. im wasserrechtlichen Bescheid festgelegten Untersuchungsumfang untersucht und erst bei Einhaltung der Grenzwerte abgelassen (Abbildung 13).

**Abbildung 13: Stapeltank und Probenahmestelle CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe**

---



Quelle: Eigene Aufnahme, Fa. Lobbe

Zur Ermittlung von Schadstofffrachten wäre eine 24h bzw. 72h-Mischprobe am Anlagenablauf sinnvoll. Da aber je nach Anlagengröße manchmal nur ein Stapeltank pro Tag abgelassen wird

und dieser Behälter durch Umpumpen eine homogene Qualität aufweist, wurde in Iserlohn-Letmathe nur eine repräsentative 30 min-Mischprobe aus dem mittleren Abfluss des Tanks entnommen. Die Probenahmen im Abfluss der Anlage wurden innerhalb einer Woche an jedem Werktag wiederholt und alle Proben bis zur Analytik auf der CP-Behandlungsanlage in 10l-Gebinden gelagert.

In Frankfurt werden je Tag mehrere Stapeltanks mit behandeltem Abwasser in das kommunale Entwässerungssystem abgegeben. Hier wurde je nach Volumen der Tanks aus allen in 24h freigegebenen Tanks eine volumenproportionale Mischprobe erstellt. Da durch die Mischproben eine Vergleichsmässigung des Gehaltes an Spurenstoffen wahrscheinlich ist, wurden zur Aufklärung der möglichen Schwankungsbreite bei der Spurenstoffkonzentration zu einigen Mischproben ausgewählte Stichproben mit untersucht. Die Probenahme und Erstellung der Mischproben wurden innerhalb einer Woche an jedem Werktag wiederholt und alle Proben wurden bis zur Analytik auf der CP-Behandlungsanlage in 10l-Gebinden gelagert.

Für die Untersuchung der Spurenstoffe der angenommenen Abfallarten von relevanten Inputströmen wurden jeweils Stichproben zum Teil unabhängig von den Abwasserproben entnommen. Die Proben wurden dabei aus den in der jeweiligen Behandlungsanlage typischerweise behandelten Abfallströmen entnommen, die für die jeweilige Anlage auch mengenmässig bedeutsam sind. Damit sollte vermieden werden, dass „Exoten“ beprobt werden, die für die Beurteilung der Behandlungsverfahren von geringer Bedeutung sind. In der CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe waren dieses ein PFAS-haltiger Abfall, eine Säure, eine Lauge und eine Emulsion. In der CP-Behandlungsanlage Frankfurt wurden ein ölhaltiges Abwasser, eine Säure, ein alkalischer Abfall und ein neutral-alkalischer Abfall als charakteristische Abfallart analysiert.

### 3.2 Methodenentwicklung und Untersuchungsverfahren zur Spurenstoffbestimmung

Zur Bestimmung der verschiedenen Spurenstoffe in flüssigen gefährlichen Abfällen und verschiedenen Abwasserteilströmen wurde normierte Verfahren auf die komplexe Matrix angepasst oder Hausverfahren entwickelt. Für das Abwasser im Ablauf und die flüssigen Abfälle im Input der CP-Behandlungsanlagen existieren nahezu keine Analysenverfahren für das gesamte Spektrum von Spurenstoffen. Lediglich für einzelne Substanzen wie z.B. PFC sind Methoden vorhanden. Die Bestimmungsgrenze der angewandten Analyseverfahren ist von der Hintergrundmatrix und dem notwendigen Verdünnungsfaktor für die Analytik abhängig und kann nur individuell für die jeweilige Probe angegeben werden (s. Ergebnistabellen). Daraus ergibt sich auch, dass keine einheitliche Messunsicherheit ermittelt werden kann.

Zur Bestimmung der **Komplexbildner** (Nitrilotriessigsäure, Ethylendiamintetraessigsäure, Diethylentriamin-pentaessigsäure) wurden eine Methode auf der Basis der DIN EN ISO 16588 (2004-02) angepasst. Zur gaschromatografischen Trennung wurde zunächst die eingedampfte Probe mit einem Gemisch Bortrifluorid (BF<sub>3</sub>)/Methanol derivatisiert. Dazu wird die Probe nach Zugabe des internen Standards (ISTD) bis zur Trockne bei 105°C eingedampft. Der Rückstand wird in 1 M HCl aufgenommen und bei 105°C wieder bis zur Trockne eingedampft. Dieser Rückstand wird dann mit BF<sub>3</sub>/Methanol 1h bei 100°C derivatisiert, anschließend mit 1 M NaOH versetzt und mit Dichlormethan extrahiert. Die Messung des Extrakts erfolgt mittels GC-MS im

„Selected Ion Monitoring“ (SIM)-Modus mit einem Agilent GC 6890/MSD 5973inert und einer RESTEK Rxi-XLB Trennsäule (Länge 60m; Innendurchmesser (ID) 0,25mm; Filmdicke 0,25µm).

Nach der Stoffauswahl wurden auch zwei **PAK** (Phenanthren, Fluoranthen) gemäß DIN 38407-39 (2011-09) nach einer flüssig/flüssig-Extraktion mit Hexan mittels GC/MS bestimmt. Zur Trennung wurde eine RESTEK Rxi-XLB Trennsäule (60m; ID 0,25mm; 0,25µm) auf einem Agilent GC 6890/MSD 5973inert verwendet. Die Probe wird nach Zugabe des ISTD mit Hexan 30 min ausgerührt. Der Hexanextrakt wird dann über Kieselgel gereinigt. Die Messung des Extrakts erfolgt mittels GC-MS im SIM-Modus.

**PCB** in Abfällen werden häufig untersucht, weshalb es verschiedene Analyseverfahren gibt. Verfahren für feste Abfälle sind nicht auf gefährliche flüssige Abfälle und Abwässer anwendbar. Basis für die PCB-Bestimmung (PCB28, PCB52, PCB101, PCB118, PCB153, PCB138, PCB180) war die DIN 38407-37 (2013-11). Dabei werden die PCB nach Flüssig-Flüssig-Extraktion mittels Gaschromatographie und massenspektrometrischer Detektion (GC/MS) im SIM-Modus auf einem Agilent GC 6890/MSD 5973inert mit einer RESTEK Rxi-XLB Trennsäule (60m; ID 0,25mm; 0,25µm) untersucht. Die Probe wird nach Zugabe des ISTD mit Hexan 30 min ausgerührt. Der Hexanextrakt wird über Kieselgel gereinigt.

Als Leitsubstanz für die Gruppe der **Phthalate** wurde im Arbeitspaket 1 Bis(2-ethylhexyl) - phthalat identifiziert. Die Bestimmung erfolgte gemäß DIN EN ISO 18856 (2005-11) mittels Solid Phase Extraction (SPE)- GC/MS. Für die Anreicherung wurden MN CHROMABOND C18 ec Kartuschen mit einem Thermo-Autotrace-Gerät verwendet. Die Messung des Extrakts erfolgt mittels GC-MS im SIM-Modus mit einem Agilent GC 6890/MSD 5973inert und einer RESTEK Rxi-XLB Trennsäule (60m; ID 0,25mm; 0,25µm).

Für die Bestimmung der **Phosphorsäureester** (Tributylphosphat, Tris(2-chloroethyl) - phosphat, Tris(2-chlorisopropyl)-phosphat, Tris(1,3-dichlorisopropyl)-phosphat, Tris(2-butoxyethyl)-phosphate, Triphenylphosphate) und **Phenoxyethanol** wurden eine flüssig/flüssig-Extraktion mit Toluol und anschließend die Messung mittels GC/MS im SIM-Modus als Hausmethode entwickelt. Dazu wurde die Probe nach Zugabe des ISTD 30min mit Toluol ausgerührt und der Extrakt anschließend auf einem Agilent GC 6890/MSD 5973inert mit einer RESTEK Rxi-XLB Trennsäule (60m; ID 0,25mm; 0,25µm) analysiert. Die Messung des Extrakts erfolgt mittels GC-MS im SIM-Modus.

Im Arbeitspaket 1 wurden die **N-heterocyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe** als potentieller Spurenstoff identifiziert. Da diese Stoffgruppe nicht klar definiert ist, wurden die Analyten gemäß DIN 38407-44 (2018-02) als Leitsubstanzen für diese Stoffgruppe im Monitoring untersucht. Als Analyten wurden Chinolin, Isochinolin, Indol, 2-Methylchinolin, 6-Methylchinolin, 2,4-Dimethylchinolin, 2,6-Dimethylchinolin, Acridin und Carbazol festgelegt. Abweichend von der Norm wurde nicht die SPE sondern eine flüssig/flüssig-Extraktion (LLE) mit Toluol zur Probenanreicherung verwendet, da die LLE sich bei den stark matrixbehafteten Proben als geeigneter erwiesen hatte. Nach 30min ausrühren mit dem Lösungsmittel wurde der Extrakt auf einem Agilent GC 6890/MSD 5973inert mit einer RESTEK Rxi-XLB Trennsäule (60m; ID 0,25mm; 0,25µm) im SIM-Modus untersucht.

Im **Non-Target-GC-MS-Screening** wurden zwei verschiedene Extraktionstechniken für die qualitative Untersuchung der Proben verwendet, um sowohl flüchtige (VOC) als auch schwerflüchtige Verbindungen (SVOC) zu erfassen. Zum einen wurde ein Teil der Probe mit

Toluol für 30min ausgerührt und der Extrakt in der GC/MS gemessen. Zum anderen wurde ein Teil der Probe in ein Headspace-Vial überführt und nur der Gasraum nach Gleichgewichtseinstellung beprobt und ebenfalls mittels GC/MS-Technik gemessen. Im Gegensatz zu den bekannten o.g. Analysengruppen wurden die Proben für das Screening im Fullscan-Modus auf einem Agilent GC 6890/MSD 5973inert mit einer RESTEK Rxi-XLB Trennsäule (60m; ID 0,25mm; 0,25µm) gemessen. Die Auswertung erfolgte über einen Abgleich der gemessenen Spektren mit einer Datenbank des „National Institute of Standards and Technology“ (NIST). Im Rahmen der Untersuchungen in den Praxisanlagen (Kapitel 4) wurden ebenfalls die VOC (Volatile Organic Compounds) und SVOC (Semi-Volatile Organic Compounds) bestimmt und in Anlehnung an die DIN 3599:2021-01 (Entwurf) ausgewertet. Die 10 intensivsten Signale (größte Peakflächen) im Chromatogramm (Total Ion Current, TIC) jeder Probe wurden ausgewertet. Im Vergleich zur Probe dürfen die hierbei gefundenen Signale im Blindwert zu nicht mehr als 10 % (bez. auf die Peakfläche) erkennbar sein. Der interne Standard bei der VOC-Analyse bzw. der Alkan-Standard bei der SVOC-Analyse wurden zur Berechnung des Retentionszeitindex sowie zur halbquantitativen Berechnung der Konzentrationen verwendet. Soweit möglich, wurde für die halbquantitative Berechnung der Konzentration die Komponente aus dem Standard verwendet, die unmittelbar vor der gefundenen Verbindung eluiert. Zur Berechnung des Retentionszeitindex wurde zusätzlich die nach der Zielkomponente eluierende Substanz verwendet.

Die Untersuchung auf die **Dioxine** (2,3,7,8-TetraCDD, 1,2,3,7,8-PentaCDD, 1,2,3,4,7,8-HexaCDD, 1,2,3,6,7,8-HexaCDD, 1,2,3,7,8,9-HexaCDD, 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD, OctaCDD, 2,3,7,8-TetraCDF, 1,2,3,7,8-PentaCDF, 2,3,4,7,8-PentaCDF, 1,2,3,4,7,8-HexaCDF, 1,2,3,6,7,8-HexaCDF, 1,2,3,7,8,9-HexaCDF, 2,3,4,6,7,8-HexaCDF, 1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF, 1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF, OctaCDF) erfolgte im Unterauftrag gemäß ISO 18073: 2004-04 nach flüssig/flüssig-Extraktion und Bestimmung mittels HRGC/HRMS.

Zur Bestimmung der **Phenole** (Bisphenol A (BPA), Octylphenole (Summe 4-n-Octylphenol und 4-tert-Octylphenol), Nonylphenol, o-Phenylphenol) wurden die Proben zunächst stark verdünnt und auf C-18 SPE Kartuschen (Octadecyl modifizierte Silica-Phase, nicht endcapped) angereichert (100 mL). Die Methode beruht dabei auf einer Hausmethode, die für verschiedene Abwässer verwendet wird. Im Anschluss wurde mit 25 mL HPLC-Wasser die störende Matrix entfernt. Eluiert wurden diese dann in drei Schritten mit je 2 mL Methanol und anschließend bei 60 °C im Stickstoffstrom eingeengt. Der Rückstand wurde wieder in 1,0 mL Methanol/Wasser (50/50) aufgenommen und hiervon 10 µL in das HPLC-HRMS System eingeführt. Die Ionisation erfolgte mittels „Atmospheric Pressure Chemical Ionisation“ (APCI) im negativen Messmodus. Ausgewertet wurde im Full-Scan Modus mit internem Standard (Nonylphenol-D4 und BPA-D16). Gemessen wurden die Proben auf der LTQ-Orbitrap von Thermo Fisher mit einer Thermo Fisher Betasil C 18 Trennsäule (Länge 150 mm, Innendurchmesser 2,1 mm, Partikelgröße 5 µm). Die Trennung erfolgte über einen Lösungsmittelgradienten gemäß nachfolgender Tabelle 13.

**Tabelle 13: Gradientenverlauf zur Phenolbestimmung; A = Methanol, B = Wasser**

	Time	A %	B %	Fluss $\mu\text{L}/\text{mL}$
0	0,0	20	80	200
1	8,0	100	0,0	200
2	15,0	100	0,0	200
3	16,0	20	80	200
4	24,0	20	80	200
5	-	100	0,0	200

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Das Korrosionsschutzmittel **Benzotriazol** wurde in Anlehnung an die DIN 38407-47 mittels LC-HRMS bestimmt. Wegen der hohen Matrixbelastung mussten die Proben zunächst stark verdünnt werden (bis zu 1/1000). Anschließend wurden dann 100 mL Probe auf einer Oasis HLB (hydrophile-lipophile Balance) SPE Kartusche (Divinylbenzol-N-vinylpyrrolidon-Copolymer) angereichert. Danach wurde mit 25 mL HPLC-Wasser die störende Matrix entfernt. Eluiert wurde dabei in drei Schritten mit je 2 mL Methanol und das Eluat bei 60 °C im Stickstoffstrom eingengt. Der Rückstand wurde in 1,0 mL Methanol/Wasser (50/50) aufgenommen und hiervon 10  $\mu\text{L}$  in das HPLC-HRMS System eingeführt. Die Ionisation erfolgte mit Elektrospray-Ionisation (ESI) im positiven Messmodus. Ausgewertet wurde im Full-Scan Modus mit internem Standard. Gemessen wurden die Proben auf der LTQ-Orbitrap von Thermo Fisher mit einer Thermo Fisher Hypersil Gold aQ Trennsäule (Länge 150 mm, Innendurchmesser 2,1 mm, Partikelgröße 5  $\mu\text{m}$ ). Die Trennung erfolgte über einen Lösungsmittelgradienten gemäß nachfolgender Tabelle 14.

**Tabelle 14: Gradientenverlauf zur Benzotriazolbestimmung; A = Methanol + 0,1 % Essigsäure & 2mM Ammoniumacetat, B = Wasser + 0,1 % Essigsäure & 2 mM Ammoniumacetat, C = Methanol**

	Time	A %	B %	C %	Fluss $\mu\text{L}/\text{mL}$
0	0,0	20	80	-	200
1	8,0	90	10	-	200
2	13,0	90	10	-	200
3	14,0	20	80	-	200
4	22,0	20	80	-	200
5	-	0,0	0,0	100	200

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Die **PFAS** (PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFOS) wurden im Unterauftrag gemäß DIN 38407-42 nach starker Verdünnung und SPE-Anreicherung und Matrixentfernung mittels LC-MS/MS bestimmt.

Als komplementärer Summenparameter zu den PFAS wurde im Monitoring auch der **SPE-AOF**, **SPE-AOBr**, **SPE-AOI**, **SPE-AOCI** mittels Combustion-Ionenchromatographie, modifiziert nach E DIN 38409-59, nach SPE Anreicherung bestimmt. Je 100 mL der Proben wurden stark verdünnt und auf einer Chromabond HR-P SPE Kartusche (Polystyrol-Divinylbenzol-Copolymer; Volumen 6 mL, Füllmenge 500 mg) von Macherey Nagel angereichert, mit Methanol/Wasser eluiert und auf 100mL mit Wasser aufgefüllt. Diese Probe wurde dann auf Aktivkohle mit einer Anreicherungsstation TXA-04 von a1-envirotech angereichert und bis zur Messung bei -18 °C gelagert. Der **AOX** wurde analog den anderen AO-Verbindungen modifiziert nach DIN EN ISO 9562:2004 mit vorheriger SPE Anreicherung auf dem AOX-200 von a1-envirotech coulometrisch bestimmt.

Neben dem AOF stellt der EOF einen weiteren potentiellen empfindlichen Summenparameter zur Abschätzung des Anteils an organisch gebundenem Fluor dar. Dabei wurde von der Bundesanstalt für Materialforschung und -Prüfung die Probe nach einer SPE-Anreicherung extrahiert und der Extrakt mittels hochauflösender-continuum source Graphitrohr Molekülabsorptionsspektrometrie (HR-CS-GFMAS) bestimmt. (Koch et. al. 2019; Metzger et. al. 2019; Gehrenkemper et. al. 2020; Aro et. al. 2021).

### 3.3 Spurenstoffmonitoring und Untersuchungen weiterer Parameter

Die beiden CP-Behandlungsanlagen wurden in zwei Messkampagnen im September und Dezember 2019 beprobt (s. 3.1) und die Proben auf 62 verschiedene Spurenstoffe (Tabelle 12) zzgl. Begleitparameter mit verschiedenen Analysemethoden (s. 3.2) untersucht. Die Ergebnisse des Monitorings sind in Tabelle 15, Tabelle 16, Tabelle 17 und Tabelle 18 jeweils für die beiden CP-Behandlungsanlagen getrennt nach Abwasseruntersuchung und Abfallcharakterisierung dargestellt.

Im ersten Monitoring der beiden CP-Behandlungsanlagen wurden dabei nur die Inputströme und die behandelten Abwässer untersucht. Im Arbeitspaket 3 wurden dann weitere Teilströme und Abwässer nach den einzelnen Behandlungsschritten mit den relevanten Leitsubstanzen entlang des Behandlungsprozesses betrachtet (s. Kapitel 4). Hierfür wurden die Daten des ersten Monitorings ausgewertet und Leitsubstanzen ausgewählt.

Des Weiteren wurde die Biotestbatterie und das AOF - Screening auch in der CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe angewendet, um eine höhere Repräsentativität der Untersuchungen zu gewährleisten.

Sowohl in den ersten beiden Messkampagnen (September und Dezember 2019) als auch bei der Untersuchung der Behandlungskonzepte (März, April und Mai 2021) im Arbeitspaket 3 wurde ein umfangreiches GC-MS-Non-Target Screening durchgeführt. In den ersten beiden Messkampagnen wurde zunächst nur ein qualitativer Abgleich der 10 intensivsten Signale mit der NIST-Stoffdatenbank durchgeführt. Bei der Untersuchung der Behandlungskonzepte wurde eine weitergehende halbquantitative Auswertung der signifikantesten Signale vorgenommen. Alle Ergebnisse sind in Anhang J dargestellt.

Neben den Spurenstoffen wurden auch verschiedene Wirk-, Summen- und ökotoxikologische Untersuchungsverfahren durchgeführt. Eine Übersicht ist in Tabelle 15 und Tabelle 17 zusammengestellt.

### 3.3.1 Spurenstoffmonitoring in den Abfallinputstoffen und im Ablauf der CPB Iserlohn-Letmathe

Im Spurenstoffscreening wurden neben den Spurenstoffen, Ökotoxizitätstests und Summenparametern auch von einigen Parametern (pH-Wert, Leitfähigkeit und TOC) Vergleichsuntersuchungen durchgeführt. Bei den Parametern pH-Wert und Leitfähigkeit wurden die Messungen sowohl vor Ort unmittelbar nach der Freigabe des Tanks in dem Betriebslabor als auch im Nachhinein in dem ISA Labor durchgeführt. Dabei wurden keine signifikanten Unterschiede festgestellt, die auf eine Probenveränderung nach der Lagerung hindeuten. Beim TOC wurden im ISA Labor ca. 10 – 20 % höhere Gehalte als im Betriebslabor festgestellt. Diese Werte liegen aber unter Berücksichtigung der komplexen Matrix innerhalb der Vergleichsstandardabweichung der angewendeten Messmethode. Die Abwasserproben wiesen eine erwartungsgemäß hohe Leitfähigkeit auf im Bereich von mS/cm aufgrund der behandelten anorganischen Abfälle und demzufolge des hohen Salzgehaltes im Abwasser auf. Des Weiteren hatten die Abwässer eine sehr hohe organische Belastung (Tabelle 15).

Bei den Abwasserproben wurden nahezu keine PCB, PCDD, PCDF und PFAS nachgewiesen. Es wurde nur bei zwei Proben PFBA festgestellt. Aus allen anderen als relevant eingestuften Spurenstoffgruppen wurden einzelne Spurenstoffe, in teilweise sehr hohen Konzentrationen im Ablauf der CPB-Anlage nachgewiesen. Liegen die Werte von Spurenstoffen üblicherweise im Bereich von 100- 1.000 ng/L, so wurden im Rahmen der Untersuchungen Werte im Bereich von µg/L nachgewiesen.

Die Ergebnisse des TTC-Tests und des Nitrifikationshemmtests der Ablaufproben waren unauffällig und deuten auf kein negatives Potential für die Biozönose in der Kläranlage hin. Der Leuchtbakterientest zeigt allerdings mit einem  $G_L$  von 96 ein sehr hohes ökotoxisches Potential der unverdünnten Abwasserprobe an Tabelle 15.

**Tabelle 15: Untersuchungsergebnisse Ablauf CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe**

PIMS-Nr.	Einheit	Lab	2019-03853	2019-03854	2019-03855	2019-03856	2019-03857	2019-04183	2019-04184	2019-04185
Probenahme am			11.09.19	12.09.19	13.09.19	15.09.19	16.09.19	17.09.19	18.09.19	19.09.19
Konsistenz	-		flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig
Farbe	-		hell-braun	gelblich	leicht gelb	grau	leicht gelb	grau	gelblich	gelblich
pH-Wert	-	L	9,1	9,0	8,8	8,9	8,4	8,4	8,8	8,9
pH-Wert	-	I	8,7	9,0	8,7	9,0	8,6	8,3	6,9	8,2
Leitfähigkeit	ms/cm	L	25,4	27,4	28,1	28,6	43,8	46,8	30,6	30,9
Leitfähigkeit	ms/cm	I	25,8	25,9	25,7	26,4	44,3	46,0	16,7	30,0
KW-Index	mg/L	L	<2	<2	<2	<2	<2	<2	<2	9,4
Nitrit	mg/L	L	2	10	<2	<2	5	<2	<2	5
Nitrat	mg/L	L	<10	<10	<10	<10	10	<10	<10	10
Ammonium	mg/L	L	64	72	98	77	102	120	140	100
TOC	mg/L	L	990	1200	1300	860	660	610	1100	1600
TOC	mg/L	I	1190	1440	1430	1050	820	820	1270	1480
CSB	mg/L	I	3700	4570	4500	3290	3090	2690	4240	4980
CSB/TOC			3	3	3	3	4	3	3	3
Stickstoff geb. TNb	mg/L	L	140	150	160	120	120	130	160	150
Phosphor	mg/L	L	14	61	8	3	3	3	4	13
AFS	mg/L	I	170	98	29	24	120	54	63	290
SAK 254	cm-1	I	5,089	2,5375	2,1115	2,087	3,069	2,332 [1/10]	2,584 [1/10]	2,087 [1/10]

PIMS-Nr.	Einheit	Lab	2019-03853	2019-03854	2019-03855	2019-03856	2019-03857	2019-04183	2019-04184	2019-04185
Nitrilotriessigsäure	µg/l	I	750	970	630	530	71000	110000	99000	39000
Ethylendiamin-tetraessigsäure	µg/l	I	7100	390	24000	1900	3400	15000	3800	4100
Diethylentriamin-pentaessigsäure	µg/l	I	41	21	85	23	26	54	26	19
Phenanthren	µg/l	I	0,366	0,494	0,554	0,381	0,358	0,404	0,365	0,694
Fluoranthren	µg/l	I	0,0758	0,101	0,102	0,0919	0,0835	0,0982	0,0706	0,19
PCB28	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB52	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB101	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB118	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB153	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB138	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB180	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Tributylphosphat	ng/l	I	976	3220	2110	3210	1800	1290	1790	1010
Tris(2-chloroethyl) -phosphate	ng/l	I	20700	19700	16100	18600	2020	1320	1430	1440
Tris(2-chlorisopropyl) -phosphate	ng/l	I	37400	65600	12100	44000	59100	16500	63600	32600
Tris(1,3-dichlorisopropyl) -phosphate	ng/l	I	172	278	< 50	218	164	484	191	< 50
Tris(2-butoxyethyl) - phosphate	ng/l	I	75100	30700	65400	87000	15800	13400	12600	64200
Triphenylphosphate	ng/l	I	102	115	234	278	277	123	272	323
Bis(2-ethylhexyl) -phthalat	µg/l	I	37,9	14,6	21,6	41,7	35,7	66,3	34,8	58,6
Benzotriazol	µg/L	I	1910	1360	423	552	589	704	175	251

PIMS-Nr.	Einheit	Lab	2019-03853	2019-03854	2019-03855	2019-03856	2019-03857	2019-04183	2019-04184	2019-04185
Bisphenol A	µg/L	I	40,6	38,8	34,8	51,6	117	28,1	76,0	93,2
Nonylphenol	µg/L	I	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Octylphenol	µg/L	I	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
o-Phenylphenol	µg/L	I	155	196	111	153	36,8	6,71	11,1	55,6
Chinolin	µg/l	I	0,40	< 0,05	0,44	0,42	0,82	0,22	0,43	0,18
Isochinolin	µg/l	I	0,36	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Indol	µg/l	I	1,2	< 0,05	< 0,05	1,7	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2-Methylchinolin	µg/l	I	0,92	< 0,05	0,12	0,15	0,14	0,35	8,7	0,29
6-Methylchinolin	µg/l	I	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,4-Dimethylchinolin	µg/l	I	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,6-Dimethylchinolin	µg/l	I	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	1,4	1,3
Acridin	µg/l	I	0,062	< 0,05	< 0,05	0,21	0,14	< 0,05	0,13	< 0,05
Carbazol	µg/l	I	0,080	< 0,05	0,086	0,11	0,1	0,9	0,11	< 0,05
Phenoxyethanol	µg/l	I	3,5	6,2	3,1	4,4	2,2	7,1	21	17
AOX (SPE)	µg/L	I	160	360	140	160	180	<100	<100	160
PFBA	µg/l	E	< 0,5	n.a.	< 0,5	< 0,25	< 0,25	0,92	0,56	< 0,50
PFPeA	µg/l	E	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,25	< 0,5	< 1,0	< 0,50	< 0,50
PFHxA	µg/l	E	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,25	< 0,5	< 1,0	< 0,50	< 0,50
PFHpA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,50	< 0,50	< 0,50
PFOA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,50	< 0,50	< 0,50

PIMS-Nr.		Einheit	Lab	2019-03853	2019-03854	2019-03855	2019-03856	2019-03857	2019-04183	2019-04184	2019-04185
	PFNA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,50	< 0,50	< 0,50
	PFDA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,5	< 0,25	< 0,25	< 0,50	< 1,0	< 0,50
	PFBS	µg/l	E	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,25	< 0,5	< 1,0	< 0,50	< 0,50
	PFHxS	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,50	< 0,50	< 0,50
	PFOS	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,5	< 0,5	< 0,25	< 0,50	< 1,0	< 1,0
	2,3,7,8-TetraCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,7,8-PentaCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,4,7,8-HexaCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,6,7,8-HexaCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,7,8,9-HexaCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,025	< 0,025	< 0,025
	OctaCDD	ng/l	E	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,050	< 0,050	< 0,050
	2,3,7,8-TetraCDF	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,7,8-PentaCDF	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	2,3,4,7,8-PentaCDF	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,4,7,8-HexaCDF	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,6,7,8-HexaCDF	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,7,8,9-HexaCDF	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	2,3,4,6,7,8-HexaCDF	ng/l	E	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,005	< 0,005	< 0,005
	1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	ng/l	E	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,015	< 0,015	< 0,015

PIMS-Nr.	Einheit	Lab	2019-03853	2019-03854	2019-03855	2019-03856	2019-03857	2019-04183	2019-04184	2019-04185
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	ng/l	E	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,006	< 0,015	< 0,015	< 0,015
OctaCDF	ng/l	E	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,020	< 0,050	< 0,050	< 0,050
I-TEQ (NATO/CCMS) exkl. BG	ng/l	E	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
I-TEQ (NATO/CCMS) inkl. BG	ng/l	E	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,015	0,015	0,015
WHO (2005)-PCDD/F TEQ exkl. BG	ng/l	E	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
WHO (2005)-PCDD/F TEQ inkl. BG	ng/l	E	0,006	0,006	0,006	0,006	0,006	0,016	0,016	0,016
TTC (Hemmung ab 20% signifikant)	%H	I	-53	-175	-121	-95	-36	38	22	-63
Nitrifikations-hemmtest	%H	L	15	14	16	2	14	14	7	22
Leuchtbakterien	GL	I	96	96	48	32	24	96	48	32

I (ISA), E (extern), L (Betriebslabor)

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

In Tabelle 16 sind die Ergebnisse des Spurenstoffscreenings zur Charakterisierung der typischen Abfallarten auf der CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe dargestellt. Bis auf die PCB wurden in allen Abfallarten die ausgewählten Spurenstoffgruppen nachgewiesen. Einzelne Spurenstoffe konnten nicht nachgewiesen werden oder waren nur in sehr geringen Konzentrationen nachzuweisen. Da die ausgewählten Abfallproben nur eine Stichprobe der möglichen Abfälle in den jeweiligen Abfallgruppen darstellen, müssen die Ergebnisse dieser Stichproben aus unbehandelten Abfällen im Arbeitspaket 3 durch die dort angewendete Probennahme von Abfall-Strömen in unterschiedlichen Behandlungsstufen noch verifiziert werden (Kapitel 4).

Tabelle 16: Ergebnisse des Spurenstoffmonitorings zur Charakterisierung der Input-Ströme in der CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-03858	2019-04186	2019-04187	2019-04188
Probenahme am				30.09.19	30.09.19	30.09.19
			Säure	Emulsion	Lauge	Entstickungsmittel
Konsistenz	-		flüssig	flüssig	flüssig	flüssig
Farbe	-		schwarz, leicht grünlich	grau mit schwarzen Stückchen	braun, leicht gelblich	lila mit weißen Stückchen
pH-Wert	-	L	-0,7	-	-	-
pH-Wert	-	I	-0,7	6,4	13,4	8,8
Leitfähigkeit	ms/cm	I	262	2,01	186	48,2
TOC	mg/L	I	1710	8820	5460	4660
CSB	mg/L	I	17300	24800	16200	15900
CSB/TOC			10	3	3	3
AFS	mg/L	I	990	460	41	1300
SAK 254	cm <sup>-1</sup>	I	61,31	57,86 [1/100]	48,385 [1/50]	25,955 [1/50]
Nitrilotriessigsäure	µg/l	I	160000	93	23	120000
Ethylendiamin-tetraessigsäure	µg/l	I	2700	1400	170	23000
Diethylentriamin-pentaessigsäure	µg/l	I	46	150	17	19
Phenanthren	µg/l	I	3,48	< 0,05	4,30	23,2
Fluoranthren	µg/l	I	< 0,05	< 0,05	4,48	9,84
PCB28	ng/l	I	n.a.	< 5	< 5	< 5
PCB52	ng/l	I	n.a.	< 5	< 5	< 5
PCB101	ng/l	I	n.a.	< 5	< 5	< 5

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-03858	2019-04186	2019-04187	2019-04188
PCB118	ng/l	I	n.a.	< 5	< 5	< 5
PCB153	ng/l	I	n.a.	< 5	< 5	< 5
PCB138	ng/l	I	n.a.	< 5	< 5	< 5
PCB180	ng/l	I	n.a.	< 5	< 5	< 5
Tributylphosphat	ng/l	I	254	n.a.	525	4150
Tris(2-chloroethyl) - phosphate	ng/l	I	500	n.a.	508	< 50
Tris(2-chlorisopropyl) - phosphate	ng/l	I	29900	n.a.	22400	172000
Tris(1,3-dichlorisopropyl) - phosphate	ng/l	I	< 50	n.a.	< 50	< 50
Tris(2-butoxyethyl) - phosphate	ng/l	I	2190	n.a.	< 50	8660
Triphenylphosphate	ng/l	I	160	n.a.	214	402
Bis(2-ethylhexyl) - phthalat	µg/l	I	485	11300	178	214
Benzotriazol	µg/L	I	565	29175	1460	445
Bisphenol A	µg/L	I	127	24,4	<1	3,00
Nonylphenol	µg/L	I	<1	<1	<1	<1
Octylphenol	µg/L	I	<1	<1	<1	<1
o-Phenylphenol	µg/L	I	33,6	<1	3,2	4120
Chinolin	µg/l	I	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,22
Isochinolin	µg/l	I	< 0,05	0,74	< 0,05	< 0,05
Indol	µg/l	I	< 0,05	6,2	7,1	< 0,05
2-Methylchinolin	µg/l	I	0,60	0,18	0,17	0,11
6-Methylchinolin	µg/l	I	< 0,05	0,34	< 0,05	< 0,05
2,4-Dimethylchinolin	µg/l	I	< 0,05	1,4	< 0,05	< 0,05
2,6-Dimethylchinolin	µg/l	I	0,40	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Acridin	µg/l	I	0,051	< 0,05	< 0,05	3,6
Carbazol	µg/l	I	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Phenoxyethanol	µg/l	I	< 0.5	< 0.5	0,76	130

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-03858	2019-04186	2019-04187	2019-04188
PFBA	µg/l	E	5,1	< 0,50	< 0,50	< 1,0
PFPeA	µg/l	E	< 1,0	< 0,50	< 1,0	< 1,0
PFHxA	µg/l	E	< 1,0	< 0,50	< 1,0	< 1,0
PFHpA	µg/l	E	< 1,0	< 0,50	< 0,50	< 0,50
PFOA	µg/l	E	< 1,0	< 0,50	< 0,50	< 0,50
PFNA	µg/l	E	< 1,0	< 0,50	< 0,50	< 0,50
PFDA	µg/l	E	< 1,0	< 1,0	n.a.	< 1,0
PFBS	µg/l	E	< 1,0	< 0,50	< 1,0	9,6
PFHxS	µg/l	E	< 1,0	< 0,50	< 0,50	0,62
PFOS	µg/l	E	< 2,0	< 0,50	< 0,50	8,4
2,3,7,8-TetraCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,050	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8-PentaCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,030	< 0,010	< 0,010
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,040	< 0,020	< 0,010
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,040	< 0,010	< 0,020
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	ng/l	E	< 0,002	< 0,030	< 0,010	< 0,010
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	ng/l	E	0,042	0,26	< 0,090	0,060
OctaCDD	ng/l	E	0,149	1,04	< 0,200	0,260
2,3,7,8-TetraCDF	ng/l	E	0,011	< 0,040	< 0,010	< 0,020
1,2,3,7,8-PentaCDF	ng/l	E	0,024	< 0,030	< 0,010	< 0,010
2,3,4,7,8-PentaCDF	ng/l	E	0,045	< 0,050	< 0,010	< 0,010
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	ng/l	E	0,079	< 0,010	< 0,020	< 0,020
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	ng/l	E	0,079	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	ng/l	E	0,007	< 0,020	< 0,010	< 0,010
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	ng/l	E	0,054	< 0,040	< 0,020	< 0,010
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	ng/l	E	0,361	0,14	< 0,030	0,190
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	ng/l	E	0,143	< 0,050	< 0,030	< 0,030

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-03858	2019-04186	2019-04187	2019-04188
OctaCDF	ng/l	E	0,608	< 0,150	< 0,140	0,220
I-TEQ (NATO/CCMS) exkl. BG	ng/l	E	0,053	0,005	0,000	0,003
I-TEQ (NATO/CCMS) inkl. BG	ng/l	E	0,062	0,120	0,033	0,035
WHO (2005)- PCDD/F TEQ exkl. BG	ng/l	E	0,043	0,004	0,000	0,003
WHO (2005)- PCDD/F TEQ inkl. BG	ng/l	E	0,054	0,124	0,036	0,037

I (ISA), E (extern), L (Betriebslabor)

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### 3.3.2 Spurenstoffmonitoring in den Abfallinputstoffen und im Ablauf der CP-Behandlungsanlage Frankfurt

Im Spurenstoffmonitoring wurden neben den Messungen von Spurenstoffen auch umfangreiche Ökotoxizitätstests und Messungen von Summenparametern sowohl bei den 24h-Mischproben (MP), aber auch bei den einzelnen Stichproben (SP) durchgeführt. Alle Proben der Inputströme wurden als Stichproben entnommen.

Bei den Spurenstoffen wurden PCB und PAK (Phenanthren und Fluoranthen) weder in den Input- noch in den Ablaufproben nachgewiesen. In den Ablaufproben wurden auch keine PCDD/F festgestellt. Aus allen anderen als relevant eingestuften Spurenstoffgruppen wurden einzelne Spurenstoffe, in teilweise sehr hohen Konzentrationen im Ablauf der CPB-Anlage nachgewiesen. Da die Mischproben volumenproportional hergestellt wurden, simulieren diese gut die Spurenstofffracht der gesamten CPB-Anlage innerhalb von 24h. Die Ergebnisse zeigen aber auch tagesweise hohe Variationen zwischen den Ablaufproben an den verschiedenen Wochentagen und auch zwischen den Mischproben und ausgewählten Stichproben.

Im Gegensatz zur CPB-Anlage in Iserlohn-Letmathe wurden teilweise Spuren von bestimmten PFAS nachgewiesen. Für die Abwasser-Matrix aus CP-Behandlungsanlagen wurde die AOF-Methode zu einer SPE-AOF-Methode weiterentwickelt (Kapitel 3.2). Erstmals wurden auch in dieser Behandlungsanlage SPE-AOF-, SPE-AOCl-, SPE-AOBr- und SPE-AOI-Untersuchungen durchgeführt. Sowohl für die Messung von PFAS mittels HPLC-MS/MS als auch von AOF wurden die Proben mittels SPE aufgereinigt, wobei die Anreicherungsphase nicht identisch ist. Die SPE-AOF-Untersuchungen zeigten allerdings trotz Aufreinigung noch Störungen vermutlich von anorganischen Halogenen auf. Es ist zu erkennen, dass der SPE-AOF ausreichend empfindlich ist, die summarische absorbierbare PFAS-Belastung von Proben aus CP-Anlagen nachzuweisen (Tabelle 17). In allen Proben lag der Summenparameter SPE-AOF in den Ablaufproben mit einem Faktor von mindestens 10 deutlich über der Summe der gefundenen Einzelsubstanzen. Die 10 ausgewählten PFAS-Einzelsubstanzen repräsentieren somit vermutlich nicht alle in der

Abwassermatrix potentiell vorhandenen PFAS. Im Arbeitspaket 3 wurden die Untersuchungen zu SPE-AOF und PFAS noch eingehender durchgeführt.

Die Untersuchungen der Biotests (Leuchtbakterien-, Algen- und Fischei-Tests) zeigten eine deutliche ökotoxikologische Wirkung des unverdünnten CP-Abwassers und auch mögliche enzysmschädigende Wirkung für die angeschlossene Kläranlage (TTC-Test). Allerdings wird das Abwasser im Zulauf der Kläranlage stark verdünnt, womit eine negative ökotoxikologische Wirkung auf das angeschlossene Gewässer stark vom Verdünnungsfaktor abhängen dürfte. Die Wirkung auf die Organismen ist neben den organisch-chemischen Inhaltsstoffen vermutlich auch auf die hohe anorganische Salzfracht (60-100 mS/cm) zurückzuführen. Der Betreiber muss dabei nach Anhang 27 vor Einleitung in das Kanalnetz eine 75%-ige geforderte DOC-Eliminationsleistung einhalten. Die Tests zur endokrinen Wirkung (YES-Test), der mutagenen Wirkung (Ames-Test) und der Daphnien-Immobilisationstest waren durch die Matrix gestört und nicht auswertbar.

Tabelle 17 und Tabelle 18 zeigen die chemischen und ökotoxikologischen Daten aus dem Spurenstoffmonitoring.

**Tabelle 17: Ergebnisse des Spurenstoffmonitorings zur Charakterisierung der Input-Ströme in der CP-Behandlungsanlage Frankfurt**

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05276	2019-05277	2019-05272	2019-05275	2019-05274	2019-05273	2019-05271
Probenahme am			02.12. 19	03.12. 19	04.12. 19	04.12. 19	05.12. 19	05.12. 19	06.12. 19
Bezeichnung			MP B9B1, B9C2, B9B4, B9A3	MP B9C5, B9A3, B9B7, B9D8, B9C9, B9A10	SP B9B11, B9D12, B9A13, B9C14, B9B15	MP B9B11	SP B9D16, B9A17, B9B18, B9C19, B9A20	MP B9A20	MP B9B21, B9C22, B9A Nr. 23, B9B Nr. 24
Konsistenz	-		flüssig	leicht viskos	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig
Farbe	-		gelb, leicht trüb	trüb, weiß	orange-gelb, klar	trüb, leicht weiß	gelb, leicht trüb	klar, Teilchen enthalten	klar, farblos
pH-Wert	-	L	8,6	9,1	8,7	8,8	8,8	8,9	9,2
pH-Wert	-	I	8,5	7,8	7,2	8,5	7,4	8,9	8,7
Leitfähigkeit	ms/cm	I	61	67,7	68,9	71,5	84	97,1	85
DOC	mg/l	H	147	309	198	142	135	102	190
TOC	mg/L	I	310	150	170	200	150	160	200
CSB	mg/L	I	1990	3060	5450	2890	1380	2050	1960
CSB/TOC			6	20	32	14	9	13	10
AFS	mg/L	I	130	97	63	55	93	16	26
SAK 254	cm-1	I	0,669	0,590	1,21	1,74	0,741	0,798	1,12
Nitritotriessigsäure	µg/l	I	60000	540	200	400	290	670	450
Ethylendiamin tetraessigsäure	µg/l	d	410	220	8,4	680	110	550	130

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05276	2019-05277	2019-05272	2019-05275	2019-05274	2019-05273	2019-05271
Diethyltriämin pentaessigsäure	µg/l	I	18	17	17	24	17	17	17
Phenanthren	µg/l	I	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
Fluoranthren	µg/l	I	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
PCB28	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB52	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB101	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB118	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB153	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB138	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB180	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Tributylphosphat	ng/l	I	179000	59300	240000	209000	122000	83500	22500
Tris(2-chloroethyl) – phosphate	ng/l	I	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Tris(2-chlorisopropyl) phosphate	ng/l	I	2160	2410	2620	1220	1170	1180	2490
Tris(1,3-dichlorisopropyl) phosphate	ng/l	I	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Tris(2-butoxyethyl) - phosphate	ng/l	I	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50	< 50
Triphenylphosphate	ng/l	I	< 50	< 50	308	< 50	< 50	< 50	< 50

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05276	2019-05277	2019-05272	2019-05275	2019-05274	2019-05273	2019-05271
Bis(2-ethylhexyl) - phthalat	µg/l	I	0,153	0,816	1,62	0,229	0,980	1,93	0,848
Benzotriazol	µg/L	I	747	165	375	868	488	384	148
Bisphenol A	µg/L	I	3,35	2,53	3,32	3,83	0,749	32,5	2,58
Nonylphenol	µg/L	I	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Octylphenol	µg/L	I	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
o-Phenylphenol	µg/L	I	10,6	4,64	25,7	3,43	7,74	6,62	12,4
Chinolin	µg/l	I	0,53	4,2	0,79	< 0,05	0,91	0,87	0,39
Isochinolin	µg/l	I	3,1	1,2	5,7	7,5	11	2,3	< 0,05
Indol	µg/l	I	13	< 0,05	28	< 0,05	34	10	2,6
2-Methylchinolin	µg/l	I	< 0,05	0,43	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,091
6-Methylchinolin	µg/l	I	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,11
2,4-Dimethylchinolin	µg/l	I	< 0,05	0,18	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05
2,6-Dimethylchinolin	µg/l	I	0,25	0,49	0,75	0,63	0,46	0,38	0,19
Acridin	µg/l	I	< 0,05	0,055	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	0,079
Carbazol	µg/l	I	< 0,05	0,18	0,21	0,16	0,15	0,17	0,11
Phenoxyethanol	µg/l	I	3,6	3,1	27	3,7	15	37	43
Aceton	µg/l		7,3	7	2,5	1,9	1,6	1,1	1,5
AOX (SPE)	µg/L	H/I	7680	5470	12000	13000	<500	2300	4820
AOCI (SPE)	µg/L	M	2383	2547	1281	1039	2097	2157	4476

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05276	2019-05277	2019-05272	2019-05275	2019-05274	2019-05273	2019-05271
AOBr (SPE)	µg/L	M	114	259	10	13	146	211	115
AOI (SPE)	µg/L	M	364	166	404	661	186	129	902
AOF (SPE)	µg/L	M	17	10	28	32	16	13	21
PFBA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
PFPeA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
PFHxA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	0,29	0,46	< 0,25	< 0,25	< 0,25
PFHpA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	0,35	< 0,25	< 0,25	< 0,25
PFOA	µg/l	E	0,41	< 0,25	0,99	1,4	< 0,25	0,29	< 0,25
PFNA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
PFDA	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
PFBS	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25	< 0,25
PFHxS	µg/l	E	0,44	< 0,25	1,1	1,7	0,36	0,43	< 0,25
PFOS	µg/l	E	< 0,25	< 0,25	1,3	1	0,47	0,58	< 0,25
2,3,7,8-TetraCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8-PentaCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	ng/l	E	< 0,050	< 0,010	< 0,010	< 0,050	< 0,010	< 0,050	< 0,010
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	ng/l	E	< 0,100	< 0,050	< 0,050	< 0,100	< 0,050	< 0,100	< 0,050
OctaCDD	ng/l	E	< 0,020	< 0,100	< 0,100	< 0,010	< 0,100	< 0,010	< 0,100

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05276	2019-05277	2019-05272	2019-05275	2019-05274	2019-05273	2019-05271
2,3,7,8-TetraCDF	ng/l	E	< 0,020	< 0,020	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8-PentaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
2,3,4,7,8-PentaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	ng/l	E	< 0,030	< 0,030	< 0,030	< 0,040	< 0,030	< 0,030	< 0,030
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	ng/l	E	< 0,030	< 0,030	< 0,030	< 0,030	< 0,030	< 0,030	< 0,030
OctaCDF	ng/l	E	< 0,100	< 0,100	< 0,100	< 0,150	< 0,100	< 0,100	< 0,100
I-TEQ (NATO/CCMS) exkl. BG	ng/l	E	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
I-TEQ (NATO/CCMS) inkl. BG	ng/l	E	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
WHO (2005)-PCDD/F TEQ exkl. BG	ng/l	E	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
WHO (2005)-PCDD/F TEQ inkl. BG	ng/l	E	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030	0,030
TTC (Hemmung ab 20% signifikant)	%H	I	32	52	83	25	86	72	77
Leuchtbakterien	GL	I	6	8	8	16	12	8	8
Daphnien <sup>#</sup>	GD	I	n.a.						

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05276	2019-05277	2019-05272	2019-05275	2019-05274	2019-05273	2019-05271
Algen	GA	I	6	12	12	8	24	24	16
Fischei	Gei	E	6	6	8	8	12	8	12

#Störungen durch die Matrix; I (ISA), E (extern), H (Betriebslabor); n.a.= nicht auswertbar; MP=Mischprobe; SP=Stichprobe

Quelle: ISA

**Tabelle 18: Ergebnisse des Spurenstoffmonitorings zur Charakterisierung der Input-Ströme in der CP-Behandlungsanlage Frankfurt**

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05278	2019-05279	2019-05280	2019-05281
Probenahme am			03.12.19	04.12.19	03.12.19	04.12.19
Bezeichnung			Dekantat	Säure	Lauge	Hafen-abwasser
Konsistenz	-		leicht viskos	leicht viskos	viskos	leicht viskos
Farbe	-		trüb, grau	rot, klar	grau-grün, trüb (viele Partikel)	schwarz, trüb
pH-Wert	-	H	-	0,1	10,6	9,8
pH-Wert	-	I	6,7	-0,9	10,9	8,4
Leitfähigkeit	ms/cm	I	2,5	n.a.	26,8	2,3
TOC	mg/L	I	410	14	2600	1270
CSB	mg/L	I	1040	7600	8170	4010
CSB/TOC			3	543	3	3
Phosphor	mg/L	L	-	-	-	-
AFS	mg/L	I	56	2,7	950	670
SAK 254	cm-1	I	0,708	11,5	6,36	1,58
Nitriлотriessigsäure	µg/l	I	1500	33	27	14
Ethylendiamin-tetraessigsäure	µg/l	I	92	7,5	2,9	100
Diethylentriamin-pentaessigsäure	µg/l	I	17	17	18	21
Phenanthren	µg/l	I	< 0,05	< 0,2	< 0,05	< 0,2
Fluoranthren	µg/l	I	< 0,05	< 0,2	< 0,05	< 0,2
PCB28	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB52	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB101	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB118	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB153	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB138	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5
PCB180	ng/l	I	< 5	< 5	< 5	< 5
Tributylphosphat	ng/l	I	3930	169000	2440	2510000

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05278	2019-05279	2019-05280	2019-05281
Tris(2-chloroethyl) - phosphate	ng/l	I	< 50	< 500	< 50	< 500
Tris(2-chlorisopropyl) - phosphate	ng/l	I	531	9970	859	8730
Tris(1,3-dichlorisopropyl) - phosphate	ng/l	I	< 50	< 500	< 50	< 500
Tris(2-butoxyethyl) - phosphate	ng/l	I	< 50	< 500	< 50	< 500
Triphenylphosphate	ng/l	I	< 50	< 500	< 50	5570
Bis(2-ethylhexyl) -phthalat	µg/l	I	1,72	0,952	10,9	13,2
Benzotriazol	µg/L	I	155	156	35,1	2960
Bisphenol A	µg/L	I	6,46	<1	6,64	6,06
Nonylphenol	µg/L	I	<1	<1	<1	<1
Octylphenol	µg/L	I	<1	<1	<1	<1
o-Phenylphenol	µg/L	I	2,44	n.a.	n.a.	5,58
Chinolin	µg/l	I	0,5	< 0,5	< 0,05	< 0,5
Isochinolin	µg/l	I	0,51	18	0,058	< 0,5
Indol	µg/l	I	1,5	< 0,5	< 0,05	170
2-Methylchinolin	µg/l	I	1,3	< 0,5	< 0,05	2,2
6-Methylchinolin	µg/l	I	0,29	< 0,5	< 0,05	0,84
2,4-Dimethylchinolin	µg/l	I	0,34	1,7	< 0,05	< 0,5
2,6-Dimethylchinolin	µg/l	I	0,30	< 0,5	0,13	< 0,5
Acridin	µg/l	I	< 0,05	< 0,5	< 0,05	1,7
Carbazol	µg/l	I	0,20	< 0,5	0,37	< 0,5
Phenoxyethanol	µg/l	I	5,6	< 10	8,5	20
Aceton	µg/l	H	2,4	-	-	-
AOX (SPE)	µg/L	H/I	20900	15400	31100	20700
AOCl (SPE)	µg/L	E	491	7623	40	36
AOBr (SPE)	µg/L	E	12	71	2	3
AOI (SPE)	µg/L	E	n.a.	49746	n.a.	n.a.
AOF (SPE)	µg/L	E	308	32	6	13
PFBA	µg/l	E	< 0,25	n.a.	n.a.	n.a.
PFPeA	µg/l	E	< 0,25	< 1,0	< 1,0	< 1,0

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05278	2019-05279	2019-05280	2019-05281
PFHxA	µg/l	E	0,47	< 1,0	< 1,0	< 1,0
PFHpA	µg/l	E	< 0,25	< 1,0	< 1,0	< 1,0
PFOA (Perfluorooctansäure)	µg/l	E	13	< 1,0	< 1,0	< 1,0
PFNA (Perfluornonansäure)	µg/l	E	< 0,25	< 1,0	< 1,0	< 1,0
PFDA (Perfluordekansäure)	µg/l	E	< 0,25	< 1,0	< 1,0	< 1,0
PFBS	µg/l	E	< 0,25	< 1,0	< 1,0	< 1,0
PFHxS	µg/l	E	18	< 1,0	< 1,0	5,8
PFOS (Perfluorooctansulfonat)	µg/l	E	60	< 1,0	2,8	1,4
2,3,7,8-TetraCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8-PentaCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010
1,2,3,4,7,8-HexaCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,020	< 0,010	< 0,010
1,2,3,6,7,8-HexaCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,020	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8,9-HexaCDD	ng/l	E	< 0,010	< 0,010	< 0,050	< 0,010
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDD	ng/l	E	< 0,050	0,350	< 0,110	< 0,050
OctaCDD	ng/l	E	< 0,100	2,410	< 0,010	< 0,200
2,3,7,8-TetraCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,020	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8-PentaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,020	< 0,010	< 0,010
2,3,4,7,8-PentaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,020	< 0,010	< 0,010
1,2,3,4,7,8-HexaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,020	< 0,010	< 0,010
1,2,3,6,7,8-HexaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,020	< 0,010	< 0,010
1,2,3,7,8,9-HexaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,020	< 0,010	< 0,010
2,3,4,6,7,8-HexaCDF	ng/l	E	< 0,010	< 0,040	< 0,010	< 0,010
1,2,3,4,6,7,8-HeptaCDF	ng/l	E	< 0,030	0,240	< 0,030	< 0,150
1,2,3,4,7,8,9-HeptaCDF	ng/l	E	< 0,030	0,09	< 0,030	< 0,030
OctaCDF	ng/l	E	< 0,100	0,930	< 0,100	< 0,700
I-TEQ (NATO/CCMS) exkl. BG	ng/l	E	0,000	0,010	0,000	0,000
I-TEQ (NATO/CCMS) inkl. BG	ng/l	E	0,030	0,050	0,030	0,030
WHO (2005)-PCDD/F TEQ exkl. BG	ng/l	E	0,000	0,010	0,000	0,000

Proben-Nr.	Einheit	Lab	2019-05278	2019-05279	2019-05280	2019-05281
WHO (2005)-PCDD/F TEQ inkl. BG	ng/l	E	0,030	0,050	0,030	0,030

I (ISA), E (extern), H (Betriebslabor); n.a.= nicht auswertbar

Quelle: ISA

Aufgrund der Lagerung der Proben, einer unterschiedlichen Probenvorbehandlung mit möglichen Veränderungen des Probematerials und unterschiedlicher Analyseverfahren bei dem SPE-AOX-Verfahren in den ISA- und dem Betriebslabor der CP-Behandlungsanlage Frankfurt ergeben sich für die sehr stark salzbelasteten Abwässer deutlich abweichende Werte AOX-Werte.

Die SPE-AOX Werte in den theoretischen 24h Mischproben und Stichproben weisen höhere AOX-Gehalte auf, wobei eine deutliche AOX-Reduktion in der CP-Behandlung aus den Input- und Abflussproben ableitbar ist. Wird nach der Behandlung bei der Untersuchung des Abwassers vor Ableitung ein erhöhter AOX-Wert festgestellt, wird das Abwasser weitergehend über die Aktivkohlestufe behandelt, bis der Grenzwert des Anhangs 27 von 1 mg/l eingehalten wird, Im Rahmen der amtlichen Überwachung werden die CPB-Anlagen auch extern regelmäßig auf den AOX mittels SPE-AOX untersucht, und halten den Überwachungswert von 1 mg/l ein.

### 3.3.3 Spurenstoffmonitoring bei der Untersuchung der Behandlungskonzepte

Im ersten Monitoring der beiden CP-Behandlungsanlagen (siehe Kapitel 3.3.1 und 3.3.2) wurden ausgewählte Inputströme und behandelte Abwässer untersucht. Im Arbeitspaket 3 wurden dann weitere Teilströme und Abwässer nach den einzelnen Behandlungsschritten mit den relevanten Leitsubstanzen entlang des Behandlungsprozesses betrachtet.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse der Untersuchungsergebnisse zeigt sich, dass stark partikulär gebundene Spurenstoffe wie die PCDD/F, PCB und PAK offensichtlich wirksam eliminiert werden und die organisatorischen Maßnahmen zur Minderung der PFAS Einträge in die CPB-Anlage z. B. in Iserlohn-Letmathe greifen.

Des Weiteren wurde die erweiterte Biotestbatterie und die SPE-AOF/EOF/PFAS-Bestimmung in den CP-Behandlungsanlage Iserlohn-Letmathe und Frankfurt angewendet, um eine höhere Repräsentativität der Untersuchungen zu gewährleisten. (Tabelle 19 und Tabelle 20)

In 6 Versuchen im März, April und Mai 2021 mit unterschiedlichen Behandlungskonzepten (siehe Kapitel 4) wurden die an das Abwasser/die Abfallmatrix angepassten Methoden zur Spurenstoffanalytik ebenfalls angewandt. Komplexbildner, PAK, Phosphor-Flammschutzmittel, N-Heterocyclen, Alkylphenole, Korrosionsschutzmittel und Alkohole wurden in den ähnlichen Bandbreiten der Ergebnisse wie im ersten Monitoring 2019 detektiert (Anhang I). Von den 11 gemessenen PFAS wurden nur in wenigen Fällen Einzelstoffe in sehr niedrigen Konzentrationen nachgewiesen. PFOA und PFOS wurden in keiner der untersuchten Proben detektiert. Die Konzentrationen von gefundenen PFAS lagen deutlich unter den Konzentrationen der anderen Spurenstoffgruppen. Die Summenparameter CSB und TOC lagen im Bereich von mehreren hundert Milligramm je Liter und zeigen eine deutliche organische Belastung der Ablaufproben an. Durch die angewandten Behandlungsmethoden konnte in den Abläufen der verschiedenen Behandlungsströme nur eine geringe AFS-Belastung, in den meisten Fällen von weniger als 50 mg/L gemessen werden. Die Spannweite der gefundenen Feststoffbelastungen von den Inputströmen mit Gehalten größer als 1.000 mg/L und den Ablaufproben nach der Behandlung

mit 2-50 mg/L zeigt eine sehr gute Feststoffabtrennung und eine gute Abtrennung der partikelgebundenen Spurenstoffe z. B. PAK.

Eine weitergehende Betrachtung der Versuchsergebnisse und eine Bilanzierung der Massenströme erfolgen in Kapitel 4.3.

### 3.3.4 Summarische Bestimmung der organisch gebundenen Fluorverbindungen

In den zusätzlichen Untersuchungen zu den adsorbierbaren organisch gebundener Fluorverbindungen (SPE-AOF) und extrahierbaren organisch gebundener Fluorverbindungen (SPE-EOF) in AP3 wurde gezeigt, dass die 11 ausgewählten PFAS (PFBA, H4PFOS, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFOA, PFNA, PFDA, PFBS, PFHxS, PFOS) nicht die gesamte PFAS-Belastung in den Proben widerspiegeln. Der SPE-AOF/EOF konnte in allen Proben mit positiven HPLC-MS-PFAS Befunden, unabhängig von der Matrix (wässriger Abfall oder Abwasser), nachgewiesen werden (Tabelle 19). Die Gehalte in den beiden unabhängigen Methoden des SPE-AOF und SPE-EOF lagen aber deutlich höher als die Summe der Einzel-PFAS. Im Vergleich zu AP2 wurde die Probenvorbereitung für den SPE-AOF weiterentwickelt, um die störende Salzmatrix zu entfernen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 19 aufgeführt.

Es zeigt sich dabei auch, dass der SPE-AOF mittels Combustion-IC deutlich störanfälliger auf die DOC-Matrix reagiert hat, was sich in großen Messunsicherheiten bei der Bestimmung widerspiegelt (Gehrenkemper et al. 2020). Durch den hohen DOC ist die Adsorption an der Aktivkohle gestört und die Probe muss stark verdünnt werden. Dabei kann die Bestimmungsgrenze erreicht werden, an der die Messunsicherheit deutlich höher liegt als im mittleren Messbereich der C-IC-Analytik. Für die C-IC wäre hier der SPE-EOF gemessen mit der C-IC eine Lösung des Matrixproblems anlag dem SPE-EOF mit HR-CS-GFMAS Detektion. Der EOF hat eine Bestimmungsgrenze (BG) von 2,7 µg/L und der AOF von 2 µg/L. In verschiedenen Studien konnte die Anwendbarkeit des EOF und AOF in Wässern nachgewiesen werden (Gehrenkemper et al. 2020; Wagner et al. 2013, von Abercron et al. 2019). Da bisher nur für industrielle Abwasser Untersuchungen zum AOF vorliegen (von Abercron et al. 2019) und nicht für wässrige gefährliche Abfälle, könnte die Richtigkeit und Streuung der AOF/EOF Bestimmung durch Aufstockversuche der Matrixproben bestimmt werden, in denen bekannte Gehalte an PFOS oder PFOA zu den untersuchten Abfällen gegeben werden, und der Gehalt vorher/nachher gemessen wird.

**Tabelle 19: Vergleich der Summe PFAS mit AOF und EOF**

Pr. Nummer	Probenart	SPE-EOF HR-CS-GFMAS [µg/L]	SPE-AOF CIC [µg/l]	PFAS HPLC-MS [µg/l]
2021-00853	Input	23	3,0	<BG
2021-00854	Input	16	<BG	<BG
2021-00855	Input	8,8	<BG	<BG
2021-00856	Zulauf	15	<BG	<BG
2021-00857	Ablauf	16	2,0	<BG
2021-00858	Ablauf	21	1,0	<BG
2021-00895	Ablauf	10	6,0	<BG

Pr. Nummer	Probenart	SPE-EOF	SPE-AOF	PFAS
2021-00897	Ablauf	9,2	10	<BG
2021-00898	Ablauf	13	<BG	<BG
2021-00899	Input	13	7,0	3,7
2021-00900	Input	20	-	<BG
2021-00901	Zulauf	33	120	<BG
2021-00902	Input	16	-	<BG
2021-00903	Input	26	-	1,2
2021-00904	Input	14	26	1,5
2021-00905	Zulauf	9,7	8,0	<BG
2021-00906	Zulauf	20	-	<BG
2021-01053	Input	8,6	4,0	<BG
2021-01054	Zulauf	11	8,0	<BG
2021-01055	Ablauf	11,44	4,0	1,4
2021-01056	Ablauf	9,01	4,0	<BG

Quelle: ISA

### 3.3.5 Ökotoxikologische Untersuchungen in den Ablaufproben der CP-Behandlungsanlagen

Neben den chemischen und biologischen Wirkparametern wie CSB, BSB5 werden ökotoxikologische Testverfahren (Biotests) zur Bewertung der Wirkung von Abwasserinhaltsstoffen auf das Ökosystem und die Biozönose in Kläranlagen angewandt. Dabei kommt wegen der Komplexität des limnologischen Ökosystems nicht nur ein einzelnes ökotoxikologisches Testverfahren zum Einsatz, sondern in den meisten Fällen eine Biotest-Batterie, die die gesamten Trophieebenen von den Leuchtbakterien bis zu den Fischen und Pflanzen abdeckt. Hierbei wird zwischen der akuten Toxizität und chronischen Toxizität unterschieden. Eine Übersicht über die angewandten Testverfahren ist in der Tabelle 11 dargestellt. Auch die Abwasserverordnung (AbwV) sieht bei der Direkteinleitung eines Abwasserstroms aus CP-Anlagen (Anhang 27) oder anderen Branchen verschiedene Biotestverfahren vor. Im Anhang 27 der AbwV sind der Leuchtbakterientest ( $G_L$  max. 4), der Daphnientest ( $G_D$  max. 4) und der Fischeitest ( $G_{EI}$  max. 2) als Überwachungsparameter für die Direkteinleitung vorgegeben. Für die Untersuchung der Auswirkungen von Abwässern auf den Belebtschlamm in einer biologischen Abwasserbehandlung kann der TTC-Test oder Nitrifikationshemmtest angewandt werden.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden verschiedene Ablaufproben an verschiedenen Behandlungstagen in den beiden CP-Behandlungsanlagen aus der Behandlung unterschiedlicher Input- Abfallströme und nach unterschiedlicher Behandlung beprobt. Teilweise wurden auch Teilströme vor und nach einer weitergehenden Abwasserreinigung (z.B. vor/nach Aktivkohle) untersucht. Die Ergebnisse sind in Tabelle 20 dargestellt.

**Tabelle 20: Ökotoxikologische Untersuchungen von Abwässern aus CP-Behandlungsanlagen**

Probe -nr. (ISA)	Probenbezeichnung	Eingangsdatum	TTC	NHT	Leucht-bakterien	Daphnien	Algen	Fischei	Yes-Test	Umu (mit/ohne S9)	Ames (T98/T100)	pH-Wert	Leit-fähigkeit
Einheit			%H	%H	GL	GD	GA	Gei	ng EEQ/L	GU	G	-	ms/cm
Grenzwert Anh. 27 AbwV			4	4		2							
2019-03853	Abwasser	11.09.19	-53	15	96	-	-	-	-	-	-	8,7	25,8
2019-03854	Abwasser	12.09.19	-175	14	96	-	-	-	-	-	-	9,0	25,9
2019-03855	Abwasser	13.09.19	-121	16	48	-	-	-	-	-	-	8,7	25,7
2019-03856	Abwasser	15.09.19	-95	2	32	-	-	-	-	-	-	9,0	26,4
2019-03857	Abwasser	16.09.19	-36	14	24	-	-	-	-	-	-	8,6	44,3
2019-04183	Abwasser	17.09.19	38	14	96	-	-	-	-	-	-	8,3	46,0
2019-04184	Abwasser	18.09.19	22	7	48	-	-	-	-	-	-	6,9	16,7
2019-04185	Abwasser	19.09.2019	-63	22	32	-	-	-	-	-	-	8,2	30,0
2019-05276	Abwasser	02.12.2019	32	-	6	64	6	6	-	-	-	8,5	61

Probe -nr. (ISA)	Probenbezeichnung	Eingangsdatum	TTC	NHT	Leucht-bakterien	Daphnien	Algen	Fischei	Yes-Test	Umu (mit/ohne S9)	Ames (T98/T100)	pH-Wert	Leit-fähigkeit
2019-05277	Abwasser	03.12.2019	52	-	8	32	12	6	-	-	-	7,8	67,7
2019-05272	Abwasser	04.12.2019	83	-	8	192	12	8	-	-	-	7,2	68,9
2019-05275	Abwasser	04.12.2019	25	-	16	48	8	8	-	-	-	8,5	71,5
2019-05274	Abwasser	05.12.2019	86	-	12	96	24	12	-	-	-	7,4	84
2019-05273	Abwasser	05.12.2019	72	-	8	64	24	8	-	-	-	8,9	97,1
2019-05271	Abwasser	06.12.2019	77	-	8	64	16	12	-	-	-	8,7	85
2021-00857	Abwasser vor Aktivkohle	17.03.2021	-	-	4	32	> 64	24	n.a.	12/12	n.a.	8,7	-
2021-00858	Abwasser nach Aktivkohle	17.03.2021	-	-	3	> 24	> 64	12	n.a.	6/6	n.a.	6,8	-
2021-00895	Abwasser	25.03.2021	-	2	64	12	> 96	32	n.a.	1,5/3	1,25/1,25	9,1	48,8
2021-00897	Abwasser	25.03.2021	-	<1	48	32	> 96	12	15,62	3/3	1,25/1,25	9,5	27,2
2021-00898	Destillat	25.03.2021	-	2	256	48	96	16	19,02	3/1,5	1,25/1,25	-	0,34

Probe -nr. (ISA)	Probenbezeichnung	Eingangsdatum	TTC	NHT	Leucht-bakterien	Daphnien	Algen	Fischei	Yes-Test	Umu (mit/ohne S9)	Ames (T98/T100)	pH-Wert	Leit-fähigkeit
2021-01055	Abwasser vor Aktivkohle	19.04.2021	-	-	128	32	768	16	<BG	6/6	n.a./4	9,3	-
2021-01056	Abwasser nach Aktivkohle	19.04.2021	-	-	16	24	384	12	<BG	6/3	n.a./4	6,8	-
2021-01266	Abwasser vor Aktivkohle	27.05.2021	-	-	n.a.	24	384	-	-	-	-	7,8	-
2021-01267	Abwasser nach Aktivkohle	27.05.2021	-	-	< 4	48	512	-	-	-	-	7,7	-

Quelle: ISA

In den durchgeführten Untersuchungen konnte deutlich gezeigt werden, dass keine der Abwasserproben, auch nicht nach weitergehender Abwasserbehandlung jeweils alle Grenzwerte für  $G_L$ ,  $G_D$  und  $G_{EI}$  nach AbwV, Anh. 27 zur Direkteinleitung einhält, wenn auch in drei Proben der Leuchtbakterientoxizitätstest den Grenzwert einhält. Somit wäre prinzipiell von einer Direkteinleitung abzusehen, was bei den beiden beteiligten CP-Behandlungsanlagen der Fall ist. Neben den Spurenstoffen kann auch die große Menge an sauerstoffzehrenden organischen Substanzen (gemessen als CSB in g/l), die hohe Salzfracht, messbar als Leitfähigkeiten in mS/cm, und Metallgehalte (in mg/l) zur ökotoxischen Wirkung der Abwässer beitragen. Gegen den Einfluss der Salzfracht auf die Toxizität für ausgewählte Organismen spricht die Leuchtbakterientoxizität, die ebenfalls sehr hoch bei vielen untersuchten Proben ist, obwohl die Testorganismen als marine Organismen in einem stark salzhaltigen Milieu getestet werden. Die Hormonaktivität (Yes-test) und der Ames-Test (Gentoxizität) sind für die Abwassermatrix nicht anwendbar, da es hier zu Störungen bei den Originalproben kommt. Hier wäre eine weitergehende Probenvorbereitung notwendig. Beim Fischeitest und Daphnienimmobilisationstest wurde in keiner der Proben der Grenzwert nach Anhang 27 AbwV eingehalten. Besonders empfindlich reagierte der Algentoxizitätstest auf die Abwasserproben aus den untersuchten CPB-Anlagen. Hier wurde u.a. in einer Probe erst in der 768-fachen Verdünnung keine Wirkungen mehr auf das Testsystem nachgewiesen werden. Alle Testverfahren decken gut alle Trophieebenen und Wirkmechanismen ab und sind auch für die komplexe Abwassermatrix aus CPB-Anlagen anwendbar. Eine Korrelation zwischen den Spurenstoffkonzentrationen und -Zusammensetzungen sowie der Abwassertoxizität ist wegen der Mischung vieler verschiedener anorganisch und organischer Stoffe in den Abwässern nicht möglich.

### **3.3.6 Non-Target-GC-MS-Screening**

Im Rahmen des Projektes wurden zunächst mögliche Spurenstoffe, die in CPB-Anlagen vorkommen könnten, aus der Literatur, Umfragen und Datenbanken identifiziert. Diese mehr als 100 Stoffe wurden dann gemäß der verschiedenen Entscheidungswege im AP1 in 3 Stufen auf eine Auswahl an 62 relevanten Spurenstoffen (Tabelle 12) für das Monitoring und 36 relevante Spurenstoffe für die Praxisanlagenversuche als Leitsubstanzen reduziert. Hierbei kamen verschiedene Probenvorbereitungs- und Analysenverfahren für die GC- bzw. LC-MS zum Einsatz, da es sich bei der Stoffauswahl um verschiedene Stoffgruppen und Substanzklassen handelte, um das gesamte Stoffspektrum der Spurenstoffe in gefährlichen Abfällen und CP-Abwässern abzudecken. Zusätzlich wurde auch von allen Proben ein Non-Target-GC-MS Screening durchgeführt, um ggf. weitere relevante Stoffe zu identifizieren, die entweder in der Literatursauswahl nicht identifiziert waren oder im Prozess der Relevanzprüfung gestrichen wurden. Die Methodik zum Screening ist im Kapitel 3.2 beschrieben. Alle Ergebnisse aus den beiden Versuchsphasen (2019 und 2021) sind ausführlich im Anhang J dargestellt. Es konnte gezeigt werden, dass neben den ausgewählten 62 relevanten Spurenstoffen (Tabelle 12) bzw. den ca. 100 Spurenstoffen und Spurenstoffgruppen (Anhang C) der ersten Entscheidungsphase zahlreiche weitere Spurenstoffe identifiziert und in relevanten Konzentrationen ( $\mu\text{g/L}$  –  $\text{mg/L}$ ) halbquantitativ nachgewiesen werden konnten. Die Anzahl variierte dabei bei 10-15 zusätzlichen Stoffen je Probe. Hierbei ist zu beachten, dass beim Screening auf die VOC und SVOC nur die 10 intensivsten Signale ausgewertet wurden, aber wesentlich mehr mögliche Spurenstoffe nicht betrachtet wurden. Des Weiteren wurde durch die Wahl der Probenvorbereitung nur die unpolaren und flüchtigen Inhaltsstoffe erfasst. 5-10% der gefundenen Analyten wurden bereits vorher als mögliche Spurenstoffe identifiziert (z.B. Toluol,

Ethylbenzol, Naphthalin, Benzaldehyd, Xylol(e), Tris(2-butoxyethyl) – phosphate, Triphenylphosphat und o-Phenylphenol wurden sowohl im Non-Target-GC-MS-Screening als auch in der Target-Liste der relevanten Spurenstoffe gefunden. Alle identifizierten Substanzen wurden über den Retentionszeitindex und die Massenspektren abgesichert und wiesen eine hohe Übereinstimmung von A++ bzw. A+ (mind. 80% Übereinstimmung mit den Massenspektren der Stoffdatenbanken) nach DIN 3599:2021-01 auf.

Das GC-MS-Screening stellt eine wertvolle Ergänzung zur Herkunftsbestimmung von Spurenstoffen zu Abfallströmen und ggf. Abfallerzeugern dar und ergänzt die herkömmlichen quantitativen Target-Analysenmethoden. Durch die Methodik werden nicht die relevantesten Spurenstoffe bzgl. Behandelbarkeit, Ableitmöglichkeit und Toxizität erfasst, sondern nur die im Chromatogramm auf Grund ihrer physiko-chemischen Eigenschaften auffälligsten Substanzen. In der NIST Datenbank sind bis zu 250.000 Substanzen zum Abgleich enthalten. Für die polaren Stoffe sind Datenbanken in diesem Umfang noch nicht vorhanden und die Aussagefähigkeit eines Non-Target-LC-MS Screening in der komplexen CPB-Abwassermatrix sehr begrenzt.

## 4 Untersuchungen in Praxisanlagen

Für die Ermittlung des Spurenstoffeliminierungspotentials der verschiedenen Behandlungstechniken oder organisatorischen Maßnahmen im Arbeitspaket 3 wurde der Untersuchungsumfang des Monitorings auf 36 relevante Leitsubstanzen reduziert. Hierfür wurden die Daten des ersten Monitorings ausgewertet und Leitsubstanzen ausgewählt. Dabei wurden die im AP 2 nicht detektierten Substanzklassen (PCB und PCDD/F) und ausgewählte Einzelsubstanzen (Nonylphenol, Octylphenol) nicht weiter betrachtet.

Das Spurenstoffscreening im AP2 ergab, dass sich relevante Spurenstoffe im Abfallinput der beiden betrachteten CP-Behandlungsanlagen nachweisen ließen. Auch im Abwasser der Anlagen konnten diese Spurenstoffe, teilweise in geringeren Konzentrationen gemessen werden.

Im AP 3 wurden die folgenden Konzepte zur Behandlung von den im Arbeitspaket 2 nachgewiesenen Spurenstoffen erarbeitet.

Basierend auf ausgewählten Abfallströmen wurden diese Behandlungskonzepte in den zwei CP-Behandlungsanlagen stoffstromspezifisch angewendet. Auswahlkriterien waren dabei wie bei den Stichproben im AP 2, dass die Abfallströme typisch und mengenmässig bedeutsam für die jeweilige Anlage sind, und der Nachweis im AP 2, dass Spurenstoffe in diesen Abfällen enthalten sind. Im Zuge der Versuchsdurchführung wurden nach bestimmten Verfahrensschritten der Behandlung Proben genommen und analysiert. Im Ergebnis wurden Stoffflüsse der Spurenstoffe bei der Behandlung ermittelt. Damit konnten auch Eliminationsraten bestimmt werden.

### 4.1 Untersuchung von Behandlungskonzepten

Basierend auf den Untersuchungen der vorausgegangenen Arbeitspakete wurden für die ausgewählten Abfälle drei stoffstromspezifische Behandlungskonzepte untersucht und im Hinblick auf die Elimination von Spurenstoffen evaluiert. Diese Konzepte kombinieren verfahrenstechnische Behandlungsstufen, die in den beiden untersuchten CP-Behandlungsanlagen angewendet werden. Nach Abstimmung mit dem Umweltbundesamt und dem Fachbeirat wurden folgende Behandlungskonzepte zur Evaluierung ausgewählt:

1. Emulsionsspaltung mit Fällung, Flockung, Neutralisation und Filtration - Reduktion durch Abscheidung von partikulär gebundenen Spurenstoffen
2. Vakuumverdampfung - Reduktion durch Verdampfung von flüchtigen Spurenstoffen
3. Adsorptive Nachbehandlung organisch belasteter Abwässer mit Aktivkohle - Adsorption von Spurenstoffen an Aktivkohle

Die drei Behandlungskonzepte wurden wie in der Aufzählung beschrieben aufgeteilt in den beiden CP-Behandlungsanlagen für ausgewählte Abfallstoffe durchgeführt. Zur Untersuchung der Wirksamkeit der Behandlungskonzepte im Hinblick auf die Elimination von Spurenstoffen wurden die Versuche und Analysen wie im Weiteren beschrieben durchgeführt.

Bei der Probenahme wurden weitestgehend homogene bzw. vergleichmässigte Proben gewonnen. Dies ist zum einen dadurch möglich, dass in den überwiegend gerührten Lager- und Behandlungsbehältern eine permanente Durchmischung der Medien erfolgt, so dass Stichproben repräsentativ sind. Zusätzlich wurden bei der Befüllung der Behälter bzw. beim Umpumpen Stichproben in Zeitabständen genommen, um auch einen Querschnitt über einen gewissen Zeitraum zu erhalten.

Parallel wurden die Volumina von Abfällen und Reagenzien ermittelt. Diese konnten teilweise nur geschätzt werden, da in den CP-Behandlungsanlagen bestimmte Volumina nur anhand von Füllständen mit einfachen Mitteln bestimmt werden, was für den Betrieb der Anlagen ausreichend ist.

## **4.2 Evaluierung durch Probennahme und Analyse**

### **4.2.1 Emulsionsspaltung mit Neutralisation, Fällung und Filtration**

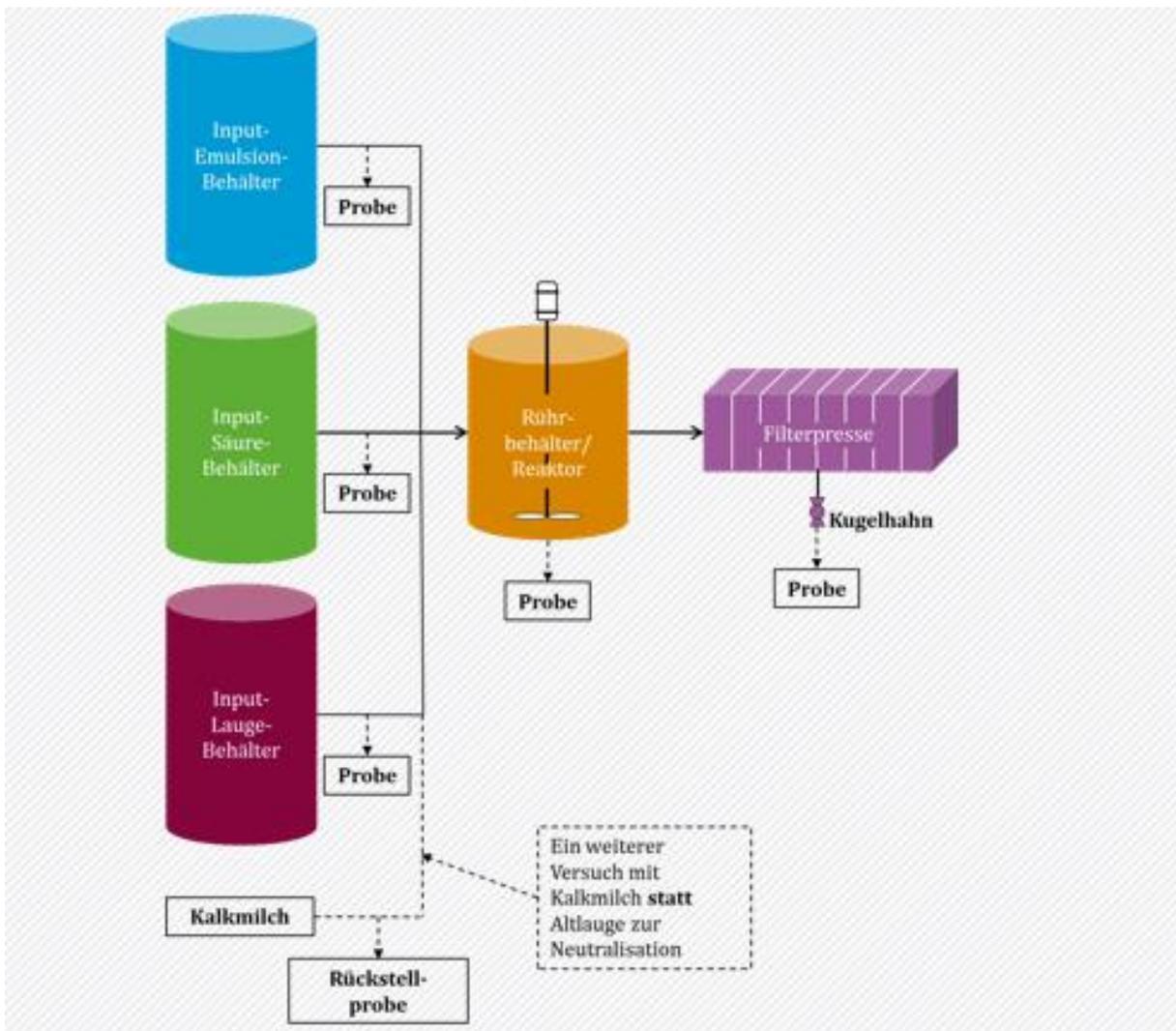
In der CP-Behandlungsanlage Letmathe werden die Prozessschritte Spaltung, Neutralisation, Fällung und Filtration angewendet, um die nach der Emulsionsspaltung gelösten Stoffe in Feststoffe umzuwandeln und diese durch die anschließende Filtration abzuscheiden (Siehe Kapitel 2.4.1). Bei diesem Behandlungskonzept werden partikulär gebundene Spurenstoffe zunächst aus der Emulsion durch Spaltung abgetrennt. Die Spaltung der Emulsionen erfolgt mittels Abfallsäure. Nach der Reaktion wird Kalkmilch bzw. Kalkmilch in Kombination mit Abfalllauge zur Neutralisation zugegeben. Dabei werden eine flüssige und eine feste Phase gebildet. Die an Partikel gebundenen Spurenstoffe reichern sich in der festen Phase an. Das Phasengemisch wird analysiert. Sobald eine Freigabe in Hinblick auf die im Ablauf nach dem Anhang 27 Abwasserverordnung (AbwV) zulässigen Metallgehalte vom Labor erfolgt, wird das Zweiphasengemisch mittels Kammerfilterpresse getrennt.

Der verbleibende feste Filterkuchen wird zur Verbrennung in zugelassene Anlagen abgegeben. Das filtrierte Wasser wird in den Vorlagebehälter vor Einleitung in den Kanal geleitet.

Die partikulär gebundenen Spurenstoffe konzentrieren sich im festen Filterkuchen. Die Eliminationsleistung von Spurenstoffen ist dabei abhängig von der Bindung der jeweiligen Substanzen an die Bestandteile des Filterkuchens, eine Matrix aus der während der Fällung gebildeten Flocke und der Kalkmilch.

Das Behandlungskonzept ist in der folgenden Abbildung 14 schematisch dargestellt:

**Abbildung 14: Behandlungskonzept Emulsionsspaltung CP-Behandlungsanlage Lobbe-Letmathe**



Quelle: Eigene Darstellung, Lobbe

Zur Evaluierung des Behandlungskonzeptes im Hinblick auf die Eliminationsleistung von relevanten Spurenstoffen wurden, wie in der Abbildung dargestellt, Proben in zwei Versuchen an den dargestellten Stellen entnommen. Im ersten Versuch (siehe Anhang I) fand die Neutralisierung nur durch Zugabe von Kalkmilch statt. Beim zweiten Versuch (siehe Anhang I) hingegen wurde zusätzlich Abfalllaug hinzugegeben.

Die Volumenströme, die in den beiden Versuchen protokolliert worden, sind in der Tabelle 21 und der Tabelle 22 dargestellt.

**Tabelle 21: Versuch 1 – Emulsionsbehandlung mit Abfallsäure**

Ausgangsstoffe	Vorlage-Volumen [m <sup>3</sup> ]	Reaktor-Volumen [m <sup>3</sup> ]
Emulsion	77	25
Abfallsäure (Schwefel- und Salzsäure)	47	8,5
Kalkmilch		3,5

Ausgangsstoffe	Vorlage-Volumen [m <sup>3</sup> ]	Reaktor-Volumen [m <sup>3</sup> ]
	Summe	37

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

**Tabelle 22: Versuch 2 – Emulsionsbehandlung mit Abfallsäure und Abfallauge**

Emulsion	81	25
Abfallsäure (Schwefel- und Salzsäure)	32,7	3,5
Abfallauge	46	3,5
Kalkmilch		4
Fällungsmaterial:		0,13
	Summe	36,13

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

#### 4.2.2 Vakuumverdampfung

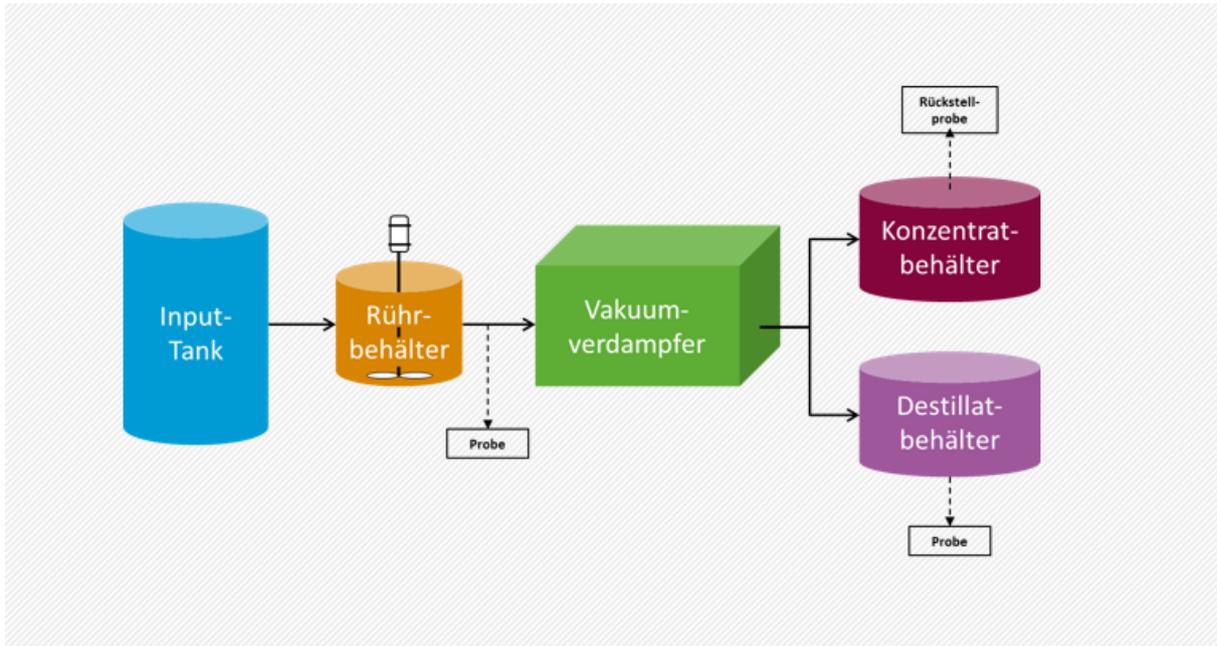
In der CP-Behandlungsanlage Lobbe Letmathe wird wie in Kapitel 2.4.1 beschrieben ein Vakuumverdampfer zur Behandlung von geeigneten Abfällen eingesetzt.

Die Eliminationsleistung von relevanten Spurenstoffen im Vakuumverdampfer ist abhängig von der substanzspezifischen Flüchtigkeit. Die Temperatur im Verdampfer liegt üblicherweise bei ca. 85 °C. Bei Anwendung des Verfahrens verdampft das Wasser im Vakuum, schwerflüchtige Spurenstoffe werden dabei Verdampfen im Konzentrat angereichert. Die Brüden werden kondensiert, das Kondensat wird gesammelt und nach Beprobung und Untersuchung eingeleitet.

Die Anwendbarkeit des Vakuumverdampfers in Hinblick auf die Spurenstoffelimination ist somit abhängig von der spezifischen Flüchtigkeit, diese steigt mit höheren Werten der Henry-Konstante.

Das Behandlungskonzept ist in der folgenden Abbildung 15 schematisch dargestellt:

**Abbildung 15: Behandlungskonzept Vakuumverdampfer CP-Behandlungsanlage Lobbe-Letmathe**



Quelle: Eigene Darstellung, Lobbe

Zur Evaluierung des Behandlungskonzeptes im Hinblick auf die Eliminationsleistung von relevanten Spurenstoffen wurden, wie in der Abbildung 15 dargestellt, Proben in einem Versuch (siehe Anhang I.3) an drei dargestellten Stellen entnommen.

Die Volumenströme aus diesem Versuch sind aus Tabelle 23 zu entnehmen.

**Tabelle 23: Versuch 3 - Emulsionsbehandlung im Vakuumverdampfer**

Ausgangsstoffe	Vorlage-Volumen [m <sup>3</sup> ]	Destillat – Volumen [m <sup>3</sup> ]	Konzentrat – Volumen [m <sup>3</sup> ]
Emulsion	4	3,5	0,5

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

#### 4.2.3 Adsorptive Nachbehandlung organisch belasteter Abwässer mit Aktivkohle

In der Behandlungsanlage Frankfurt werden im organischen Behandlungsstrang nach einer Entschlammung und Entölung in einem Dreiphasendekanter die vorbehandelten Wässer (Dekantat) zwischengepuffert. Der ölhaltige Schlamm wird einer thermischen Behandlung zugeführt, das abgetrennte Öl extern verwertet. Danach erfolgt die weitere Behandlung des Dekantats im Reaktor mit Zugabe von Säure, wobei sich vorhandene Gehalte an Restöl an die dabei entstehende Flocke binden. Nach Neutralisation mit Kalkmilch wird das Wasser in einem Dünnschlammbehälter gesammelt, bevor eine Trennung von festen und flüssigen Bestandteilen in einer Kammerfilterpresse erfolgt. Der abgepresste Schlamm wird anschließend deponiert oder thermisch behandelt. Das entschlammte Abwasser wird in einem Abwasserbehälter gesammelt, auf Einhaltung der Ablaufwerte beprobt und bei Einhaltung abgeleitet. Bei Nichteinhaltung der Ablaufwerte durch organische Verunreinigungen besteht die Möglichkeit, das Abwasser über zwei hintereinandergeschaltete Aktivkohlefilter weitergehend zu reinigen. Das Wasser wird nach der Behandlung mit Aktivkohle erneut in einem Abwasserbehälter gesammelt und auf Einhaltung der Ablaufwerte analysiert, bevor es abgeleitet wird.

Anorganische Abfälle wie z.B. Säuren werden in Tanks jeweils getrennt nach Erzeuger gelagert. Aus diesen Tanks erfolgt die Befüllung der Behandlungsreaktoren. Hier werden die Behandlungskemikalien zudosiert, oft auch mit Zugabe von Dekantat, um die Reaktionswärme bei der Behandlung aufzunehmen. Zur Neutralisation wird Kalkmilch verwendet. Der Inhalt der Reaktoren wird nach Behandlung in einen Dünnschlammbehälter gepumpt, und von dort in eine Kammerfilterpresse, wo die Fest-/Flüssigtrennung erfolgt. Der entstehende Schlamm wird i.d.R. deponiert, das Abwasser in einem Abwasserbehälter gesammelt und auf Einhaltung der Ablaufwerte analysiert, bevor es in Chargen abgepumpt wird. Falls erforderlich besteht auch hier die Möglichkeit einer nachfolgenden Behandlung mit Aktivkohle, die allerdings im anorganischen Behandlungsstrang i. d. R. nicht erforderlich ist.

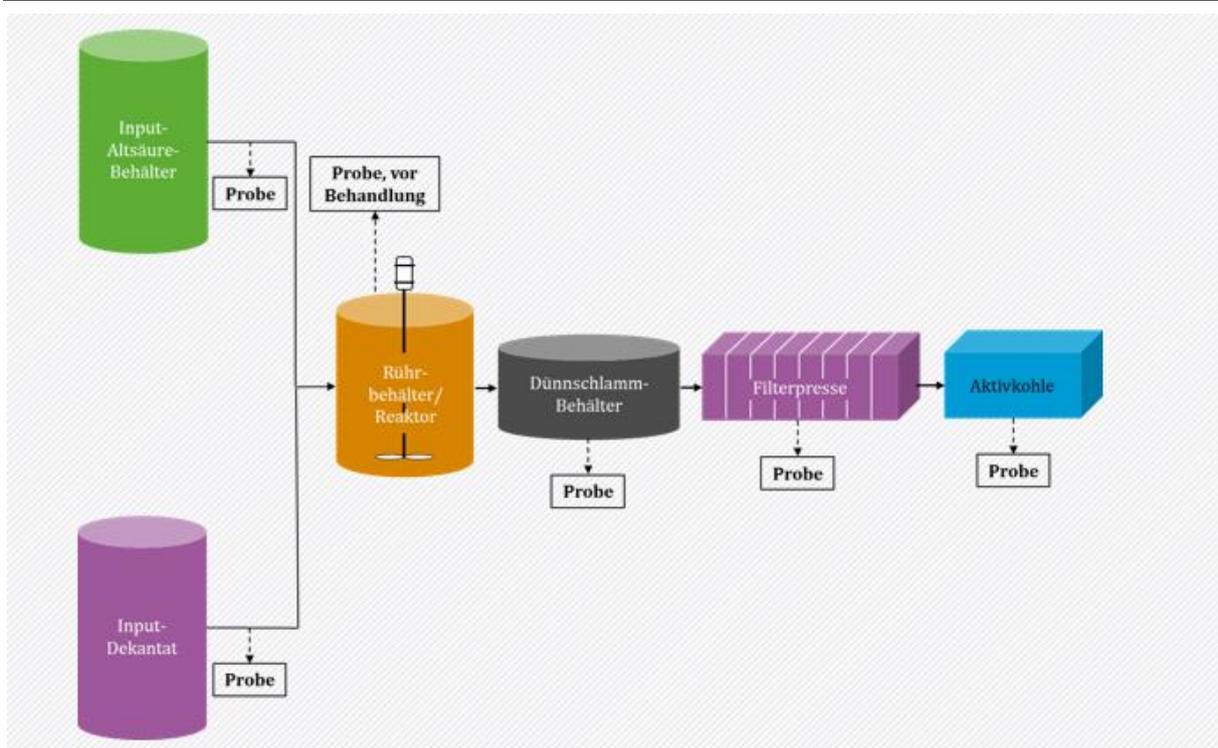
Spurenstoffe können somit an folgenden Stellen eliminiert werden: im Reaktor durch Anlagerung an den Flocken bzw. den Schlammpartikeln, und durch Absorption an der Aktivkohle.

Damit sind Probenahmen an folgenden Stellen möglich:

1. Lagertank (Rohabfall vor Behandlung)
2. Reaktor (vor Behandlung, vor Zugabe von Chemikalien)
3. Dünnschlammbehälter (nach Behandlung im Reaktor, vor Kammerfilterpresse)
4. Abwasserbehälter (nach Kammerfilterpresse, vor Behandlung mit Aktivkohle)
5. Abwasserbehälter (nach Behandlung mit Aktivkohle)

Zur Evaluierung des Behandlungskonzeptes im Hinblick auf die Eliminationsleistung von relevanten Spurenstoffen wurden, wie in der Abbildung 16 dargestellt, in drei Versuchen Proben an den dargestellten Stellen entnommen. Dabei wurden u.a. Proben vor und nach Behandlung mit Aktivkohle genommen, um die Eliminationsleistung dieser Behandlungsstufe separat feststellen zu können.

**Abbildung 16: Behandlungskonzept Adsorptive Nachbehandlung mit Aktivkohle CP-Behandlungsanlage Frankfurt**



Quelle: Eigene Darstellung, Indaver

Die Behandlung der Abfälle erfolgt im Batchbetrieb in Reaktoren mit einer Größe von 15, 17 und 19 m<sup>3</sup>, die anschließend in Dünnschlammbehälter mit einem Volumen von 50 m<sup>3</sup> entleeren. Für die Zwecke der Versuchsdurchführung wurden diese Dünnschlammbehälter vorher betriebsunüblich komplett entleert, um zusätzliche „Verunreinigungen“ des behandelten Materials mit Material aus anderen Behandlungen soweit möglich zu vermeiden. Restanhaftungen von vorherigen Befüllungen sind allerdings nicht auszuschließen. Die Kammerfilterpressen wurden vor der Versuchsdurchführung ebenfalls entleert, allerdings konnten die Filtertücher und -platten nicht gereinigt werden. Bei den hintereinander geschalteten Aktivkohlefiltern waren bei den beiden ersten Versuchen jeweils beide Filter schon einige Zeit in Betrieb, der erste verfahrensbedingt eine längere Zeit als der zweite. Nur im letzten Versuch Nr. 6 war der zweite Behälter mit frischer Aktivkohle befüllt.

Die Volumenströme, die in den Versuchen protokolliert worden, sind in der Tabelle 24, der Tabelle 25 und der Tabelle 26 dargestellt.

**Tabelle 24: Versuch 4 – Saure Abfallstoffe + Dekantat in KFP und Aktivkohle (3 Chargen)**

Ausgangsstoffe	Volumen je Charge[m <sup>3</sup> ]	Gesamt-Volumen [m <sup>3</sup> ]
Säure (Abfall)	3	9
Dekantat	4	12
Kalkmilch	2,2	6,6
Chemikalien	0,4	1,2
Wasser	1,0	3,0
	Summe	31,8

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

**Tabelle 25: Versuch 5 – Neutrale alkalisch Abfallstoffe in KFP und Aktivkohle (3 Chargen)**

Ausgangsstoffe	Volumen je Charge[m <sup>3</sup> ]	Gesamt-Volumen [m <sup>3</sup> ]
Kupfernitratlösung	6,0	18,0
Abwasser	4,0	12,0
Kalkmilch	1,5	4,5
Chemikalien	1,1	3,3
	Summe	37,8

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

**Tabelle 26: Versuch 6 – Abfallmischung in KFP und Aktivkohle (4 Chargen)**

Ausgangsstoffe	Volumen je Charge[m <sup>3</sup> ]	Gesamt-Volumen [m <sup>3</sup> ]
Verschiedene Abwässer	4,3 – 11,3	32,4
Salzsäure	2,6 – 3,4	6,0
Dekantat	2,6	2,6
Chemikalien + Kalkmilch	0,7 – 3,1	7,0
	Summe	48,0

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

### 4.3 Massenbilanzierung und Ermittlung der Eliminationsleistung

Zur Bewertung der Eliminationsleistung von Spurenstoffen in chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen wird die Eliminationsleistung der einzelnen Verfahrensschritte der betrachteten CP-Behandlungsanlagen herangezogen. Die Berechnung der Eliminationsleistung in jedem Verfahrensschritt der CP-Behandlungsanlage erfolgt als Differenzbetrachtung zwischen den Zulauf- und Ablaufmassenströmen wie folgt:

Eliminationsleistung [%]:

$$[c_{i,Z} \cdot V_Z - c_{i,A} \cdot V_A] / [c_{i,Z} \cdot V_Z] \cdot 100$$

$c_i$  = Konzentration des Stoffes  $i$  im jeweiligen Abfallzweig im Zulauf und Ablauf des Verfahrensschrittes

$V_Z$  = Volumen Zulauf

$V_A$  = Volumen Ablauf

Da die chemischen und physikalischen Abbauvorgänge der einzelnen Stoffe unter den reaktorspezifischen Bedingungen nicht bekannt sind und diese auch im Rahmen dieses Projektes nicht untersucht wurden, kann nicht differenziert werden, ob die Elimination auf chemische Umwandlungsprozesse oder physikalische Trennung zurückzuführen ist. Eine Differenzierung kann nur anhand der Art des Prozesses (vgl. Tabelle 2 in Kapitel 2) angenommen werden. In diesem Zusammenhang ist eine stoffspezifische Massenbilanz der Form  $\text{Input} + \text{Generation} = \text{Output} + \text{Akkumulation} + \text{Verbrauch}$  (Felder, 2010) nicht möglich. Damit geht auch die Bewertung einer möglichen chemischen Umwandlung in ökologisch harmlosere Komponenten einher. Die Elimination bleibt trotzdem mit der Eintragsverminderung der ökologisch störenden Komponenten in die Umwelt gekoppelt. Der Begriff Elimination bedarf also in Zusammenhang mit der Massenbilanz einer allgemeinen Definition und bedeutet für dieses Projekt die Abtrennung der Komponenten aus der wässrigen Phase.

Die Bestimmung der Eliminationsleistung der in Tabelle 12 dargestellten Spurenstoffe erfolgte nur für diejenigen Substanzen, welche im Zulauf und im Ablauf mindestens einmal in quantifizierbarer Konzentration vorlagen. Bei Konzentrationen unterhalb der Bestimmungsgrenze wurde zur Berechnung der Eliminationsleistung die Bestimmungsgrenze angesetzt und somit ein „worst-case“-Szenario abgebildet. Keine Elimination wurde bei denjenigen Stoffen ermittelt, die dieselbe Bestimmungsgrenze aufweisen, sowohl im Zulauf als auch im Ablauf der Verfahrensschritte. Zur Veranschaulichung der ermittelten Ergebnisse werden in den nächsten Kapiteln die Eliminationsleistungen der chemischen Stoffgruppen präsentiert, zu denen die einzelnen Spurenstoffe gehören. Alle Ergebnisse sind im Detail dem Anhang Izu entnehmen. Die stoffgruppenbezogene Eliminationsleistung wurde aus dem Mittelwert der einzelnen Komponenten bestimmt. Die Ergebnisse wurden anschließend in vier Kategorien wie folgt aufgeteilt:

- ▶ Sehr gute Eliminationsleistung > 90%
- ▶ Gute Eliminationsleistung = zwischen 50 und 90%
- ▶ Schlechte Eliminationsleistung < 50%
- ▶ Sehr schlechte Eliminationsleistung < 0%

Positive Eliminationsleistungen entsprechen einer tatsächlichen Elimination des Stoffes aus der wässrigen Phase, negative Eliminationsleistungen deuten auf eine Desorption des jeweiligen

Stoffes, bspw. aus dem Filterkuchen der Kammerfilterpresse oder eine Aufkonzentrierung des Stoffes, bspw. durch Zugabe von zusätzlichem Betriebswasser aus anderen Behandlungszweigen in den jeweiligen Verfahrensschritt, hin.

### **Ergebnisse und Diskussion**

Zur Betrachtung des ersten Behandlungskonzepts dient für den Fall der Behandlung im Rührbehälter (Reaktor) die Eliminationsleistung des letzten Verfahrensschrittes. Somit wird die gesamte Eliminationsleistung der Behandlungskonzepte auf die Elimination der Kammerfilterpresse (KFP) bezogen. Diese Eliminationsleistungen bezieht sich wiederum auf den Ablauf des Rührbehälters (vgl. Abbildung 14). Somit wird der Rührbehälter an sich für die Bestimmung der Eliminationsleistung nicht betrachtet. Begründet wird dieses Vorgehen dadurch, dass im Rührbehälter keine Elimination zu erwarten ist, da der komplette Input nach Reaktion und Behandlung den Reaktor wieder verlässt. Erst bei der anschließenden Fest-Flüssigtrennung in der Kammerfilterpresse findet eine Aufteilung statt.

Als weitere Annahme für die Berechnung der Eliminationsleistung der Kammerfilterpresse wurde der AFS-Wert (Abfiltrierbare Stoffe) herangezogen. Der AFS wurde zur Abschätzung des ablaufenden Volumens aus der KFP verwendet, um daraus die Masse der jeweiligen Komponente zu bestimmen. Dabei wurden, da keine weiteren Angaben vorhanden waren, vereinfachend die Dichte des Filtrats und der darin enthaltenen abfiltrierbaren Stoffe mit der Wasserdichte (1 kg/L) gleichgesetzt.

Beim Versuch in der Verdampferanlage wurde die Eliminationsleistung aus dem Vergleich des Masseninputs aus dem Rührbehälter (= gerührter Vorlagebehälter) mit dem Destillat gebildet.

Bei der Betrachtung der Aktivkohle werden zunächst die Werte der Eliminationsleistung durch Vergleich der Werte im Zulauf und Ablauf der Kammerfilterpresse, wie in Versuch 1 und 2, ermittelt. Aus dem Vergleich der Werte des Filtrats nach Kammerfilterpresse und nach Aktivkohle ermittelt sich die Eliminationsleistung der Aktivkohle.

In der folgenden Tabelle 27 sind die gemittelten Eliminationsleistungen der chemischen Stoffgruppen, sowie die dazugehörige Bewertung, für den ersten Versuch zu sehen. Auffällig sind dabei die Komplexbildner und die Phenole, die jeweils eine sehr schlechte bzw. sehr gute Elimination in der CP-Anlage aufweisen. Die stark negative Eliminationsleistung der Komplexbildner ist auf die chemischen und physikalischen Stoffeigenschaften der einzelnen Substanzen in dieser Gruppe zurückzuführen.

**Tabelle 27: Eliminationsleistungen in KFP für den Behandlungszweig „Emulsionsspaltung mit Zugabe von Altlauge“ – Versuch 1**

Stoffgruppe	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>	Bewertung
Komplexbildner	-274%	Sehr schlecht
PAK	87%	Gut
Phosphororganische Verbindungen	77%	Gut
N-Heterozyklen	65%	Gut
Alkohole	-	-
Phthalate	62%	Gut
Triazole/Korrosionsschutzmittel	72%	Gut
Phenole	99%	Sehr gut
PFAS	8%	Schlecht

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Die Wasserlöslichkeit ist für die Bewertung der Elimination in der KFP besonders relevant, da gelöste Stoffe kaum in der KFP als rein mechanisches Verfahren abgetrennt werden können. Unter den Komplexbildnern sind die Stoffe Nitrilotriessigsäure (NTA), Ethylendiamin-tetraessigsäure (EDTA) und Diethylentriaminpentaessigsäure (DTPA) zu finden, welche die Eliminationsleistungen von jeweils 8%, - 103% und - 728% aufweisen. NTA und DTPA weisen Wasserlöslichkeiten von jeweils 1.280 mg/L und 4.800 mg/L auf und sind dementsprechend als gut wasserlöslich zu bezeichnen (Vgl. Kapitel 2.4). Besonders im Falle von DTPA kann die gute Wasserlöslichkeit die sehr schlechte Elimination begründen. Die sehr schlechte Elimination von DTPA deutet zudem darauf hin, dass das verwendete Fällungsmittel (in diesem Fall Natriumsulfid) sich nicht für die Abtrennung von DTPA aus der wässrigen Phase eignet. EDTA hingegen hat eine geringere Wasserlöslichkeit von 400 mg/L. Eine mögliche Begründung für die schlechte Elimination von EDTA kann auf den  $\log_{KOW}$  zurückgeführt werden. Der Verteilungskoeffizient von EDTA liegt bei - 3,86 und kann somit als eine Substanz betrachtet werden, die gut mit Wasser wechselwirkt und nicht zur Adsorption, in diesem Fall am Filter der KFP, tendiert. Eine negative Eliminationsleistung deutet auf eine mögliche Desorption der Stoffe aus dem Filterkuchen hin. Der kontinuierliche Betrieb der KFP und die dazugehörige Filterkuchenbildung können zu Beginn des Betriebs zu einer Aufnahme von Komplexbildner in der festen Phase führen, die eventuell eine Sättigungsgrenze erreicht. Durch den weiteren Betrieb der KFP können ggf. Desorptionsprozesse der einzelnen Stoffe, basierend auf deren chemischen und physikalischen Eigenschaften, ausgelöst werden. Die Desorption der im Filterkuchen adsorbierten Stoffe führen anschließend zu einer Erhöhung der Komplexbildnerkonzentration im Ablauf der KFP.

Die sehr gute Eliminationsleistung der Phenole kann ebenfalls anhand der Wasserlöslichkeit und des  $\log_{KOW}$ -Wertes begründet werden. Unter der Stoffgruppe der Phenole ist im Rahmen des 2. Monitorings nur o-Phenylphenol im Labor nachgewiesen worden. Diese Substanz weist eine Wasserlöslichkeit von 200 mg/L und einen  $\log_{KOW}$  von 3,09. Beide Werte stellen eine schlechte Wasserlöslichkeit bzw. eine höhere Adsorptionstendenz dar, was eine Abtrennung in der KFP vereinfacht.

In der folgenden Tabelle 28 sind die gemittelten Eliminationsleistungen der chemischen Stoffgruppen und die dazugehörige Bewertung für den Versuch 2 zu finden. Die Eliminationsleistungen weisen niedrigere Werte als in Versuch 1 auf und werden dementsprechend häufiger als schlecht bewertet. Diese Ergebnisse sind darauf zurückzuführen, dass bei diesem Versuch aus betrieblichen Gründen kein Fällmittel in den Rührbehälter gegeben wurde. Da kein Fällmittel vorhanden war, ist die Überführung von vielen Stoffen vom gelösten in den ungelösten Zustand nicht möglich. Diese Begründung wird durch den AFS-Wert bestätigt, der in der Probe nach dem Rührbehälter bestimmt wurde. Dieser beträgt für diesen Versuch 15.000 mg/L im Vergleich zu 80.000 mg/L im vorherigen Versuch.

Eine weitere Beobachtung ist, dass die Phthalate trotz fehlendem Fällungsmittel eine gute Eliminationsleistung aufweisen. Unter den Phthalaten wurde nur Bis(2-ethylhexyl) –phthalat untersucht. Dieser Stoff ist mit einer Wasserlöslichkeit von 0,27 mg/L und einen  $\log K_{ow}$  von 7,6 stark unlöslich und hydrophob. Dementsprechend kann sich ein Verfahren wie die KFP auf die Abtrennung dieses Stoffes aus der wässrigen Phase positiv auswirken.

Die negativen Eliminationsleistungen der Komplexbildner sind, wie im vorherigen Versuch, hier ebenfalls zu sehen. Als mögliche Erklärung für diese Beobachtung gilt die bereits erläuterte Argumentationskette. Im Filterkuchen der KFP sind möglicherweise Stoffen aufgenommen worden, die während des Betriebes der KFP desorbiert und zurück in das Filtrat ausgetragen werden. Dies würde die Konzentrationserhöhung der Komplexbildner nach der KFP erklären, wie in Versuch 1 und Versuch 2 beobachtet wurde.

**Tabelle 28: Eliminationsleistungen in KFP für den Behandlungszweig „Emulsionsspaltung + Altsäure“ – Versuch 2**

Stoffgruppe	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>	Bewertung
Komplexbildner	-174,8%	Sehr Schlecht
PAK	23,0%	Schlecht
Phosphororganische Verbindungen	50,5%	Gut
N-Heterozyklen	33,5%	Schlecht
Alkohole	-	-
Phthalate	78,2%	Gut
Triazole/Korrosionsschutzmittel	n.a.	n.a.
Phenole	-	-
PFAS	-	-

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

In der folgenden Tabelle 29 sind die gemittelten Eliminationsleistungen der chemischen Stoffgruppen, sowie die dazugehörige Bewertung für den dritten Versuch zu sehen. Dieser Versuch wurde anhand des Behandlungskonzeptes „Vakuumverdampfer“ durchgeführt und ist somit nicht mit den zwei vorherigen Behandlungskonzepten vergleichbar.

**Tabelle 29: Eliminationsleistung für den Behandlungszeit „Emulsion in Vakuumverdampfer“ – Versuch 3**

Stoffgruppe	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>	Bewertung
Komplexbildner	53,7%	Gut
PAK	84,3%	Gut
Phosphororganische Verbindungen	64,5%	Gut
N-Heterozyklen	54,6%	Gut
Alkohole	-	-
Phthalate	72,4%	Gut
Triazole	-	-
Phenole	-9,8%	Sehr schlecht
PFAS	-	-

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

In der Tabelle 29 kann als erstes beobachtet werden, dass alle Stoffgruppen eine gute Eliminationsleistung, bis auf die Gruppe der Phenole, aufweisen. Diese Stoffgruppe weist eine Aufkonzentrierung im Destillat auf. Die sehr schlechte Eliminationsleistung innerhalb dieser Stoffgruppe ist allerdings nur auf den Stoff o-Phenylphenol zurückzuführen. Im Vergleich zu den anderen sehr gut eliminierbaren Stoffen weist o-Phenylphenol einen niedrigeren Siedepunkt, sowie eine höhere Henry-Flüchtigkeitskonstante auf. Dadurch wird die Wahrscheinlichkeit erhöht, dass es in die Gasphase übergeht und somit in das Destillat gelangt.

Die Ermittlung des gesamten Eliminationsvermögens des Behandlungskonzeptes „KFP + Aktivkohlefiltration“ erfolgt über die Bestimmung der Eliminationsleistung zwischen dem Ablauf aus dem Rührbehälter als Vorlagebehälter für die Kammerfilterpresse und dem Ablauf aus dem Aktivkohlefilter. Die Verfahrensschritte der KFP und Aktivkohlefilter wurden auch einzeln hinsichtlich ihrer spezifischen Eliminationsleistungen analysiert. Die Ergebnisse der durchgeführten Analysen sind dem Anhang I.4 zu entnehmen.

In der folgenden Tabelle 30 sind die Eliminationsleistungen nach den Stoffgruppen für den Versuch 4 zu sehen. Bei diesem Versuch wurde der AFS Wert nicht bestimmt. Aus diesem Grund wurde für die Auswertung angenommen, dass das Volumen vor KFP gleich das Volumen nach KFP ist.

**Tabelle 30: Eliminationsleistung für den Behandlungszeit „saure Abfallstoffe + Dekantat in KFP und Aktivkohle“ – Versuch 4**

Stoffgruppe	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>	Bewertung
Komplexbildner	8%	Schlecht
PAK	-15%	Sehr schlecht
Phosphororganische Verbindungen	3%	Schlecht

Stoffgruppe	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>	Bewertung
N-Heterozyklen	11%	Schlecht
Alkohole	-	-
Phthalate	9%	Schlecht
Triazole	96%	Sehr gut
Phenole	79%	Gut
PFAS	-	-

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Besonders auffällig sind die Gruppe der PAKs, die eine sehr schlechte Eliminationsleistung aufweisen. Unter den PAKs sind Phenanthren und Fluoranthren mit einer kalkulatorischen Eliminationsleistung von jeweils – 31% und 1% zu sehen. Eine negative Eliminationsleistung bedeutet, dass sich die Konzentration des jeweiligen Stoffes nach Behandlung erhöht hat. Diese Ergebnisse sind nicht anhand der chemischen und physikalischen Eigenschaften der einzelnen Spurenstoffe zu begründen. Beide Stoffe weisen schlechte Wasserlöslichkeiten, sowie positive  $\log K_{OW}$ -Werte auf, sodass eine mechanische Trennung nach Zugabe von Fällungsmittel (in diesem Fall NaS,  $Ca(OH)_2$  und  $FeCl_2$ ) zu einer Elimination führen sollte. Die mögliche Erklärung hierfür kann in der Betriebsweise der Aktivkohle-Behälter liegen. Da die Aktivkohlefilter schon vorher einige Zeit in Betrieb und ggf. bereits gesättigt waren, kann von einer Desorption der adsorbierten Substanzen ausgegangen werden. Die Elimination kann nicht von der Aktivkohlestufe am Ende der Behandlung kompensiert werden, da auch die A-Kohle-Stufe negative Eliminationsleistungen aufweist; -23% für Phenanthren und -14 % für Fluoranthren.

In der folgenden Tabelle 31 finden sich die Eliminationsleistungen der chemischen Stoffgruppen für den Versuch 5. Sowohl die Komplexbildner als auch die Phenole zeigen sehr schlechte Eliminationsleistungen. Die sehr schlechte Eliminationsleistung der Komplexbildner ist anhand der chemischen und physikalischen Eigenschaften zu erwarten. Dieses Ergebnis stimmt mit den Ergebnissen der anderen Versuchsreihen (siehe Versuch 1 und Versuch 2) überein und aus diesem Grund wird darauf nicht weiter eingegangen.

Unter der Stoffgruppe der Phenole ist nur Bisphenol A in der Probe mit einer Eliminationsleistung von -8 % nachgewiesen worden. Bisphenol A besitzt eine niedrige Wasserlöslichkeit von 300 mg/L und einen positiven  $\log K_{OW}$ -Wert von 3,32. Somit wäre eine gute bis sehr gute Eliminationsleistung zu erwarten. Auch hier ist eine mögliche Erklärung, dass die Aktivkohlefilter – wie beim Versuch 4 – schon beladen waren.

**Tabelle 31: Eliminationsleistung für den Behandlungszweig „neutrale alkalische Abfallstoffe in KFP und Aktivkohle“ – Versuch 5**

Stoffgruppe	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>	Bewertung
Komplexbildner	-9%	Sehr schlecht
PAK	39%	Schlecht
Phosphororganische Verbindungen	72%	Gut

Stoffgruppe	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>	Bewertung
N-Heterozyklen	-	-
Alkohole	-	-
Phthalate	61%	Gut
Triazole	37%	Schlecht
Phenole	-8%	Sehr schlecht
PFAS	91%	Sehr gut

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

In der folgenden Tabelle 32 sind die Eliminationsleistungen der chemischen Stoffgruppen für den Versuch 6 dargestellt. Bei diesem Versuch ist eine sehr schlechte Elimination bei einem Komplexbildner (NTA) zu beobachten. Hier steigt der Wert nach der Aktivkohle an, so dass eine Resorption zu vermuten ist aus dem Filter, der schon vorher in Gebrauch war. Unter diesen Stoffgruppe sind zwei Stoffe untersucht worden: Nitriloessigsäure (NTA) und Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA). Diese behandelte Abfallmatrix und das Behandlungskonzept scheinen sich positiv auf die Elimination von EDTA im Aktivkohlefilter auszuwirken. Auffällig ist an dieser Stelle, dass der Stoff EDTA eine sehr gute Eliminationsleistung (82%) aufweist. Bei NTA scheint eine Anreicherung im Aktivkohlefilter stattzufinden, da die Konzentration vor der KFT unter der Nachweisgrenze lag und nach der KFP bei 50 mg/L.

Im Gegensatz zu den vorherigen Versuchen weisen die Phenole und die PAKs positive Eliminationsleistungen auf. Positive Eliminationsleistungen sind ebenfalls in beiden Fällen, aufgrund deren chemischen und physikalischen Eigenschaften zu erwarten. Die Eliminationsleistungen können für den Versuch 6 durch die Nutzung eines Aktivkohlefilters mit frischer Füllung verbessert worden sein, da die Aktivkohle noch nicht beladen und somit eine höhere Adsorptionsfähigkeit vorhanden war. Die sehr gute Eliminationsleistung der PFAS Stoffgruppe ist ausschließlich auf PFBS zurückzuführen, der als einziger Stoff untersucht wurde.

Auffällig ist die sehr gute Eliminationsleistung in der Gruppe der Triazole. In dieser Gruppe wurde Benzotriazol untersucht. Dieser Stoff wurde in Versuch 4 ebenfalls gut bis sehr gut eliminiert. Diese Beobachtung stimmt mit den Ergebnissen aus dem Versuch 1 überein, wo ebenfalls eine gute Elimination nachgewiesen wurde.

**Tabelle 32: Eliminationsleistung für den Behandlungszweig „Abfallmischung in KFP und Aktivkohle“ – Versuch 6**

Stoffgruppe	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>	Bewertung
Komplexbildner	-33%	Sehr schlecht
PAK	79%	Gut
Phosphororganische Verbindungen	79%	Gut
N-Heterozyklen	13%	Schlecht
Alkohole	-	-

Stoffgruppe	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>	Bewertung
Phthalate	98%	Sehr gut
Triazole	94%	Sehr gut
Phenole	78%	Gut
PFAS	56%	Gut

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Tabelle 33 stellt die Ergebnisse der 6 Versuche vergleichend dar. Obwohl jede CP-Behandlungsanlage anders aufgebaut und betrieben wird und sehr unterschiedliche Abfälle aufnimmt, sind einige Gemeinsamkeiten in deren Behandlungseffizienz im Rahmen der Versuchsphasen zu erkennen. Die chemischen Stoffgruppen der phosphororganischen Verbindungen, N-Heterozyklen, Phthalate und PFAS haben bei allen Versuchen positive Eliminationsleistungen gezeigt. Es lässt sich anhand aller Versuchsergebnisse ebenfalls feststellen, dass die Komplexbildner sehr schlecht mit Adsorptionsverfahren (Fällung und Aktivkohle) eliminiert werden können. Lediglich mit einer Behandlung in der Vakuumverdampfung lässt sich eine gute Eliminationsleistung erreichen. Alkohole wurden in keiner Probe nachgewiesen. Die Gruppen der PAKs und Phenole haben bis auf zwei Versuche auch positive und bis zu sehr gute Eliminationsleistungen gezeigt. Die negativen Ergebnisse sind möglicherweise auf die Betriebsweise der Anlage und nicht auf das Eliminationsprinzip zurückzuführen. Im unteren Teil der Tabelle sind die Eliminationsleistungen der relevanten Summenparameter CSB, AFS, AOX und TOC zu sehen.

**Tabelle 33: Vergleich der Eliminationsleistung der verschiedenen Behandlungswege**

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4	Versuch 5	Versuch 6
Elimination in	KFP	KFP	Verdampfer	KFP + Aktivkohle	KFP + Aktivkohle	KFP + Aktivkohle
Stoffgruppe	Bewertung					
Komplexbildner	Sehr schlecht	Sehr Schlecht	Gut	Schlecht	Sehr schlecht	Sehr schlecht
PAK	Gut	Schlecht	Gut	Sehr schlecht	Schlecht	Gut
Phosphororganische Verbindungen	Gut	Gut	Gut	Schlecht	Gut	Gut
N-Heterozyklen	Gut	Schlecht	Gut	Schlecht	-	Schlecht
Alkohole	-	-	-	-	-	-
Phthalate	Gut	Gut	Gut	Schlecht	Gut	Sehr gut
Triazole	Gut	n.a.	-	Sehr gut	Schlecht	Sehr gut
Phenole	Sehr gut	-	Sehr schlecht	Gut	Sehr schlecht	Gut
PFAS	Schlecht	-	-	-	Sehr gut	Gut
CSB	12%	1,50%	89,2	-	-	-

	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4	Versuch 5	Versuch 6
AFS	55%	53,94%	86,5	3,1%	41,7%	51,8%
AOX	100%	99,84%	99,8%	-	100%	99,7%
TOC	50%	-50,38%	52,6%	-123,7%	-38,6%	-70,3%

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Schließlich wurde eine Korrelationsanalyse zwischen der Eliminationsleistung der Stoffgruppen und der Eliminationsleistung von den Summenparametern TOC, CSB, AFS und AOX (SPE) durchgeführt. Das Ziel dieser Analyse ist es zu evaluieren, ob die Eliminationsleistung in Abhängigkeit von diesen Parametern prädizierbar sein kann. Die Korrelation wurde mit dem Pearson'schen Korrelationskoeffizienten (r-Wert) bewertet. Ein r-Wert nahe 1 entspricht einem linearen Zusammenhang zwischen den bewerteten Parametern, ein Pearson'scher Wert nahe -1 bedeutet einen inversen linearen Zusammenhang und ein Wert von 0 wird als keine Beziehung zwischen den untersuchten Parametern interpretiert. In der folgenden Tabelle 34 sind die r-Werte zwischen allen Stoffgruppen und Summenparameter dargestellt.

**Tabelle 34: r-Werte für alle analysierten Spurenstoffgruppen und Summenparameter**

	TOC	CSB	AFS	AOX (SPE)
Komplexbildner	0,92	-0,07	-0,34	-0,30
PAK	0,56	0,82	-0,21	0,80
Phosphororganische Verbindungen	0,14	0,73	0,03	0,64
N-Heterozyklen	0,30	0,68	0,90	0,96
Alkohole	-	-	-	-
Phthalate	0,05	0,75	-0,97	0,39
Triazole/Korrosionsschutzmittel	-	-0,34	-0,83	-0,45
Phenole	-1,00	-0,44	-0,19	-0,27
PFAS	-	-0,94	-0,03	-0,77

Quelle: Eigene Darstellung, FiW

Alle Ergebnisse, die größer als 0,7 sind, korrelieren signifikant miteinander. Die r-Werte zwischen TOC und Komplexbildner, AFS und N-Heterozyklen und AOX (SPE) und N-Heterozyklen liegen alle über 0,9 und korrelieren somit stark zu einander. Alle r-Werte, die kleiner -0,7 sind weisen eine stark inverse Korrelation zueinander auf. Zwischen dem TOC und Phenole, CSB und PFAS und AFS und Phthalate liegen die r-Werte unter -0,9.

Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass anhand dieser Summenparameter eine mögliche Vorhersage über die Eliminationsleistung einzelner Spurenstoffgruppen abgebildet werden kann.

Für eine Stützung dieses Ansatzes müsste das Datenkollektiv durch weitere Versuche vergrößert werden.

## 5 Fazit und Handlungsempfehlungen

### 5.1 Fazit

Ziel dieses Projekts ist es, Maßnahmen zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen/Spurenstoffen aus Abwasser von CP-Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle in Gewässer zu evaluieren. Über den Beitrag der CP-Behandlungsanlagen bei der Elimination von Spurenstoffen war bisher wenig bekannt, insofern trägt dieses Forschungsvorhaben zu einem Basiswissen bei.

Die Problematik des Eintrages von Spurenstoffen und der negativen Auswirkung auf die Gewässer führt zu einer Diskussion bei der Aktualisierung des Abwasserabgabengesetzes (AbwAG). Der Entwurf der Novelle des Abwasserabgabengesetzes vom 13.1.2020 sieht eine Spurenstoffabgabe als weiteren Bestandteil der Abwasserabgabe vor. Die Spurenstoffabgabe ist dabei als pauschaler Zuschlag auf die Abwasserabgabe vorgeschlagen, und hängt damit nicht von der realen Belastung ab. Hiervon befreit werden sollen Kläranlagen, die über eine vierte Reinigungsstufe verfügen. Damit soll ein Anreiz geschaffen werden, kommunale Kläranlagen mit einer weitergehenden vierten Reinigungsstufe auszustatten. Die im Entwurf genannten Indikatorstoffe, die zur Berechnung der Eliminationsleistung der vierten Reinigungsstufe herangezogen werden, sind 9 Substanzen, vorwiegend Arzneimittelrückstände sowie Benzotriazole (UBA Text 60/2021).

In Rahmen einer Situationsanalyse erfolgte die Erfassung der für CP-Behandlungsanlagen relevanten Spurenstoffe. Diese Analyse umfasste Literaturrecherchen, Umfragen bei Betreibern von CP-Behandlungsanlagen und Abfragen von Datenbanken. Unter Berücksichtigung von umwelt- und gesundheitsrelevanten Kriterien sowie den chemischen und physikalischen Eigenschaften der dabei erfassten Spurenstoffe wurde eine Liste von 28 relevanten Spurenstoffe und Spurenstoffgruppen identifiziert. Es handelt sich hierbei um 62 Einzelstoffe verschiedener Substanzgruppen, wie Komplexbildner und Korrosionsschutzmittel, Per- und Polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS), Organohalogen-Verbindungen, Phosphor-organische Verbindungen, Triazole, Phthalate, PAK, PCB, Alkylphenole, Dioxine und Dioxinähnliche-Verbindungen, Chloraromaten, Alkohole und n-Heterocyclische-Kohlenwasserstoffe.

Diese Spurenstoffe dienten als Leitsubstanzen für die Methodenentwicklung der Analytik und zu Parameteruntersuchungen der Abfall- und Abwasserströme der beiden im Projekt betrachteten CP-Behandlungsanlagen der Fa. Lobbe Entsorgung West GmbH & Co KG in Iserlohn-Letmathe und Fa. Indaver Deutschland GmbH in Frankfurt. Im Rahmen weiterer Untersuchungen wäre die Betrachtung von weiteren CP-Behandlungsanlagen oder Messergebnisse aus diesen im Hinblick auf Spurenstoffe sinnvoll, um die Beurteilungsbasis zu verbreitern und ggf. weitere Handlungsoptionen zu evaluieren.

Diese Stoffauswahl erforderte verschiedene analytische Methoden für die verschiedenen Stoffgruppen:

- ▶ Gaschromatographie (GC) für die unpolaren organischen Spurenstoffe
- ▶ Flüssigkeitschromatographie (LC) für die polaren Verbindungen
- ▶ GC-MS-Screening zur Identifikation weiterer potentiell relevanter organischer Spurenstoffe
- ▶ Untersuchung auf verschiedene abwassertechnisch relevante Summenparameter (pH-Wert, Leitfähigkeit, Abfiltrierbare Stoffe, AOX, CSB, TOC, TNb, Phosphor, SAK254, KW-Index)

- ▶ Combustion Ionenchromatographie (C-IC) zur Bestimmung des AOF, AOB<sub>r</sub>, AOCl, AOI als mögliche neue Summenparameter für die Überwachung von organischen Halogenverbindungen wie den Röntgenkontrastmitteln oder Per- und Polyfluorierte Alkylverbindungen (PFAS) in Kooperation mit Mitsubishi Chemical Europe
- ▶ Nitrifikationshemmtest, TTC-Test (Bestimmung der metabolischen Aktivität der Zellen), Leuchtbakterientest, Daphnientoxizitätstest, Algentoxizitätstest, Fischeitstest, YES (hormonelle Wirkung) und Mutagenitätstest (Ames-Test) zur Bewertung der biologischen und ökotoxikologischen Relevanz der Spurenstoffe für die Behandelbarkeit in einer Abwasserbehandlungsanlage bzw. Einleitbarkeit in ein Gewässer. Diese Biotests wurden vom ISA und Lobbe in Zusammenarbeit mit dem UBA (Fachgebiet III 2.5.) exemplarisch an ausgewählten Proben durchgeführt

Im Rahmen dieses Vorhabens wurde nicht betrachtet, inwieweit die Methoden „praxisgerecht“ sind im Hinblick auf Kosten und Zeitdauer für die Durchführung der Analyse. Hier lag der Schwerpunkt zunächst darin, Stoffe nachweisen zu können. Falls sich im weiteren Verlauf einzelne Stoffe oder Stoffgruppen als relevant herausstellen, gilt es, hierfür geeignete Meßverfahren zu entwickeln.

Basierend auf den Ergebnissen der Methodenentwicklung und den Parameteruntersuchungen wurden an den gängigen Abfallströmen der beiden Behandlungsanlagen untersucht, ob diese die ausgewählten Spurenstoffe enthalten. Fast alle der ausgewählten Spurenstoffe wurden sowohl in den verschiedenen Stoffströmen als auch im Ablauf der CP-Behandlungsanlagen in unterschiedlichen Konzentrationen gefunden.

Darüber hinaus wurden in einem Non-Target-GC-MS-Screening neben den ausgewählten Spurenstoffen zahlreiche weitere Spurenstoffe nachgewiesen.

Für die gängigen Abfallströme der beiden CP-Behandlungsanlagen wurden im weiteren Verlauf drei stoffstromspezifische Behandlungskonzepte untersucht und im Hinblick auf die Elimination von Spurenstoffen evaluiert. Diese Konzepte kombinieren verfahrenstechnische Behandlungsstufen, die in den beiden betrachteten CP-Behandlungsanlagen angewendet werden:

1. Emulsionsspaltung mit Fällung, Flockung, Neutralisation und Filtration - Elimination durch Abscheidung von schlecht wasserlöslichen Spurenstoffen,
2. Vakuumverdampfung - Elimination durch Verdampfung von schwer flüchtigen Spurenstoffen
3. Nachbehandlung nach Flockung, Fällung und Filtration mit Aktivkohle - Adsorption von Spurenstoffen an Aktivkohle

Zur Evaluierung der Behandlungskonzepte im Hinblick auf die Eliminationsleistung von Spurenstoffen wurden in den beiden CP - Behandlungsanlagen für jedes Behandlungskonzept Proben im Rahmen von großtechnischen Versuchskampagnen an unterschiedlichen Stellen im Behandlungsprozess (Zulauf, Reaktor/Rührbehälter, Ablauf, ggf. Nachbehandlung) entnommen und analysiert.

Die drei Behandlungskonzepte wurden im Hinblick auf die Eliminationsleistung von Spurenstoffen bewertet. Dabei ergibt sich, dass

- ▶ Bei keinem der Verfahren eine komplette Elimination aller Spurenstoffe möglich ist
- ▶ Bei der Filtration in einer Kammerfilterpresse partikelgebundene Spurenstoffe gut bis sehr gut eliminiert, wasserlösliche Spurenstoffe schlecht eliminiert werden

- ▶ Bei der Behandlung im Vakuumverdampfer wasserlösliche Spurenstoffe mit hohem Siedepunkt gut eliminiert werden, Spurenstoffe mit niedrigem Siedepunkt eher schlecht
- ▶ Bei der Absorption mit Aktivkohle nach Filtration in einer Kammerfilterpresse werden gut wasserlösliche Spurenstoffe eher schlecht zurückgehalten, bestimmte organische Stoffe (PAK, EDTA) werden gut zurückgehalten. Zu beachten ist, dass die Aktivkohle je nach Beladung und Betriebsdauer ein unterschiedliches Rückhaltevermögen zeigt, und auch Stoffe resorbiert werden können.

Folgende Erkenntnisse wurden aus den Versuchskampagnen gewonnen:

1. CP-Anlagenabwässer sollten aufgrund der Toxizität, der hohen Spurenstoff- und/oder Salzfracht nicht direkt in ein Gewässer eingeleitet werden. Bei der indirekten Einleitung über eine Kläranlage spielt die Größe dieser Kläranlagen eine nicht unwesentliche Rolle, um z.B. durch eine Verdünnung die möglicherweise ökotoxische Wirkung des Abwassers aus der CP-Anlage abzumildern. Auch können mit einer leistungsfähigen Kläranlage organisch gut abbaubare Spurenstoffe eliminiert werden.
2. Der SPE-AOF und SPE-EOF kann als Summenparameter für die PFAS in der Abwasserüberwachung eingesetzt werden.
3. PFOA und PFOS sind keine relevanten PFAS für CPB-Anlagen, auf Basis der Daten aus den beiden CP-Behandlungsanlagen. Im Vergleich zu anderen Spurenstoffen sind die Gehalte an PFAS in den untersuchten Abfall- und Abwasserströmen eher gering oder nicht vorhanden.
4. Aufgrund der Vielfalt der Spurenstoffe ist eine Einzelstoffregelung zur Stoffreduzierung schwer möglich, da es zu viele relevante Spurenstoffe je Stoffstrom gibt. Hier könnte ein Leuchtbakterientest neben einem Abbautest, wie in Anhang 27 vorgesehen, ein sinnvoller Parameter sein, da dieser auch bei hoher Salzfracht valide Ergebnisse liefern kann.

## 5.2 Handlungsempfehlungen

In CP-Behandlungsanlagen werden flüssige Abfälle behandelt, die aus allen Bereichen der industriellen Tätigkeiten stammen, und somit aus unterschiedlichen Produktionsverfahren. Die bei den Analysen festgestellten Verunreinigungen mit Spurenstoffen zeigen, dass diese möglicherweise seitens der Abfallerzeuger, womöglich ohne deren Kenntnis, als Bestandteile oder Verunreinigungen in verwendeten Chemikalien enthalten sind und somit ihren Weg in die Produkte und den Abfall finden.

Für die Ableitung von Spurenstoffen aus CP-Behandlungsanlagen gibt es derzeit weder für einzelne Stoffe noch für Stoffgruppen Grenzwerte im relevanten Anhang 27 der Abwasser-Verordnung. Grenzwerte für Spurenstoffe sind auch im Entwurf des AbwAG nicht vorgesehen, vielmehr wird auf eine Eliminationsleistung abgezielt.

Die Festlegung von Grenzwerten würde es erfordern, dass eine Überwachung möglich ist. Hierfür fehlen derzeit geeignete Analyseverfahren, die in den Betriebslaboren der CP-Behandlungsanlagen unter den speziellen Betriebsbedingungen angewendet werden können. Dies bedeutet, dass sowohl ein enger zeitlicher Rahmen bei z. B. einer Eingangsanalytik von ca. 30 min eingehalten werden muss, aber auch die Verfahren bei unterschiedlichsten Arten von Abfällen mit stark schwankender chemischer Zusammensetzung und physikalischer Ausprägung „funktionieren“ müssen. Diese Verfahren müssen dann auch bei der Analyse des Abwassers nach Behandlung in ähnlichem zeitlichem Rahmen eingesetzt werden können.

Angesichts der Vielzahl der im Rahmen der durchgeführten Analysen gefundenen Spurenstoffe ist die Messung von Einzelstoffen nicht praktikabel, auf jeden Fall nicht mit den Mitteln eines

Betriebslabores. Vielmehr müssen Summenparameter fundierte Aussagen über die Belastung von Stoffgruppen liefern können. Auch hierfür sind geeignete Analyseverfahren zu entwickeln.

Unter diesen Voraussetzungen sind derzeit organisatorische bzw. technisch/organisatorische Maßnahmen zielführend bei der Minderung des Eintrages von Spurenstoffen aus dem Ablauf von CP-Behandlungsanlagen.

Verwendungseinschränkungen: Erste Maßnahme zur Minderung des Eintrages der Spurenstoffe ist es, die Verwendung dieser Stoffe einzuschränken und - wenn nötig - zu verbieten. Was nicht vorhanden ist, muss nicht eliminiert werden. Erfolgreich waren die Maßnahmen in der Vergangenheit z. B. bei den Umweltgiften DDT und PCB.

Kenntnis der behandelten Abfälle: Die im Rahmen des Projektes durchgeführten Untersuchungen zeigen, dass eine genaue Kenntnis der angelieferten Abfälle ein Schlüsselfaktor bei der Minderung der Einträge von Spurenstoffen ist. Primäre Fragestellung bei der Minimierung des Eintrages ist das mögliche Vorhandensein und die Relevanz der Spurenstoffe. Dazu müssen wieder, wie oben dargestellt, diese mit geeigneten Verfahren der Analytik festgestellt werden können.

Falls der chemisch-analytische Nachweis der Spurenstoffe bei der Deklarationsanalyse und Eingangskontrolle nicht möglich ist, muss mit dem Erzeuger des Abfalls geklärt werden, ob der Abfall auf Grund seiner Entstehung überhaupt betreffende Stoffe enthalten kann. Dazu müssen im Informationsaustausch mit dem Abfallerzeuger potentiell relevante, spurenstoffbelastete Abfälle identifiziert werden können. Hierzu ist erforderlich, dass der Abfallerzeuger sein Wissen über die eingesetzten Rohstoffe und deren Belastung mit Spurenstoffen kennt, und dieses Wissen mit dem Entsorgungsunternehmen teilt.

Technische Maßnahmen: Wenn eine spezifische relevante Belastung mit Spurenstoffen festgestellt werden kann, sollte zunächst die Behandelbarkeit und mögliche Umwandlung und/oder Abscheidung aufgrund der Stoffkenntnis überprüft werden. In Abhängigkeit der Abfallart sowie der Art und Menge der beinhaltenden Spurenstoffe können spezifisch unterschiedliche Behandlungsverfahren angewendet werden.

Im Projekt wurde eine Vielzahl von Spurenstoffen identifiziert. Dabei wurden hinsichtlich der Behandelbarkeit im Wesentlichen drei Spurenstoffgruppen identifiziert:

1. Schwer wasserlösliche Spurenstoffe (z. B. Phenole)
2. Schwerflüchtige Spurenstoffe (z. B. Phtalate)
3. Gut adsorbierbare Spurenstoffe (z. B. Triazole)

Basierend auf der Analyse und der Zugehörigkeit zu einer oder mehreren Gruppen kann ein spezifisches Behandlungskonzept für den spurenstoffhaltigen Abfall entwickelt werden. Das Behandlungskonzept umfasst spurenstoffspezifische technische Maßnahmen im Verfahrensgang der chemisch-physikalischen Behandlung und der Endreinigung des behandelten CP-Abwassers vor Einleitung.

Für die Abfälle, die schwerwasserlösliche Spurenstoffe (Gruppe 1) enthalten, sind Behandlungskonzepte zielführend, die auf eine weitgehende Phasentrennung und Filtrierung der festen Phase mit den beinhaltenden Spurenstoffen abzielen. Zur Prozesskontrolle kann hier als Parameter AFS genutzt werden, der in CP-Behandlungsanlagen einfach gemessen werden kann.

Sind schwerflüchtige Spurenstoffe (Gruppe 2) in Abfällen enthalten, kann eine Behandlung in Verdampferanlagen sinnvoll sein. Die Anwendbarkeit ist jedoch auf Abfälle begrenzt, die nicht zum Schäumen neigen. Gut wasserlösliche Abfälle mit einem niedrigen Siedepunkt, der sich

wenig von dem von Wasser unterscheidet, und Abfälle, die bei höheren Temperaturen zu unerwünschten Reaktionen neigen, sind ebenfalls nicht zur Behandlung in Verdampferanlagen geeignet. Voraussetzung für die Elimination der Spurenstoffe ist allerdings, dass das Konzentrat der Verdampferanlage anschließend einer thermischen Behandlung zugeführt wird, um die Spurenstoffe im Konzentrat schadlos zu beseitigen und einen Wiedereintritt der Spurenstoffe in Stoffkreisläufe zu verhindern.

Ein geeignetes Adsorbens für Spurenstoffe (Adsorbierbare Spurenstoffe, Gruppe 3) ist zum Beispiel Aktivkohle. Diese kann, je nach zu adsorbierendem Stoff, spezifisch dotiert werden. Die Versuche in Praxisanlagen haben gezeigt, dass die Adsorptionsleistung und damit die Eliminationsrate von Spurenstoffen stark abhängig sind von der Beladung der Aktivkohle. Daher wird die Behandlung mit Aktivkohle in der Regel als letzter Verfahrensschritt nach chemisch-physikalischer Vorbehandlung eingesetzt.

Sind bekanntermassen Spurenstoffe im Input der CP-Behandlungsanlage vorhanden, muss vor Ableiten des behandelten Abwassers überprüft werden (können), ob die Elimination durch die Wahl des Behandlungsverfahrens gelungen ist. Auch hierfür sind geeignete Testverfahren zu entwickeln, die denselben Anforderungen hinsichtlich z. B. Anwendbarkeit und Zeitbedarf wie bei der Untersuchung des Inputs genügen müssen.

Bei Indirekteinleitung der Abwässer aus CP-Behandlungsanlagen kann die im Rahmen der Novelle des AbwAG angestrebte 4. Reinigungsstufe der kommunalen Kläranlage einen Beitrag bei der Elimination der Spurenstoffe leisten. Da diese aufgrund der im Vergleich zu den von CP-Behandlungsanlagen abgeleiteten Abwasserströmen relativ großen Durchflussmengen einer kommunalen Kläranlage großzügig ausgelegt sind, kann sich hier die Abscheidung von Spurenstoffen prozessstabiler gestalten.

Ist eine spezifische Behandlung der Abfälle zur Minimierung des Eintrags der enthaltenen Spurenstoffe in das Abwasser der Anlage nicht oder nur eingeschränkt möglich, können weitere technisch/organisatorische Maßnahmen angewendet werden, wie z.B. eine Kombination der o.g. Behandlungsverfahren oder alternative Verfahren zur Behandlung der Abfälle.

Eine technisch/organisatorische Maßnahme in einer der teilnehmenden CP-Behandlungsanlagen sieht zum Beispiel vor, dass stickstoff- und organisch belastete flüssige Abfälle mit relevanten Inhalten von Spurenstoffen nach einer vorgeschalteten chemisch-physikalischen Behandlung als Entstickungsmittel in externen Verbrennungsanlagen (z.B. Kraftwerke, Müllverbrennungsanlagen, Zementklinkeranlagen) eingesetzt werden. Die Verbrennungsanlagen nutzen hierfür die selektive nichtkatalytische Reduktion (SNCR). Der Einsatz des Entstickungsmittels erfolgt dabei in einem Temperaturbereich, in dem organische Verbindungen sicher zerstört werden.

In einer weiteren technisch/organisatorischen Maßnahme können wässrige flüssige Abfälle, die relevante Mengen an Spurenstoffen enthalten, thermisch behandelt werden, z. B. in einer Sonderabfallverbrennungsanlage. Die thermische Behandlung ist vor dem Hintergrund von vorhandenen Kapazitäten zu betrachten. Bei Eindüsung in das Drehrohr oder in die Nachbrennkammer verdampfen die wässrigen Bestandteile des Abfalls, organische Komponenten werden bei Temperaturen in einem Bereich von 1.000 – 1.300°C zerstört, anorganische Anteile in die Verbrennungsrückstände (Schlacke, Filterstäube) eingebunden.

Die Ergebnisse dieses Projektes könnten der Erstellung von anlagenspezifischen Behandlungsplänen und Optimierungsmaßnahmen für zahlreiche CP-Behandlungsanlagen hinsichtlich Organisation und Management dienen, jedoch immer unter der Berücksichtigung der individuellen Anlagenkonfiguration und der angenommenen Abfälle.

Personal: Vor dem Hintergrund veränderter Kenntnisse über das Auftreten von Spurenstoffen, des möglichen Nachweises derselben in Betriebslabor der CP-Behandlungsanlage und der Möglichkeit, diese durch geeignete Behandlung zu eliminieren, kommt der laufenden Aus- und Fortbildung des Personals in den CP-Behandlungsanlagen in den verschiedenen Bereichen (Labor, Behandlung) eine besondere Bedeutung zu. Für die Beurteilung der verschiedenen technischen und organisatorischen Maßnahmen ist eine Mindestqualifikation erforderlich, z. B. durch ein fundiertes chemisches Fachwissen.

Die Ergebnisse des vorliegenden Vorhabens geben eine erste Grundlage für die zukünftige Revision des Merkblatts zu besten verfügbaren Technologien (BVT) zur Behandlung der hier betrachteten gefährlichen Abfälle. Vorgeschlagen wird die Vorbereitung einer BVT-Schlussfolgerung zur Minderung des Eintrages von relevanten Spurenstoffen aus CP-Behandlungsanlagen. Ein Diskussionsentwurf ist in Anhang K enthalten.

Weiterhin kann die Identifizierung von Eintragspfaden und des Verbleibs von Spurenstoffen in gefährlichen Abfällen dazu beitragen, die Herstellerverantwortung auf die Erfassung und Entsorgung von Spurenstoffen auszudehnen. Der Eintrag von Spurenstoffen kann bei Kenntnis der Eintragspfade ggf. eher bzw. wirksamer durch produktionsinterne Vorbehandlungsmaßnahmen minimiert werden.

Auf Basis der Erkenntnisse dieses Projektes ist der Vorschlag entwickelt worden, bei einer kommenden Überarbeitung des BREF-Merkblattes zur Abfallbehandlung ein BVT zur Minderung des Eintrages von relevanten Spurenstoffen ein BVT-Kriterium einzufügen.

## 6 Quellenverzeichnis

Abfallrahmenrichtlinie. (2008). RICHTLINIE 2008/98/EG DES EUROPÄISCHEN PARLAMENTS UND DES RATES vom 19. November 2008 über Abfälle und zur Aufhebung bestimmter Richtlinien (Abfallrahmenrichtlinie – 2008/98/EG).

Barkowski, D., Bleier, M., Günther, P., & Machtolf, M. (Dezember 2012). Programm zur Reduzierung der Gewässerbelastung aus Chemisch-Physikalischen-Anlagen. Ahlen: Ministerium für Klimaschutz, Umwelt, Landwirtschaft, Natur- und Verbraucherschutz des Landes Nordrhein-Westfalen (MKULNV NRW).

Bayerisches Landesamt für Umwelt, U. (2016). Spurenstoffe im Wasser. Augsburg: Bayerisches Landesamt für Umwelt.

BGBl II S. 803 vom 16. April, 2. (16. April 2002). Gesetz zu dem Stockholmer Übereinkommen vom 23. Mai 2001 über persistente organische Schadstoffe und dem Protokoll vom 24. Juni 1998 zu dem Übereinkommen von 1979 über POPs-Protokoll. S. 803.

Bilitewski, B. H. (2013). Abfallwirtschaft: Handbuch für Praxis und Lehre. Springer Verlag.

Bischofsberger, W. H. (1990). Lexikon der Abwassertechnik. Essen: Vulkan-Verlag.

Bonvin, F., Jost, L., Randin, L., Bonvin, E., & Kohn, T. (2016). Super-fine powdered activated carbon (SPAC) for efficient removal of micropollutants from wastewater treatment plant effluent. *Water Research*, S. 90-99.

Bundesländer auf einen Blick. (2016). Abgerufen am 14. 05 2018 von <https://www.make-it-in-germany.com/de/fuer-fachkraefte/deutschland-kennenlernen/bundeslaender-auf-einen-blick>

Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz, B. f. (2013). Vierte Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (Verordnung übergenehmigungsbedürftige Anlagen - 4. BImSchV). Bundesministeriums der Justiz und für Verbraucherschutz.

Clara, M. (2003). Das Verhalten ausgewählter organischer Spurenstoffe bei der biologischen Abwasserreinigung. Wien: Technische Universität Wien.

D. Rensch, C. A. (02 2017). Konzepte zur Überwachung der Reinigungsleistung Von weitergehenden Verfahren zur Spurenstoffelimination. Abgerufen am 07. 07 2018 von [https://www.micropoll.ch/fileadmin/user\\_upload/Redaktion/Dokumente/02\\_Faktenblaetter/Konzepte\\_Betriebs%C3%BCberwachung\\_FINAL\\_07022017.pdf](https://www.micropoll.ch/fileadmin/user_upload/Redaktion/Dokumente/02_Faktenblaetter/Konzepte_Betriebs%C3%BCberwachung_FINAL_07022017.pdf)

Eurofins. (kein Datum). Abgerufen am 07. 09 2018 von <https://cdnmedia.eurofins.com/european-east/media/1987978/aof.pdf>

Frimmel, F. H. (1999). Optische Parameter zur Stoffcharakterisierung vom Trinkwasser bis zum Abwasser. Abgerufen am 09. 05 2018 von [https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/1199/file/Frimmel1998\\_A1b.pdf](https://publishup.uni-potsdam.de/opus4-ubp/frontdoor/deliver/index/docId/1199/file/Frimmel1998_A1b.pdf)

Gräf, R. H. (2003). Der Gewässerschutzbeauftragte: das Fachwissen für die innerbetriebliche Abwasserbehandlung; mit 18 Tabellen (Vol. 564). expert verlag.

Henderson, R. B. (2009). Fluorescence as a potential monitoring tool for recycled water systems: A review. *Water Research*, S. 43: 863-881.

Hendricks, D. (2006). Water treatment unit processes: physical and chemical. CRC press.

Hillenbrand, T., & Tettenborn, F. (Juni 2017). Policy Paper - Spurenstoffstrategie des Bundes. Abgerufen am 20. 09 2018 von BMU: [https://www.bmu.de/fileadmin/Daten\\_BMU/Download\\_PDF/Binnengewasser/spurenstoffstrategie\\_policy\\_aper\\_bf.pdf](https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Binnengewasser/spurenstoffstrategie_policy_aper_bf.pdf)

- HLNUG. (2003). Bewertungen von Stoffen/Stoffgruppen. Abgerufen am 19. 09 2018 von <https://www.hlnug.de/themen/wasser/fliessgewaesser/fliessgewaesser-chemie/spurenstoffe/weitere-spurenstoffe/orientierende-messungen-gefaehrlicher-stoffe-in-wasser-schwebstoff-abwasser-und-klaerschamm/bewertungen-von-stoffenstoffgruppen.html>
- Indaver Deutschland GmbH, G. (2009). Indaver. Abgerufen am 20. 09 2018 von Chemisch-physikalische Behandlungsanlage und Sammelstelle Frankfurt: [http://indaver.de/fileadmin/indaver.de/pdf/broschueren/him/Frankfurt\\_2009.pdf](http://indaver.de/fileadmin/indaver.de/pdf/broschueren/him/Frankfurt_2009.pdf)
- Kolb, B. (2012). Gaschromatographie in Bildern: Eine Einführung. John Wiley & Sons.
- Kunz, P. M. (1995). Eigen-und Prozeßkontrolle in Kläranlagen. John Wiley & Sons.
- Mailler, R., Gasperi, J., Coquet, Y., Derome, C., Buleté, A., Vulliet, E., et al. (2016). Removal of emerging micropollutants from wastewater by activated carbon adsorption: Experimental study of different activated carbons and factors influencing the adsorption of micropollutants in wastewater. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, S. 1102-1109.
- Moldoveanu, S. C. (2016). Selection of the HPLC method in chemical analysis. Elsevier.
- Murakami, H., Aoyanagi, T., Miki, Y., Tomita, H., Esaka, Y., Inoue, Y., et al. (2018). Effects of hydrophilic monomers on sorptive properties of divinylbenzene based reversed phase sorbents. *Talanta*, S. 125-134.
- Nehlsen AG, A. (2018). Nehlsen. Abgerufen am 20. 09 2018 von Chemisch-Physikalische Behandlung: Umweltgerechte Entsorgung gefährlicher Abfälle: <https://www.nehlsen.com/recycling-entsorgung/anlagen/chemisch-physikalische-behandlung/>
- Parlar, H., & Angerhöfer, D. (1995). *Chemische Ökotoxikologie*. Berlin: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- Perinorm. (03. 09 2018). Perinorm Internet. Abgerufen am 07. 09 2018 von <https://www.perinorm.com/search.aspx>
- Pinnekamp, J., & Friedrich, H. (2006). *Membrantechnik für die Abwasserreinigung*.
- Rest Oil GmbH & Ko. KG, K. (2018). Restoil. Abgerufen am 20. 09 2018 von Modernste Verfahren, um wassergefährdende Stoffe unschädlich zu machen.: <https://restoil.de/chemisch-physikalische-behandlungsanlage.html>
- Sacher, F. (2013). Wie wird unser Trinkwasser überwacht? Neue Nachweismethoden. *Chemie in unserer Zeit*, S. 47 (3), 148-156.
- Schrader, C. (2007). *Verfahrenstechnische Möglichkeiten zur Entfernung von organischen Spurenstoffen aus kommunalem Abwasser*. Oldenbourg Industrieverlag.
- Schulz, W. W. (2010). Abgerufen am 15. 07 2018 von Anreicherungsfree Bestimmung von organischen Spurenstoffen: <http://www.aktuelle-wochenschau.de/main-navi/archiv/wasserchemie-2014/kw18-anreicherungsfree-bestimmung-von-organischen-spurenstoffen.html>
- Sixt, S. (1998). *Methoden zur Abschätzung umweltrelevanter physikalisch-chemischer und ökotoxikologischer Eigenschaften organischer Substanzen aus der Molekülstruktur*. Herbert Utz Verlag.
- Statistische Ämter, d. B. (29. 07 2017). Statistikportal. Abgerufen am 19. 09 2018 von Entsorgung von Abfällen nach Abfallkategorien: <https://www.statistikportal.de/de/entsorgung-von-abfaellen-nach-abfallkategorien>
- Statistisches Bundesamt, B. (2014). *Abfallentsorgung Fachserie 19 Reihe 1 – 2014*. Artikelnummer: 2190100147004.
- Statistisches Bundesamt, B. (2015). *Abfallentsorgung Fachserie 19 Reihe 1 – 2015*. Artikelnummer: 2190100157004.

- Statistisches Bundesamt, B. (2015). Umwelt Abfallbilanz (Abfallaufkommen/-verbleib, Abfallintensität, Abfallaufkommen nach Wirtschaftszweigen). Artikelnummer: 5321001157004.
- Statistisches Bundesamt, B. (2016). DESTATIS. Von Abfallentsorgung Fachserie 19 Reihe 1 - 2016. Artikelnummer: 2190100167004: [https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallentsorgung-2190100167004.pdf?\\_\\_blob=publicationFile&v=4](https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Umwelt/Abfallwirtschaft/Publikationen/Downloads-Abfallwirtschaft/abfallentsorgung-2190100167004.pdf?__blob=publicationFile&v=4) abgerufen
- Statistisches Landesamt, B. (2016). Statistisches Landesamt, Baden-Württemberg. Abgerufen am 17. 09 2018 von Glossar: <https://www.statistik-bw.de/Glossar/340>
- Steinhäuser, K., Simmchen, B., Fehrenbach, H., Siebel-Sauer, & A. (2005). Wassergefährdungsklasse und Zubereitungsrichtlinie. Möglichkeiten zur Harmonisierung. In: Umweltpolitik und Gesetzgebung. Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, S. 176-180.
- SUC GmbH, S. (2018). SUC. Abgerufen am 20. 09 2018 von Standort Freiberg: <http://www.suc-gmbh.de/2014-10-09-15-19-44/standort-freiberg.html>
- TAUW Umwelt, G. (1995). Grundwasserreinigung bei der Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen. Von Landesamtstalt für Umwelt Baden-Württemberg: [http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16793/grundwasserreinigung\\_bearbeitung\\_altlasten.pdf?command=downloadContent&filename=grundwasserreinigung\\_bearbeitung\\_altlasten.pdf](http://www4.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/16793/grundwasserreinigung_bearbeitung_altlasten.pdf?command=downloadContent&filename=grundwasserreinigung_bearbeitung_altlasten.pdf) abgerufen
- Th. Lange, F. M. (1995). Automated Ion-pair extraction and Ion-pair chromatography—a versatile method in water analysis for the determination of highly polar micropollutants. Acta hydrochimica et hydrobiologica, S. 23 (1).
- Thaler P., Ö. A. (2010). Chemisch-Physikalische Behandlungsanlagen in Österreich . Wien.
- Thieme.Römpf. (kein Datum). Abgerufen am 12. 06 2018 von Wassergefährdungsklassen: <https://roempf.thieme.de/roempf4.0/do/data/RD-23-00310>
- Thomé-Kozmiensky, K. (1987). Behandlung von Sonderabfällen 1. Berlin: EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH.
- Thull, C. (2018). Ermittlung und Analyse von Behandlungsverfahren für gefährliche flüssige Abfälle. Aachen: RWTH. über das Europäische Abfallverzeichnis, V. (2001). AVV—Abfallverzeichnis-Verordnung vom 10. 01. 2001.
- Umweltbundesamt. (2006). Abgerufen am 14. 05 2018 von Merkblatt über die besten verfügbaren Techniken für Abfallbehandlungsanlagen: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/wirtschaft-konsum/beste-verfuegbare-techniken/sevilla-prozess/bvt-merkblaetter-dur>
- Umweltbundesamt. (24. 05 2013). Chemisch-Physikalische Behandlung. Abgerufen am 19. 09 2018 von <https://www.umweltbundesamt.de/themen/abfall-ressourcen/entsorgung/chemisch-physikalische-behandlung>
- Umweltbundesamt. (10. 08 2017). Abfallaufkommen. Abgerufen am 17. 09 2018 von <https://www.umweltbundesamt.de/daten/ressourcen-abfall/abfallaufkommen#textpart-9>
- Umweltbundesamt. (19.04.2021) Reform des Abwasserabgabengesetzes - mögliche Aufkommens und Zahllasteffekte. Abgerufen am 23.03.2022 von [https://www.umweltbundesamt/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-04-19\\_texte\\_60-2021\\_novelle\\_awag.pdf](https://www.umweltbundesamt/sites/default/files/medien/5750/publikationen/2021-04-19_texte_60-2021_novelle_awag.pdf)
- Url, M. H. (2016). Detektion von organischen Spurenstoffen in kommunalen Kläranlagen. Korrespondenz Abwasser, Abfall, S. 63, Nr. 2, S. 119-123.
- Voigt, H. J. (2013). Geochemie: Band 6: Geochemie (Vol. 6). Springer-Verlag.

Wagner, M. M. (2010). Stand der Technik bei der chemisch-physikalischen Behandlung von flüssigen Abfällen. Leoben.

Wasserrahmenrichtlinie. (2000). Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen .

Wasser-Wissen. (kein Datum). Wasser-Wissen. Abgerufen am 15. 07 2018 von Lexikon: <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon.htm>

Wode, F. (2014). Screening und Quantifizierung organischer Spurenstoffe mittels UPLC-HRMS: Entwicklung von Methoden und Anwendung zur Unterscheidung historischer und aktueller Spurenstoffe in einem ehemaligen Rieselfeld.

Yao, M., Woo, Y., Tijing, L., Choi, J., & Shon, H. (2018). Effects of volatile organic compounds on water recovery from produced water via vacuum membran distillation. *Desalination*, S. 146-155.

## A Anhang III Abfallrahmenrichtlinie 2008/98/EG

Kriterium	Eigenschaft	Beschreibung
HP 1	Explosiv	Abfall, der durch chemische Reaktion Gase solcher Temperatur, solchen Drucks und solcher Geschwindigkeit erzeugen kann, dass hierdurch Zerstörungen in der Umgebung eintreten.
HP 2	Brandfördernd	Abfall, der in der Regel durch Zufuhr von Sauerstoff die Verbrennung anderer Materialien verursachen oder begünstigen kann.
HP 3	Entzündbar (nur flüssiger Abfall relevant)	flüssiger Abfall mit einem Flammpunkt von unter 60 °C oder Abfälle von Gasöl, Diesel und leichten Heizölen mit einem Flammpunkt von > 55 °C und ≤ 75 °C
HP 4	Reizend – Hautreizung und Augenschädigung	Abfall, der bei Applikation Hautreizungen oder Augenschädigungen verursachen kann.
HP 5	Spezifische Zielorgan-Toxizität (STOT)/Aspirationsgefahr	Abfall, der nach einmaliger oder nach wiederholter Exposition Toxizität für ein spezifisches Zielorgan verursachen kann oder akute toxische Wirkungen nach Aspiration verursacht.
HP 6	Akute Toxizität	Abfall, der nach oraler, dermaler oder Inhalationsexposition akute toxische Wirkungen verursachen kann.
HP 7	Karzinogen	Abfall, der Krebs erzeugen oder die Krebshäufigkeit erhöhen kann.
Enthält ein.		
HP 8	Ätzend	Abfall, der bei Applikation Hautverätzungen verursachen kann.
HP 9	Infektiös	Abfall, der lebensfähige Mikroorganismen oder ihre Toxine enthält, die im Menschen oder anderen Lebewesen erwiesenermaßen oder vermutlich eine Krankheit hervorrufen.
HP 10	Reproduktionstoxisch	Abfall, der Sexualfunktion und Fruchtbarkeit bei Mann und Frau beeinträchtigen und Entwicklungstoxizität bei den Nachkommen verursachen kann.
HP 11	Mutagen	Abfall, der eine Mutation, d. h. eine dauerhafte Veränderung von Menge oder Struktur des genetischen Materials in einer Zelle verursachen kann.
HP 12	Freisetzung eines akut toxischen Gases	Abfall, der bei Berührung mit Wasser oder einer Säure akut toxische Gase freisetzt.
HP 13	Sensibilisierend	Abfall, der einen oder mehrere Stoffe enthält, die bekanntermaßen sensibilisierend für die Haut oder die Atemwege sind.
HP 14	Ökotoxisch	Abfall, der unmittelbare oder mittelbare Gefahren für einen oder mehrere Umweltbereiche darstellt oder darstellen kann.
HP 15	Kann gefahrenrelevante Eigenschaften entwickeln	Abfall, der eine der oben genannten gefahrenrelevanten Eigenschaften entwickeln kann, die der ursprüngliche Abfall nicht unmittelbar aufweist

## B Zuordnung der Abfälle zu dem jeweiligen Input

Stand 2015		Anzahl	Input insgesamt	Davon		
				im eigenen Betrieb erzeugte Abfälle	angeliefert aus dem Inland	angeliefert aus dem Ausland
		in 1.000 t				
<b>Nr.</b>	<b>CP-Behandlungsanlagen insgesamt</b>	<b>534</b>	<b>9364,6</b>	<b>3931,9</b>	<b>5021,5</b>	<b>411,2</b>
1	Abfälle aus der Holzverarbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Pappe	10	1975,8	1972,1	3,7	-
2	Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke	135	1567,4	477,2	980,7	109,5
3	Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen; Nichteisen-Hydrometallurgie	179	1336,8	910,7	380,7	45,5
4	Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)	36	998,9	1,2	988,8	8,9
5	Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen	147	704,7	85,6	613,7	5,4
6	Ölabfälle und Abfälle aus flüssigen Brennstoffe (außer Speiseöle und Ölabfälle, die unter 05, 12 und 19 fallen)	139	642,3	57,2	557,8	27,3
7	Abfälle aus thermischen Prozessen	67	578,6	72,2	377,8	128,6
8	Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind	141	408,4	13,7	359,4	35,4
9	Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen	120	379,9	128,9	240,9	10,2
10	Abfälle aus anorganisch-chemischen Prozessen	98	241,8	66	158,8	17
11	Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau, Teichwirtschaft, Forstwirtschaft, Jagd und Fischerei sowie der Herstellung und Verarbeitung von Nahrungsmitteln	37	171,7	123,9	47,8	0
12	Abfälle aus der Herstellung, Zubereitung und Vertrieb von Beschichtungen, Klebstoffen, Dichtmassen und Druckfarben	87	157,5	20,7	132,1	4,7
13	Abfälle, die beim Aufsuchen, Ausbeuten und Gewinnen sowie bei der physikalischen und chemischen Behandlung von Bodenschätzen entstehen	28	45,5	0	45,4	-
14	Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen	43	44,4	0,1	41,6	2,8
15	Abfälle aus organischen Lösemitteln, Kühlmitteln und Treibgasen	42	34,4	0	27,8	6,6
16	Verpackungsabfall, Aufsaugmassen, Wischtücher, Filtermaterialien und Schutzkleider (anderweitig nicht genannt)	35	24,6	0,6	22,9	1,1
17	Abfälle aus der Leder-, Pelz-, und Textilindustrie	21	21	1,2	13,8	5,9
18	Abfälle aus der fotografischen Industrie	32	12,3	0,6	11	0,7
19	Abfälle aus der Erdölraffination, Erdgasreinigung und Kohlepyrolyse	29	9,8	-	8,3	1,6
20	Abfälle aus der humanmedizinischen oder tierärztlichen Versorgung und Forschung (ohne Küchen- und Restaurantabfälle, die nicht aus der unmittelbaren Krankenpflege stammen)	17	8,6	0	8,3	0,2

Quelle: Statistisches Bundesamt (2016)

## C Liste aller Spurenstoffe der 1. Entscheidungsphase – 104 Stoffe

### Name des Spurenstoffes

(3-Iodprop-2-ynyl)-N-butylcarbamat

(Dimethylamino)propanole

[(Carbamoylmethyl)imino]diessigsäure

1,2-Dichlorethan

2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether

2,2',4,4'-Tetrabromdiphenylether

2H-Isothiazol-3-on-Derivate

2-Mercaptobenzothiazol

4-Chloro-3-methylphenol

4-Methylimidazol

4-tert-Butylbenzoesäure

5-Chlor-2-methyl-2H-isothiazol-3-on

Acetylenamin

Alachlor

Alkylphenolpolyglycolether

Anthracen

Atrazin

Benzaldehyd

Benzalkoniumchloride

Benzimidazol

Benzol

Benzothiazol

Benzotriazol

Bis(2-ethylhexyl)phthalat

Bisphenol A

Bromierte Diphenylether

Butandiol

Butylacrylat

Butylglycol

Carbendazim

Chlorfenvinphos

Name des Spurenstoffes
Chlorphenole
Chlorpyrifos
Dibenzothiophen
Dichlormethan
Dichlorophen
Diethylamin
Diethylentriaminpentaessigsäure
Dihexylphthalat / Dicaprylphtalat
Diisodecylphthalat
Diisononylphthalat
Dimethylamin
Dimethylether
Dimethylformamid
Dimethylphenol
Dimethylsulfat
Dimethylsulfid
Dithiocarbamate
Diuron
Endosulfan
Ethylbenzol
Ethylendiamintetraessigsäure
Fluoranthen
Glyphosat
Hexachlorbenzol
Hexachlorbutadien
Hydrochinon
Isoproturon
Isothiazolinone
Methylisothiazolone
Metol
Naphthalin
Nitrilotriessigsäure

**Name des Spurenstoffes**

Nonylphenol

Nonylphenoethoxylate

o-,m-, p-Kresol

Octylphenol

o-Phenylphenol

p,p'-Dichlor-2,2-diphenyl-1,1,1-trichlorethan

Pentachlorbenzol

Pentachlorphenol

Perfluordekansäure

Perfluorheptansäure

Perfluornonansäure

Perfluoroctansäure

Perfluoroctansulfonat

Phenidon

Phenol

Phenoxyethanol

polychlorierte Biphenyle

Polychlorierte Dibenzo[1,4]dioxine und Dibenzofurane

Polyethylenglycole

Polyvinylidenfluoride

Propargylalkohol

Simazin

Sulfolan

Terephtalsäure

Tetrachlorethylen

Tetrachlorkohlenstoff

Thiosulfate

Toluol

Tributylphosphat

Trichlorbenzole

Trichlorethylen

Trichlorphenole

**Name des Spurenstoffes**

Triclosan

Triethylphosphat

Trifluralin

Triphenyl phosphate

Tris(1,3-dichlorisopropyl)phosphat

Tris(2-butoxyethyl) phosphate

Tris(2-chlorisopropyl)phosphat

Tris(2-chloroethyl) phosphate

Xylol

Quelle: (Barkowski, Bleier, Günther, & Machtolf, 2012) (Wasserrahmenrichtlinie, 2000), (HLNUG, 2003)

## D CP-Behandlungsanlage relevante Spurenstoffe (nach 2. Entscheidungsphase) - 44 Stoffe

Spurenstoff	Gruppe	Biologische Abbaubarkeit			Umwelt		WGK				WRRL für Gewässer			
		gut (>90 %)	mittel (90 % - 50 %)	schwer (<50 %)	LC <sub>50</sub> min Fisch [mg/L]	LC <sub>50</sub> max Fisch [mg/L]	0	1	2	3	prioritär gefährlich	prioritär aber nicht gefährlich	k.A .	
Tris(1,3-dichlorisopropyl)phosphat		-	-	-	3,6	5,1	-							x
Tris(2-chlorisopropyl)phosphat				x	1,1	51		x						x
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether				x	-	-	-							x
2,2',4,4'-Tetrabromdiphenylether				x	-	-	-							x
Tris(2-chloroethyl)phosphate				Weder aerob noch anaerob	66						x			x
Bisphenol A					4,6	17,9			x					x

Spurenstoff	Gruppe	Biologische Abbaubarkeit			Umwelt		WGK			WRRL für Gewässer	
Benzotriazol	Komplexbildner			x	25			x			x
Diethylentriamin-pentaessigsäure				x	1120 (Gestis)			x			x
Ethylendiamintetra-essigsäure				x	300	2000		x			x
Nitrilotriessigsäure		x			100	500		x			x
4-Chloro-3-methylphenol	LHKW / Phenole / BTEX	x				0,92		x			x
Dichlorophen				x	3,6	5,4			x		x
Hydrochinon / Hydroquinone		x			0,05	0,17			x		x
Nonylphenol			56-78 %		0,135–1,3 (Römpf), 0,05-0,92 (Gestis)	1,28			x	x	
Nonylphenoethoxylate				x	0,135–1,3 (Römpf), 0,05-0,92 (Gestis)	1,28		x		x	

Spurenstoff	Gruppe	Biologische Abbaubarkeit			Umwelt		WGK			WRRL für Gewässer	
Octylphenol				x	0,285-3,86 (Gestis)	0,26		x			x, gilt zu überprüfen
o-Phenylphenol		x			4	110		x			x
Tetrachlorethylen				x	5	135			x		x
(3-Iodprop-2-ynyl)-N-butylcarbammat	Pestizide		x		0,067 (GESTIS)	1,9 (GESTIS)			x		x
2H-Isothiazol-3-on-Derivate / Benzisothiazolinone		-	-	-	1,6 (GESTIS)	16 (GESTIS)		x			x
Anthracen		Nur aerob, nicht anaerob.			0,00127 (GESTIS)	17,8 (GESTIS)		x		x, gilt zu überprüfen	
Benzalkoniumchloride				x	0,31 (GESTIS)	1,9 (GESTIS)		x			x
Hexachlorbutadien				Persistenz	0,09 (Gestis)	1,6 (GESTIS)			x	x	
Isothiazolinone		x			0,19 (GESTIS)	2,13 (GESTIS)		x			x
Trichlorphenole			x		0,249 (GESTIS) 0,5 (Römpp)	9,7 (GESTIS) 3 (Römpp)		x	x		x

Spurenstoff	Gruppe	Biologische Abbaubarkeit		Umwelt	WGK			WRRL für Gewässer		
Triclosan				x	0,25 (GESTIS)	0,602 (GESTIS)		x		x
Perfluordekansäure	PFAS			x	-	-			x	x
Perfluorononansäure				x	-	80,93			x	x
Perfluoroctansäure				x	337 to 672	499		x		x
Perfluoroctansulfonat				x	7,8	49,27		x	x	
Polyvinylidenfluoride				x	-	-	-			x
2-Mercaptobenzothiazol / 2-Benzothiazolthiol	Pharmaka / Industriechemikalien			Aerob, nicht leicht biologisch abbaubar, 2,5 %	0,42 (GESTIS)	7,6 (GESTIS)		x		x
4-Methylimidazol			>60 %		190	220		x		x
4-tert-Butylbenzoesäure				41 - 46 %; 28 d	4 (GESTIS)	33 (GESTIS)			x	x
Chlorphenole				x	2-Chlorphenol:6,2 3-Chlorphenol:3,99 4-Chlorphenol:1,91 (GESTIS)	2-Chlorphenol:20,2 3-Chlorphenol:4,5 4-Chlorphenol		x		x

Spurenstoff	Gruppe	Biologische Abbaubarkeit			Umwelt		WGK				WRRL für Gewässer		
						: 9,5 (GESTIS)							
Dibenzothiophen			Persistent, langsam biologisch abbaubar in Gewässer n		0,7 (GESTIS)	0,7 (GESTIS)				x			x
Phenoxyethanol		>70 % ; 28d			25	855		x					x
Fluoranthen				x	0,0001 (Gestis)	4 (Gestis)			x			x	
Sulfolan				10.1 % ; 14 d	>100			x					x
Bis(2-ethylhexyl)phthalat		x			1110 (Gestis)							x	
polychlorierte Biphenyle				x				-					x
Tributylphosphat		x			4,2	18			x				x
Triphenylphosphate		Eliminatio n in KA: 63-96 %			0,31, 0,3 (Gestis)	290 (Gestis)			x				x

Spurenstoff	Gruppe	Biologische Abbaubarkeit			Umwelt	WGK			WRRL für Gewässer		
Tris(2-butoxyethyl)phosphate		x			24		x				x

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## E CP-Behandlungsanlagen-relevante Spurenstoffe nach chemischen und physikalischen Eigenschaften (3. Entscheidungsphase) – 60 Stoffe

CP-B relevante Spurenstoffe	Siedepunkt [°C]	Henry-Konstante [Pa m <sup>3</sup> /mol]	Molekulargewicht [g/mol]	Löslichkeit in Wasser [mg/L]	log(K <sub>ow</sub> )
Bisphenol A	360	4,05 x 10 <sup>-6</sup>	228,29	300	3,32
polychlorierte Biphenyle	600-900	1,013 - 101,33	188,65 - 498,66	0,01-0,3	4,46-8,18
Triphenylphosphate	400	0,19 - 0,38	326,29	1,9	4,59
Tris(1,3-dichlorisopropyl) – phosphate	251,67	2,63 x 10 <sup>-4</sup>	430,91	7	3,65
Tris(2-butoxyethyl) – phosphate	215 - 228	1,22 x 10 <sup>-6</sup>	398,48	1 100	3,75
Tris(2-chlorisopropyl) –phosphate	290 (Gestis), >270 (Römp)	6,08 x 10 <sup>-3</sup>	327,55	1 080 (Gestis), 900 (Römp)	2,59
Tris(2-chloroethyl) – phosphate	192	0,33	285,49	7 943	1,43 - 1,78
Benzotriazol	350	0,032	119,13	19 000	1,44
Diethylentriaminpenta-essigsäure	-	-	393,35	4 800	-
Ethylendiamintetra-essigsäure	-	-	452,24	400	-3,86
Nitrilotriessigsäure	-	-	191,14	1 280	-3,81
4-Chloro-3-methylphenol	235	0,24	142,58	3 830	3,1
Dichlorophen	177 - 178	1,22 x 10 <sup>-7</sup>	263,13	30	4,26
Hydrochinon	285 - 287	4,76 x 10 <sup>-6</sup>	110,11	70 000	0,59
Nonylphenol	295 - 304	3,45	220,35	7	5,76

CP-B relevante Spurenstoffe	Siedepunkt [°C]	Henry-Konstante [Pa m <sup>3</sup> /mol]	Molekulargewicht [g/mol]	Löslichkeit in Wasser [mg/L]	log(K <sub>ow</sub> )
Nonylphenoethoxylate	250	2,48 x 10 <sup>-4</sup>	-	>1 000	4,17 - 4,21
Octylphenol	279 - 281	0,7	206,33	<1 000	5,28
o-Phenylphenol	286	0,15	170,21	200	3,09
Tetrachlorethylen	121	1 793,45	165,83	206	3,4
Trichlorphenole	253	0,16	197,45	1 190	3,72
(3-Iodprop-2-inyl) -N-butylcarbamate	-	0,012	281,09	168 (Gestis), 156 (Römpp)	2,81 (Gestis), 2,4 (PubChem)
Benzisothiazolinone	327,6	5,07 x 10 <sup>-5</sup>	151,18	1 280	0,76
Anthracen	340 (Gestis, Römpp), 341,3 (PubChem)	4,94	178,23	0,043 4	4,5
Benzalkoniumchloride	>150	-	516,37	4 000 000	-
Hexachlorbutadien	210 - 220	1 043,65	260,76	3,2	4,78
Isothiazolinone	-	4,96	-	706 000 - 751 000	0,401
Triclosan	120	2,13 x 10 <sup>-3</sup>	289,55	10	4,76
Perfluordekansäure	218	-	514,09	-	-
Perfluorononansäure	218	-	464,08	0,062 5	5,48
Perfluoroctansäure	192,4 (Gestis), 189-192 (Römpp)	0,47	414,07	3 400	6,3
Perfluoroctansulfonat	249	3,37 x 10 <sup>-3</sup> -3,71 x 10 <sup>-3</sup>	499,14	0,032	4,49
Polyvinylidenfluoride	-83	40 530	64,04	164,9	1,24

CP-B relevante Spurenstoffe	Siedepunkt [°C]	Henry-Konstante [Pa m <sup>3</sup> /mol]	Molekulargewicht [g/mol]	Löslichkeit in Wasser [mg/L]	log(K <sub>ow</sub> )
2-Mercaptobenzothiazol	>260 *	4,15 x 10 <sup>-6</sup>	167,24	118	2,41
4-Methylimidazol	263	0,42	82,11	8 250	0,23
4-tert-Butylbenzoesäure	>280 *	-	178,23	300	3,85
Chlorphenole	4-Chlorphenol: 220	4-Chlorphenol: 6565,8	128,56	27 000	2,39
	3-Chlorphenol: 214	3-Chlorphenol: 8511,3		27 700	2,5
	2-Chlorphenol: 174			28 500	2,15
Dibenzothiophen	332 - 333	3,44	184,26	1,47	4,38
Fluoranthren	384	0,96	202,26	0,2 - 0,26	5,2 (Gestis), 5,16 (PubChem)
Sulfolan	285	0,49	120,16	1 266 000	-0,77
Bis(2-ethylhexyl) -phthalat	385	0,027	390,56	0,27	7,6
Phenoxyethanol	245	4,96 x 10 <sup>-4</sup>	138,17	24 000	1,6
Tributylphosphat	293	0,14	260,32	1 000 (Gestis) / 6 000 (Römpp)	4
2,2',4,4',5- Pentabromdiphenyl-ether	200 - 300 *	2,03	564,69	0,000 000 9	6,84
2,2',4,4'- Tetrabromdiphenylether	99,2	-	564,69	-	-
Phenanthren	340	4,26	178,23	1,15	4,46
Chinolin	238	0,17	129,16	6,11	2,03
Indol	243	5,40E-02	117,15	3560	2,14

CP-B relevante Spurenstoffe	Siedepunkt [°C]	Henry-Konstante [Pa m <sup>3</sup> /mol]	Molekulargewicht [g/mol]	Löslichkeit in Wasser [mg/L]	log(K <sub>ow</sub> )
2-Methylchinolin	247		143,18	2500	2,59
6-Methylchinolin	259		143,18	0,001	2,53
2,4-Dimethylchinolin	265		157,21	1808	
2,6-Dimethylchinolin	267		157,21		
Acridin	346	0,041	179,22	38,4	3,4
Carbazol	355	0,012	167,21	1,8	3,72
PFBA	121		213,99	447,26	1,43
H4PFOS			428,17	658000	3,73
PFPeA	113	2,97E-10	263,98		1,35
PFHxA	157	0,0000238	314,05	15,7	2,85
PFHpA	175	1722,525	364,06	3,65	4,15
PFBS	211	4,4908	300,10	344	1,82
PFHxS	239	40,53	400,12	6,2	3,16

\*Zersetzungstemperatur (Entnommen aus Gestis, Römpf, PubChem und EPA)

Quelle: Eigene Darstellung; ISA

## F Auswahlkriterien zur Bestimmung der endgültigen Spurenstoffe

CP-B relevante Spurenstoffe	Chromatographie Analysemethode / Stoffgruppe		Begründung Aussortierung	Begründung Aufnahme Stoffliste
	Methode	Grp.		
Bisphenol A	LC	Phenole	gute biologische Abbaubarkeit	In NRW in Indirekteinleiterscreening nachgewiesen
polychlorierte Biphenyle	GC	PCB		Methode vorhanden
Triphenylphosphate	GC	PFM	gute biologische Abbaubarkeit, keine Methode am ISA vorhanden	Wird in Methode miterfasst
Tris(1,3-dichlorisopropyl) - phosphate	GC	PFM		Methode vorhanden
Tris(2-butoxyethyl) - phosphate	GC	PFM	Abbaubarkeit, KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	Wird in Methode miterfasst
Tris(2-chlorisopropyl) - phosphate	GC	PFM		In NRW in Indirekteinleiterscreening nachgewiesen
Tris(2-chloroethyl) - phosphate	GC	PFM		Methode vorhanden
Benzotriazol	LC	G1		In Umfrage als relevant eingestuft
Diethylentriamin-pentaessigsäure	GC	KB		Methode vorhanden
Ethylendiamin-tetraessigsäure	GC	KB		Methode vorhanden

CP-B relevante Spurenstoffe	Chromatographie Analysemethode / Stoffgruppe		Begründung Aussortierung	Begründung Aufnahme Stoffliste
Nitrilotriessigsäure	GC	KB	gute biologische Abbaubarkeit	Wird in Methode miterfasst
4-Chloro-3-methylphenol	GC	LCKW	Abbaubarkeit, KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Dichlorophen	GC	LCKW	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Hydrochinon	GC	Phenole	Abbaubarkeit, KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Nonylphenol	LC	Phenole		Methode vorhanden
Nonylphenoethoxylate	LC	Phenole	keine Methode am ISA vorhanden	
Octylphenol	LC	Phenole		Methode vorhanden
o-Phenylphenol	LC	Phenole	Abbaubarkeit, KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	Wird in Methode miterfasst
Tetrachlorethylen	GC	LCKW	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Trichlorphenole	GC	LCKW	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
(3-Iodprop-2-ynyl) -N-butylcarbamate	GC	Biozide	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Benzisothiazolinone	LC	Biozide	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	

CP-B relevante Spurenstoffe	Chromatographie Analysemethode / Stoffgruppe		Begründung Aussortierung	Begründung Aufnahme Stoffliste
Anthracen	GC	PAK	gute biologische Abbaubarkeit	
Benzalkoniumchloride	LC	Biozide	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Hexachlorbutadien	GC	LCKW	keine Methode am ISA vorhanden	
Isothiazolinone	LC	Biozide	Abbaubarkeit, KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Triclosan	GC	Biozide	Abbaubarkeit, KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Perfluordekansäure	LC	PFAS		Methode vorhanden
Perfluornonansäure	LC	PFAS		Methode vorhanden
Perfluoroctansäure	LC	PFAS		Methode vorhanden
Perfluoroctansulfonat	LC	PFAS		Methode vorhanden
Polyvinylidenfluoride	GC	PFAS	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
2-Mercaptobenzothiazol	LC	Biozide	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
4-Methylimidazol	LC	Biozide	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
4-tert-Butylbenzoesäure	GC	Carbonsäuren	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	

CP-B relevante Spurenstoffe	Chromatographie Analysemethode / Stoffgruppe		Begründung Aussortierung	Begründung Aufnahme Stoffliste
Chlorphenole	GC	Chlorphenole	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Dibenzothiophen	GC	Schwefelorganische Verbindungen	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Fluoranthen	GC	PAK		Wird in Methode miterfasst
Sulfolan	GC	Schwefelorganische Verbindungen	keine Methode am ISA vorhanden	
Bis(2-ethylhexyl) - phthalat	GC	Weichmacher		Stellvertreter Weichmacher
Phenoxyethanol	GC	Alkohole		In NRW in Indirekteinleiterscreening nachgewiesen
Tributylphosphat	GC	Phosphor-Flammschutzmittel	gute biologische Abbaubarkeit	Wird in Methode miterfasst
2,2',4,4',5-Pentabromdiphenylether	GC	PBDE	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
2,2',4,4'-Tetrabromdiphenylether	GC	PBDE	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	In NRW in Indirekteinleiterscreening nachgewiesen
2-(2-butoxyethoxy)-ethanol	GC	Alkohole	gute biologische Abbaubarkeit	
Benzyl Alcohol	GC	Alkohole	leicht biologisch abbaubar, wird als Konservierungsstoff und medizinischer Hilfsstoff genutzt	

CP-B relevante Spurenstoffe	Chromatographie Analysemethode / Stoffgruppe		Begründung Aussortierung	Begründung Aufnahme Stoffliste
Phenol	GC	Phenole	Abbaubarkeit, KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Cyclohexanamine, N-cyclohexyl-	GC	Amine	KA keine Analytik verfügbar, nicht in NRW nachgewiesen, NR nicht relevant	
Perfluorbutansulfonsäure Isomeren	LC	PFAS		Methode vorhanden
Perfluorhexansäure	LC	PFAS		Methode vorhanden
Perfluorhexansulfonsäure Isomeren	LC	PFAS		Methode vorhanden
Polychlorierte Deibenzo-p-dioxine und Dibenzofurane PCDD/DF	GC	Dioxine		In Umfrage als relevant eingestuft
N-Heterocyclen	GC	Heterocyclen		In Umfrage als relevant eingestuft
Phenanthren	GC	PAK		Wird in Methode miterfasst
Aceton	GC	Lösungsmittel		In Frankfurt relevant

## G Fragebogen an CP-Behandlungsanlagenbetreiber

Umwelt  
Bundesamt

FiW

RWTH AACHEN  
UNIVERSITY

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen (FiW) e.V.

### Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von CP-Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle in Gewässer

Sehr geehrte Damen und Herren,

herzlich willkommen bei unserer Umfrage. Wir, das Umweltbundesamt und das Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH e.V. (FiW) freuen uns, dass Sie an dieser Umfrage teilnehmen. Das Thema Spurenstoffe gewinnt mehr und mehr an Bedeutung und betrifft ein großes Spektrum industrieller Abwässer. Im Rahmen des vom Umweltbundesamt geförderten Projektes „Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von CP-Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle in Gewässer“ wird der Beitrag von CP-Anlagen auf die Spurenstoffeinträge in die Gewässer untersucht. Ebenfalls werden die technischen und organisatorischen Maßnahmen zur Minimierung des Eintrages von Spurenstoffen aus CP-Behandlungsanlagen recherchiert, bewertet und Empfehlungen für die Fortschreibung des BVT Merkblattes zur Abfallbehandlung sowie für die Anpassung des Anhangs 27 der Abwasserverordnung erarbeitet.

Das Umweltbundesamt führt zusammen mit dem FiW und weiteren Kooperationspartnern diese Umfrage durch, welche die auf CP-Behandlungsanlagen behandelten Abfallarten, die angewendeten Technologien und Verfahren erfassen sowie nach statistischer Relevanz auswerten soll.

Die Qualität der zur Verfügung gestellten Daten hat daher großen Einfluss auf eine realistische Bewertung des Spurenstoffproblems und die Ableitung fachlich begründeter und ausgewogener Schlussfolgerungen. Wir bitten Sie daher sehr um eine sorgfältige Bearbeitung.

Uns ist bewusst, dass Sie sich der Sicherheit Ihrer Daten und damit der Anonymität Ihrer Antworten gewiss sein möchten. Wir versichern Ihnen hiermit, dass die geographischen Angaben sowie die Kontaktdaten von den sonstigen Daten in getrennten Ergebnisdateien gespeichert werden und Ihren Antworten nicht zugeordnet werden können.

Wir danken ganz herzlich für Ihre Unterstützung in diesem Vorhaben.

Ausgefüllter Fragebogen bitte an das FiW zurücksenden:

Frau Alejandra Lenis

E-Mail: lenis@fiw.rwth-aachen.de

Fon: +49 0241 802 68 42

Forschungsinstitut für Wasser- und Abfallwirtschaft an der RWTH Aachen e.V.

Kackertstraße 15 - 17

52056 Aachen

## Basisdaten der Anlage

Name der Abfallbehandlungsanlage

Standort

Straße, Ort, Postleitzahl

Telefon / E-Mail/ Homepage

Einstufung nach 4. BlmschV (Anhang I der Verordnung)

Einstufung nach IED (Anhang 1 der Richtlinie)

Anlageneigentümer / Genehmigungsinhaber

Fertigstellung der Anlage nach letzter wesentlicher Änderung [Jahr]

Gesamte genehmigte Anlagenkapazität für das Jahr 2017 [t/a]

Gesamter tatsächlicher Durchsatz für das Jahr 2017 [t/a]

## Anlagenoutput

### Abwasser nach Behandlung

Direkteinleitung [m<sup>3</sup>/a]

Indirekteinleitung [m<sup>3</sup>/a]

Filterkuchen [t/a]

Altöl [t/a]

Ölhaltige Schlämme [t/a]

Konzentrat aus Verdampfung oder Umkehrosmose [t/a]

Sonstiges:

Behandelte Abfälle			
Welche Art von Abfällen werden vor Ort behandelt?			
<input type="checkbox"/>	Anorganisch		
<input type="checkbox"/>	Organisch		
<input type="checkbox"/>	Beide		
Werden wasserbasierte flüssige Abfälle vor Ort behandelt?			
<input type="checkbox"/>	Ja falls ja, Wassergehalt in %		
<input type="checkbox"/>	Nein		
Aus welchen Industriebereichen stammen die Abfällen?			Menge [t/a]
			Davon gefährliche Abfälle
<input type="checkbox"/>	01. Abfälle, die beim Aufsuchen, Ausbeuten und Gewinnen sowie bei der physikalischen und chemischen Behandlung von Bodenschätzen entstehen		
<input type="checkbox"/>	02. Abfälle aus Landwirtschaft, Gartenbau, Teichwirtschaft, Forstwirtschaft, Jagd und Fischerei sowie der Herstellung und Verarbeitung von Nahrungsmitteln		
<input type="checkbox"/>	03. Abfälle aus der Holzbearbeitung und der Herstellung von Platten, Möbeln, Zellstoffen, Papier und Pappe		
<input type="checkbox"/>	04. Abfälle aus der Leder-, Pelz- und Textilindustrie		
<input type="checkbox"/>	05. Abfälle aus der Erdölraffination, Erdgasreinigung und Kohlepyrolyse		
<input type="checkbox"/>	06. Abfälle aus anorganisch-chemischen Prozessen		
<input type="checkbox"/>	07. Abfälle aus organisch-chemischen Prozessen		
<input type="checkbox"/>	08. Abfälle aus Herstellung, Zubereitung, Vertrieb und Anwendung (HZVA) von Beschichtungen (Farben, Lacke, Email), Klebstoffen, Dichtmassen und Druckfarben		
<input type="checkbox"/>	09. Abfälle aus der fotografischen Industrie		
<input type="checkbox"/>	10. Abfälle aus thermischen Prozessen		
<input type="checkbox"/>	11. Abfälle aus der chemischen Oberflächenbearbeitung und Beschichtung von Metallen und anderen Werkstoffen; Nichteisenhydrometallurgie		
<input type="checkbox"/>	12. Abfälle aus Prozessen der mechanischen Formgebung sowie der physikalischen und mechanischen Oberflächenbearbeitung von Metallen und Kunststoffen		
<input type="checkbox"/>	13. Ölabfälle und Abfälle aus flüssigen Brennstoffen (außer Speiseöle und Ölabfälle, die unter Kapitel 05, 12 oder 19 fallen)		
<input type="checkbox"/>	14. Abfälle aus organischen Lösemitteln, Kühlmitteln und Treibgasen (außer Abfälle, die unter Kapitel 07 oder 08 fallen)		
<input type="checkbox"/>	15. Verpackungsabfall, Aufsaugmassen, Wischtücher, Filtermaterialien und Schutzkleidung (a. n. g.)		
<input type="checkbox"/>	16. Abfälle, die nicht anderswo im Verzeichnis aufgeführt sind*		
<input type="checkbox"/>	17. Bau- und Abbruchabfälle (einschließlich Aushub von verunreinigten Standorten)		
<input type="checkbox"/>	18. Abfälle aus der humanmedizinischen oder tierärztlichen Versorgung und Forschung (ohne Küchen- und Restaurantabfälle, die nicht aus der unmittelbaren Krankenpflege stammen)		
<input type="checkbox"/>	19. Abfälle aus Abfallbehandlungsanlagen, öffentlichen Abwasserbehandlungsanlagen sowie der Aufbereitung von Wasser für den menschlichen Gebrauch und Wasser für industrielle Zwecke		
<input type="checkbox"/>	20. Siedlungsabfälle (Haushaltsabfälle und ähnliche gewerbliche und industrielle Abfälle sowie Abfälle aus Einrichtungen), einschließlich getrennt gesammelter Fraktionen		
<input type="checkbox"/>	*Abfälle aus anderen Industriebereichen:		

Angewandte Verfahren	
Welche der folgenden Verfahren werden vor Ort angewendet?	
<input type="checkbox"/>	Adsorption / Absorption
<input type="checkbox"/>	Dekantation
<input type="checkbox"/>	Destillation
<input type="checkbox"/>	Eindampfung
<input type="checkbox"/>	Elektrodialyse/ Elektrolyse
<input type="checkbox"/>	Emulsionsspaltung
<input type="checkbox"/>	Entgiftung von Cyaniden/ Chrom
<input type="checkbox"/>	Entwässerung
<input type="checkbox"/>	Evaporation
<input type="checkbox"/>	Extraktion
<input type="checkbox"/>	Fällung
<input type="checkbox"/>	Filtration
<input type="checkbox"/>	Flotation
<input type="checkbox"/>	Ionenaustausch
<input type="checkbox"/>	Naßoxidation
<input type="checkbox"/>	Neutralisation (Säuren/Basen)
<input type="checkbox"/>	Ölspaltung
<input type="checkbox"/>	Sieben
<input type="checkbox"/>	Strippung
<input type="checkbox"/>	Zementation
<input type="checkbox"/>	Zentrifugation
	Sonstige Verfahren:
Nachbehandlung	
<input type="checkbox"/>	Aktivkohlebehandlung
<input type="checkbox"/>	Ozonierung
<input type="checkbox"/>	Sand und Kiesfilter
<input type="checkbox"/>	Ultrafiltration/ Mikrofiltration
<input type="checkbox"/>	Umkehrosmose
<input type="checkbox"/>	Ionenaustauscher
<input type="checkbox"/>	Metallnachbehandlung
	Sonstige Verfahren:
Werden vor Ort Verwertungsmaßnahmen verwendet?	
<input type="checkbox"/>	Ja
<input type="checkbox"/>	Nein
Welche Technik wird zur Verwertung von Abfällen verwendet?	
	bitte inkl. Angabe des Verwertungsverfahrens nach dem Kreislaufwirtschaftsgesetz R

## Spurenstoffe

	Sind in den letzten Jahren organische Spurenstoffe* in Ihrer Anlage identifiziert worden?
<input type="checkbox"/>	Ja
<input type="checkbox"/>	Nein
<input type="checkbox"/>	Wenn ja, welche Stoffe wurden identifiziert:
	Werden in Ihrer Anlage technische oder organisatorische Maßnahmen zur Minderung von Emissionen an Spurenstoffen ins Gewässer angewendet? (z.B. getrennte Behandlung von Abfällen, die potentiell mit Spurenstoffen belastet sind)
<input type="checkbox"/>	Ja
<input type="checkbox"/>	Nein
<input type="checkbox"/>	Wenn ja, bitte Maßnahmen beschreiben:

\*Bei Spurenstoffen handelt es sich um Spuren von Arzneimitteln, Pflanzenschutzmitteln, Bioziden und anderen Chemikalien, die schon in geringen Konzentration nachteilige Wirkungen auf die Umwelt oder auf die menschliche Gesundheit haben können. Diese Substanzen sind u.a. die im Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie aufgelisteten prioritär gefährlichen Stoffe wie z.B. polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) oder Perfluoroktansulfonat (PFOS).

## H Glossar

Begriff	Definition
Hochleistungs-Flüssigkeitschromatographie	High Performance Liquid Chromatography; Analysemethode für nicht geladene, polare, unzersetzt nicht verdampfbare Moleküle. Bei der Trennung macht man sich die unterschiedlich starken Wechselwirkungen zwischen Substanz und dem Füllmaterial der zur Trennung eingesetzten Säule (stationäre Phase) zu Nutze.
Abfall	Bewegliche Sache, derer sich der Besitzer entledigt, entledigen will oder entledigen muss und die nicht oder nicht sinnvoll verwertet werden kann. (Bischofsberger, 1990)
Absorption	Aufnahme eines Stoffes in das Innere eines anderen ohne chemische Vereinigung beider Stoffe, im Gegensatz zur Adsorption = oberflächige Anlagerung. (Bischofsberger, 1990)
Adsorption	Bindung von Gasen oder gelösten Stoffen aus Lösungen eines festen Körpers. Oberflächige Anlagerung. (Bischofsberger, 1990)
Abwasser	gewerbliches, kommunales, häusliches und industrielles Schmutzwasser. (Bischofsberger, 1990)
Adsorbierbares organisch gebundenes Fluor	AOF; Analytische Bestimmung von Organofluorverbindungen mittel CIC (Combustion Ion Chromatography)
Batch-Verfahren	Ein chemischer oder biologischer Prozess, bei dem ein Reaktionsgefäß gefüllt und nach Abschluss der Reaktion wieder entleert wird. (Bischofsberger, 1990)
Belebtschlammtests	Bestimmung der Elimination und der biologischen Abbaubarkeit organischer Verbindungen in einem wässrigen Medium
Biochemischer Sauerstoffbedarf	BSB; Bestimmung der volumenbezogenen Masse an Sauerstoff, die für den aeroben Abbau der enthaltenen biochemisch oxidierbaren Inhaltstoffen in n Tagen benötigt wird (Bischofsberger, 1990), (Wasser-Wissen)
Biologische Abbaubarkeit	Der Grad der biologisch oder chemisch bewirkten Zersetzung organischer Verbindungen, die vor allem auf Stoffwechselforgängen von Mikroorganismen beruhen. (Bischofsberger, 1990)
Chemischer Sauerstoffbedarf	chemical oxygen demand COD; Volumenbezogene Masse an Sauerstoff, die der Masse an Kaliumdichromat äquivalent ist, welche unter definierten Bedingungen mit den im Wasser enthaltenen oxidierbaren Stoffen reagiert. Angegeben in mg/L. (Bischofsberger, 1990)

Begriff	Definition
Chemisch-physikalische Behandlungsanlage	Zusätzliche (=weitergehende) oder alternative Behandlungsanlagen zur mechanisch-biologischen Abwasserreinigung. (Bischofsberger, 1990)
Chromatentgiftung	Methode zur Entfernung des giftigen, sechswertigen Chroms aus industriellem Abwasser. Das sechswertige Chrom wird mit schwefliger Säure, deren Salzen oder mit Eisen-II-Salzen zu Chrom-II-Ionen reduziert, die dann als wasserunlösliches Chrom-III- Hydroxid ausgefällt werden können. (Bischofsberger, 1990)
Chromatographische Verfahren	Physikalische Trennverfahren von Gemischen, bei denen die Stofftrennung durch Verteilung zwischen einer stationären und einer mobilen Phase geschieht
Cyanidentgiftung	Methode zur Vernichtung von Cyanverbindungen durch Oxidation mit Chlorverbindungen. Bei vollständiger Oxidation erfolgt die Zerlegung in Stickstoff und Kohlendioxid. (Bischofsberger, 1990)
Dehydrogenasenaktivitätshemmung	Das Verfahren ist für im Abwasser befindliche und nicht flüchtige, wasserlösliche chemische Stoffe anwendbar
Direkteinleitung	direct discharger; Betrieb, dessen Abwasser direkt in ein Gewässer ohne Zwischenschaltung einer kommunalen Kanalisation oder Kläranlage eingeleitet wird. (Bischofsberger, 1990)
Dissolved Organic Carbon	Gelöster Anteil des organisch gebundenen Kohlenstoffs. (Bischofsberger, 1990)
Eindampfung/ Destillation	Verfahren zur Beseitigung industrieller Abwässer durch Eindampfen der Flüssigkeit in speziellen Apparaten, vor allem, wenn der Abdampfdruckstand wiederverwendet werden kann. (Bischofsberger, 1990)
Elektrolyse	electrolysis; Zersetzung einer Salzlösung, Säure oder Base durch elektrischen Strom. Dabei wandern die positiv geladenen Metallionen sowie die Wasserstoffionen zur Kathode, die negativ geladenen Säure- und Basenreste an die Anode, wo sie sich entladen und als Atome abscheiden. Wird bei der Metallveredelung (Galvanik) angewandt. (Bischofsberger, 1990)
Emulsionsspaltanlage	demulsifying plant; Vorbehandlungsanlage, in der Emulsionen gespalten werden, so dass die Einzelkomponenten der Emulsion getrennt werden können. (Bischofsberger, 1990)
Extraktion	Das Auswaschen eines Stoffes aus einem Stoffgemisch durch einen anderen Stoff, z.B. von Phenolen aus phenolhaltigem Abwasser mittels Benzol beim Benzol-Lauge-Verfahren. (Bischofsberger, 1990)
Filtration	Entfernen von Stoffen aus dem Wasser bei der Passage durch körnige oder poröse Materialien. (Bischofsberger, 1990)

Begriff	Definition
Fischtest	Testverfahren zur Bestimmung der Toxizität eines Abwassers gegen Fische. Z.B. Algentest, Bakterientest, Daphnientest. (Bischofsberger, 1990)
Flammenionisationsdetektor	GC-FID; Detektor für organische Verbindungen, der zusammen mit GC eingesetzt wird. Dient der Detektion von flüchtigen Kohlenwasserstoffen.
Fällung	Überführen von gelösten Abwasserinhaltsstoffen in ungelöste Formen durch chemische Reaktion mit einem Fällungsmittel
Flockung	Erzeugen von Flocken aus ungelösten oder kolloidal gelösten Stoffen, gegebenenfalls unter Zugabe von Flockungsmittel bzw. Flockungshilfsmitteln
Flotation	Verfahren, bei dem Stoffteilchen durch feine Gasbläschen aus einem Stoffgemisch zum Aufschwimmen gebracht werden, z.B. Luftflotation, Entspannungsflotation. Hierbei entsteht Flotat (flotierter Schlamm)
Fluoreszenz Messung L 33	Bestimmung der nicht giftigen Wirkung von Abwasser gegenüber Grünalgen: Anregung der gelösten organischen Stoffen durch Einstrahlung von UV-Licht und anschließende Messung des emittierten Fluoreszenzlicht (D. Rensch, 2017)
Flüssigkeitschromatographie + Massenspektrometrie	LC-Fluor; Determination of perfluorooctanesulfonate (PFOS) and perfluorooctanoate (PFOA) im Mikro- bis Nanogramm/L Bereich
Flüssigkeitschromatographie + UV	LC-UV; Bestimmungsverfahren von gelösten organischen Stoffen im Mikro- bis Nanogramm/L Bereich
Gaschromatographie	gaschromatography- Verfahren zur Bestimmung der Komponente von Gasgemischen. Das Gemisch wird mit einem inerten Gas z.B. Helium über eine Trennsäule (ein mit poröser Substanz, z.B. Kieselsäurepräparaten, gefülltes Rohr) geleitet. Infolge der in der Trennsäule stattfindenden Adsorptions- und Verteilungsvorgänge wandern die einzelnen Komponenten verschieden schnell. Ihre Ankunft am Ende der Säule wird durch geeignete Detektoren angezeigt. Zur qualitativen Bestimmung der Komponenten dient die Verweilzeit in der Säule, zur quantitativen die Stärke des Detektorsignals. (Bischofsberger, 1990)
Halogenhaltige organische Substanzen	AOX; Parameter zur Kennzeichnung der an Aktivkohle adsorbierbaren, organisch gebundenen Halogenverbindungen in Wasser (Bischofsberger, 1990), (Th. Lange, 1995)
Henry'sches Gesetz	Gesetz über die Löslichkeit von Gasen in Flüssigkeiten. Die maximale Löslichkeitskonzentration (Sättigung) ist direkt proportional dem Druck oder Partialdruck des Gases über der Flüssigkeit. (Bischofsberger, 1990)

Begriff	Definition
Indirekteinleitung	indirect discharger; Betrieb, dessen Abwasser indirekt über eine kommunale Abwasserbehandlungsanlage in ein Gewässer eingeleitet wird. (Bischofsberger, 1990)
Ionenaustauschverfahren	ion exchange; Reinigung des Wassers von gelösten, elektrisch geladenen Teilchen (Ionen). (Bischofsberger, 1990)
LC50	median lethal concentration; Mittlere lethale Konzentration eines Giftes, die innerhalb einer bestimmten Zeit bei 50 % der Probanden zum Tode führt. (Bischofsberger, 1990)
Massenspektrometrie	Messung des jeweiligen Moleküls/ der Atome anhand seiner spezifischen molaren Masse.
Flüssigchromatographie mit Massenspektrometrie-Kopplung	(HP)LC-MS; Bestimmungsverfahren von gelösten organischen Stoffen im Mikro- bis Nanogramm/L Bereich
Membranfiltration	Verfahren zum Entfernen von feinsten Partikeln aus Gasen oder Flüssigkeiten mittels eines auf eine Stützschrift aufgelegten Filterpapiers. (Bischofsberger, 1990)
Mikroverunreinigungen	Spurenstoffe; Anthropogene organische Stoffe in geringen Konzentrationen im Bereich Nanogramm bis Mikrogramm pro Liter. Sind keine einzelnen Stoffklassen
Neutralisation	Spezialfall einer Pufferung, bei der der pH-Wert auf 7 gebracht wird. Im Gegensatz zur Pufferung erfolgt die Aufrechterhaltung des pH-Wertes nicht automatisch, sondern die zur Neutralisation erforderlichen Zusätze werden erst bei der Abweichung des pH-Wertes zugegeben. Bei einer Neutralisation entstehen Salze und Wasser. (Bischofsberger, 1990)
Nitrifikationshemmtest	Toxizitätstest zur Bestimmung der Nitrifikationshemmung in Belebtschlamm
Oxidation	Aufnahme von Sauerstoff; Abgabe von Elektronen. (Bischofsberger, 1990)
Reduktion	Abgabe von Sauerstoff; Aufnahme von Elektronen. (Bischofsberger, 1990)
Respirationshemmtest	Bestimmung der Hemmung des Sauerstoffverbrauchs von Belebtschlamm nach Kohlenstoff- und Ammonium-Oxidation
Röntgenfluoreszenzanalyse	RFA; Anregung der gelösten organischen Stoffe durch Einstrahlung von Röntgenstrahlen und anschließende Messung des emittierten Fluoreszenzlichts
Screening-Test	Auch im Deutschen benutzter Ausdruck für einen Test, um die Eignung einer Substanz zur Hervorrufung eines bestimmten Effektes festzustellen. (Bischofsberger, 1990)

Begriff	Definition
Schlammbehandlung	sludge treatment; Aufbereitung von Schlamm zu dessen Verwertung oder Beseitigung, z.B. Eindickung, Stabilisierung, Entwässerung, Trocknung, Desinfektion, Veraschung, Verbrennung. (Bischofsberger, 1990)
Sedimentation	Abscheidung von Feststoffen aus dem Wasser durch Schwerkraft. (Bischofsberger, 1990)
Sieben	Maschinelle Einrichtung zum Zurückhalten fester Stoffe. (Bischofsberger, 1990)
Solid-phase extraction ultra-high-performance liquid chromatography coupled to a triple-quadrupole mass spectrometer	SPE-UHPLC- MS/MS; Verfahren zur Online Überwachung von Spurenstoffen im Mikro- bis Nanogramm/L Bereich (Schulz, 2010)
Spektraler Absorptionskoeffizient	SAK; Bestimmung der gelösten organischen Belastung. Kontinuierliche Erfassung direkt im Medium über Absorptionmessung von UV-Strahlung (Th. Lange, 1995)
Spurenstoffe	Stoffe, die in sehr geringen Konzentrationen in Gewässern vorkommen. Spurenstoffe stammen aus unterschiedlichen Bereichen und Produkten wie z. B. Biozide, Human- und Tierarzneimittel, Pflanzenschutzmittel, Industriechemikalien oder Körperpflege- und Waschmittel (Hillenbrand & Tettenborn, 2017)
Stofftrennung	physikalisches Trennverfahren, z.B. Sieben, Membranfiltration, ...
Stoffumwandlung	chemisches Trennverfahren, z.B. Neutralisation, Fällung, ...
Strippung	stripping; Austreiben flüchtiger Inhaltsstoffe aus Abwasser oder Schlamm. (Bischofsberger, 1990)
Summenparameter	composite parameter; In der Abwasseranalytik Kennwerte, die nicht auf der Ermittlung einzelner Stoffe, Verbindungen oder Elemente beruhen, sondern durch bestimmte Eigenschaften, wie Oxidierbarkeit durch ein bestimmtes Oxidationsmittel, gekennzeichnet sind. Hierzu gehören CSB, BSB, TOC, DOC, u.a. (Bischofsberger, 1990)
Total Organic Carbon	Organisch gebundener Kohlenstoff. Ein Kennwert für die organische Belastung eines Abwassers oder Gewässers. (Bischofsberger, 1990)
Verfahren mit Kohlenstoffdioxid-Messung	Bestimmung der vollständigen aeroben biologischen Abbaubarkeit organischer Stoffe im wässrigen Medium. (Bischofsberger, 1990)
Wassergefährdungsklasse (WGK)	Die Wassergefährdung ist in 3 Klassen eingeteilt:

Begriff	Definition
	WGK 1: schwach wassergefährdend
	WGK 2: wassergefährdend
	WGK 3: stark wassergefährden (Steinhäuser, Simmchen, Fehrenbach, Siebel-Sauer, & A., 2005)
Zementation	Ausfällung eines Metalls aus der Lösung seines Salzes durch Zusetzen eines unedleren Metalls
Zentrifugation	Trennen eines Stoffgemisches mit unterschiedlich dichten Komponenten unter Ausnutzung der Fliehkraft. (Bischofsberger, 1990)

Quelle: Eigene Zusammenstellung, FiW

## I Versuchsergebnisse

### I.1 Ergebnisse – Versuch 1

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00904	2021-00903	2021-00900		2021-00906		2021-00895			
Probenbezeichnung	Ablauf		Altlaug	Altsäure	Emulsion	Masse Reaktor vor Batch Beginn	Reaktor nach Behandlung vor KFP	Masse Reaktor nach Batch Ende	Filtrat nach KFP	Masse im Filtrat	Eliminatio- ns- leistung KFP	Eliminatio- ns- leistung <sub>Mittel</sub> el
Eliminationsleistung	Eliminationsleistung											
Volumen	L		3.500,00	3.500	25.000			36.130	33.239,6 0			
Eingangsdatum	Input		25.03.2021	25.03.2021	25.03.2021	[g]	25.03.2021	[g]	25.03.2021	[g]	[%]	[%]
Nitritotriessigsäure (NTA)	Komplexbildner	µg/L	9100	< 100	< 100	34,70	600	21,678 0	600	19,94376	8%	-274%
Ethylendiamin-tetraessigsäure (EDTA)	Komplexbildner	µg/L	11000	1300	2700	110,55	2900	104,77 70	6400	212,73344	-103%	
Diethylentriamin-pentaessigsäure (DTPA)	Komplexbildner	µg/L	< 100	130	620	16,31	< 100	3,6130	900	29,91564	-728%	
Phenanthren	PAK	µg/L	21,4	0,652	3,88	0,17	7,28	0,2630	0,978	0,0325083 29	88%	87%
Fluoranthren	PAK	µg/L	9,18	0,592	1,77	0,08	2,32	0,0838	0,34	0,0113014 64	87%	
Tributylphosphat	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	11,5	1,13	6,9	0,22	8,84	0,3194	5,53	0,1838149 88	42%	77%
Tris(2-chloroethyl) -phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05	< 0,05	0,8	0,02	1,08	0,0390	< 0,05	0,0016619 8	96%	

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00904	2021-00903	2021-00900		2021-00906		2021-00895			
Tris(2-chlorisopropyl) -phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	215	12,7	45,8	1,94	98,7	3,5660	26,6	0,88417336	75%	
Tris(1,3-dichlorisopropyl) -phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05		-	
Tris(2-butoxyethyl) - phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	204	82,8	567	15,18	292	10,5500	83,1	2,76221076	74%	
Triphenylphosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05	1,06	8,14	0,21	13,1	0,4733	0,199	0,00661468	99%	
Chinolin	N-Heterozyklen	µg/L	0,25	0,24	0,085	0,0038	0,12	0,0043	< 0,05	0,00166198	62%	65%
Isochinolin	N-Heterozyklen	µg/L	0,089	0,062	0,13	0,0038	0,073	0,0026	< 0,05	0,00166198	37%	
Indol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	0,13	0,0036	1,4	0,0506	< 0,05	0,00166198	97%	
2-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		0,50		< 0,05		-	
6-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05		-	
2,4-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05		-	
2,6-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05		-	
Acridin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05		-	
Carbazol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05		-	
Phenoxyethanol	Alkohole	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05		-	-
Bis(2-ethylhexyl) -phthalat	Phthalate	µg/L	1,3	2,0	1,9	0,06	6,1	0,2204	2,5	0,083099	62%	62%
Benzotriazol	Triazole	µg/L	800	1180	7020	182,43	11300	408,2690	3380	112,349848	72%	72%

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00904	2021-00903	2021-00900		2021-00906		2021-00895			
Bisphenol A	Phenole	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5		< 0,5		< 0,5		-	99%
ortho-Phenylphenol	Phenole	µg/L	1,96	< 0,5	< 0,5	0,02	4,29	0,1550	< 0,5	0,00166198	99%	
PFBA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0		-	8%
H4PFOS	PFAS	µg/L	1,5	1,2	<1,0	0,02	<1,0	0,0361	<1,0	0,0332396	8%	
PFPeA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0		-	
PFHxA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0		-	
PFHpA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0		-	
PFOA (Perfluorooctansäure)	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0		-	
PFNA (Perfluorononansäure)	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0		-	
PFDA (Perfluordekansäure)	PFAS	µg/L	<1,0	<2,5	<1,0		<1,0		<1,0		-	
PFBS	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0		-	
PFHxS	PFAS	µg/L	<1,0	<2,5	<1,0		<1,0		<1,0		-	
PFOS (Perfluorooctansulfonat)	PFAS	µg/L	<2,5	<2,5	<1,0		<1,0		<1,0		-	
Leuchtbakterien	Ökotox	GL	-	-	-		-		64			
Algen	Ökotox	GA	-	-	-		-		> 96			
Daphnien	Ökotox	GD	-	-	-		-		12			
NHT	Ökotox	%H	2	13,6	4		5		2			

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00904	2021-00903	2021-00900		2021-00906		2021-00895			
Konsistenz		-	flüssig	flüssig	flüssig		flüssig		flüssig			
Farbe		-	dunkelgrau/schwarz	grau/dunkelgrün	grau		grau		gelb			
pH-Wert		-	>12	<2	7,1		9		9,1			
Leitfähigkeit		ms/cm	72,2	490	30,4		44,3		48,8			
Kohlenwasserstoff-Index		mg/L	4900	180	2400		1200		5,8			
Nitrit		mg/L	<2	<2	2		<2		<2			
Nitrat		mg/L	<10	<10	<10		<10		<10			
Ammonium		mg/L	<40	<40	<40		44		48			
TOC		mg/L	9600	650	4900	158375	2200	79486	2100	69.803,16	12%	
Stickstoff geb. TNb		mg/L	89	260	100		95		96			
CSB		mg/L	64400	< 1250	17300	662275	29500	1065835	14300	475.326,28	55%	
AFS		mg/L	41000	6100	100000	2664850	80000	2890400	22	731,27	100%	
Phosphor		mg/L	220	2700	6900		3500		870			
AOX (SPE)		µg/L	7700	6010	500	60	1900	69	1040	34,57	50%	

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## I.2 Ergebnisse – Versuch 2

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00902	2021-00899		2021-00905		2021-00897			
Probenbezeichnung	Ablauf		Altsäure	Emulsion	Masse im Rührbehälter vor Batch Beginn	Rührbehälter Nach Behandlung, vor KFP	Masse Rührbehälter nach Batch Ende	Filtrat nach KFP	Masse im Filtrat nach KFP	Eliminationsleistung KFP	Eliminationsleistung Mitte
Eliminationsleistung	Eliminationsleistung										
Volumen	L		8.500	25.000		37.000		36.445			
Eingangsdatum	Input		25.03.2021	25.03.2021	[g]	25.03.2021	[g]	25.03.2021	[g]	[%]	[%]
Nitrilotriessigsäure (NTA)	Komplexbildner	µg/L	< 100	620	16,35	400	14,8	270	9,84015	33,5%	-174,8%
Ethylendiamin-tetraessigsäure (EDTA)	Komplexbildner	µg/L	1900	4300	123,65	3800	140,6	5300	193,1585	-37,4%	
Diethylentriamin-pentaessigsäure (DTPA)	Komplexbildner	µg/L	280	470	14,13	< 100	3,7	630	22,96035	-520,6%	
Phenanthren	PAK	µg/L	1,04	6,34	0,16734	2,76	0,10212	1,98	0,0721611	29,3%	23,0%
Fluoranthren	PAK	µg/L	< 0,12	2,35	0,05977	0,943	0,034891	0,797	0,02904665	16,8%	
Tributylphosphat	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	1,83	2,67	0,082305	5,74	0,21238	3,32	0,1209974	43,0%	50,5%
Tris(2-chloroethyl) -phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05			
Tris(2-chlorisopropyl) -phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	17,4	62	1,6979	60,3	2,2311	20,6	0,750767	66,3%	
Tris(1,3-dichlorisopropyl) -phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05			

TEXTE Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von CP-Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle in Gewässer

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00902	2021-00899		2021-00905		2021-00897				
Tris(2-butoxyethyl) - phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	140	129	4,415	82,1	3,0377	88,3	3,2180935	-5,9%		
Triphenylphosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	4,91	10,6	0,306735	3,72	0,13764	< 0,05	0,00182225	98,7%		
Chinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,069	0,00215	< 0,05	0,00185	0,027	0,000984015	46,8%	33,5%	
Isochinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	0,001675	0,066	0,002442	< 0,05	0,00182225	25,4%		
Indol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,62	0,015925	0,36	0,01332	0,4	0,014578	-9,4%		
2-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	1,000	0,025425	0,13	0,00481	< 0,05	0,00182225	62,1%		
6-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,40	0,010425	0,065	0,002405	0,038	0,00138491	42,4%		
2,4-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05				
2,6-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05				
Acridin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05				
Carbazol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05				
Phenoxyethanol	Alkohole	µg/L	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05		-	-	
Bis(2-ethylhexyl) -phthalat	Phthalate	µg/L	5,2	9,3	0,2767	14	0,518	3,1	0,1129795	78,2%	78,2%	
Benzotriazol	Triazole	µg/L	911	1220	38,2435	n.a.	n.a.	818	29,81201	n.a.	n.a.	
Bisphenol A	Phenole	µg/L	< 0,5	< 0,5		< 0,5		< 0,5		-	-	
ortho-Phenylphenol	Phenole	µg/L	< 0,5	< 0,5		< 0,5		< 0,5		-	-	
PFBA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0		<2,5		<1,0				-

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00902	2021-00899		2021-00905		2021-00897			
H4PFOS	PFAS	µg/L	<1,0	3,7	0,101	<1,0	0,037	n.a.	n.a.	n.a.	
PFPeA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			
PFHxA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			
PFHpA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			
PFOA (Perfluorooctansäure)	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			
PFNA (Perfluorononansäure)	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			
PFDA (Perfluorodekansäure)	PFAS	µg/L	<2,5	<1,0		<1,0		<1,0			
PFBS	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			
PFHxS	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			
PFOS (Perfluorooctansulfonat)	PFAS	µg/L	<2,5	<1,0		<1,0		<1,0			
Leuchtbakterien	Ökotox	GL	-	-		-		48			
Algen	Ökotox	GA	-	-		-		> 96			
Daphnien	Ökotox	GD	-	-		-		32			
NHT	Ökotox	%H	<1	3,9		5,8		<1			
Konsistenz		-	flüssig	flüssig		flüssig		flüssig			
Farbe		-	grün	grau		braun		gelb			
pH-Wert		-	<2	9,8		9,5		9,5			

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00902	2021-00899		2021-00905		2021-00897		
	Leitfähigkeit	ms/cm	156	19,6		26,5		27,2		
	Kohlenwasserstoff-Index	mg/L	260	1200		1500		8,4		
	Nitrit	mg/L	<2	5		<2		<2		
	Nitrat	mg/L	<10	<10		10		<10		
	Ammonium	mg/L	<40	149		114		115		
	TOC	mg/L	1100	6500	171.850	1300	48.100	1300	47.379	1,5%
	Stickstoff geb. TNb	mg/L	55	390		240		250		
	CSB	mg/L	13300	20800	633.050	10800	399.600	5050	184.047	53,9%
	AFS	mg/L	690	1600	45.865	15000	555.000	25	911	99,8%
	Phosphor	mg/L	330	390		220		2,9		
	AOX (SPE)	µg/L	1410	1260	43	1500	56	2290	83	-50,4%

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### I.3 Ergebnisse – Versuch 3

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00901		2021-00898			
Probenbezeichnung	Ablauf		Emulsion	Masse in Emulsion vor Verdampfung	Destillat nach Vakuumverdampfer	Masse Destillat nach Vakuumverdampfer	Eliminationsleistung	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>
Eliminationsleistung	Eliminationsleistung							
Volumen	L		4.000,00		3.500,00			
Eingangsdatum	Input		25.03.2021	[g]	25.03.2021	[g]	[%]	[%]
Nitrilotriessigsäure (NTA)	Komplexbildner	µg/L	7800	31,2	< 100	0,35	98,9%	53,7%
Ethylendiamin-tetraessigsäure (EDTA)	Komplexbildner	µg/L	2600	10,4	2200	7,7	26,0%	
Diethylentriamin-pentaessigsäure (DTPA)	Komplexbildner	µg/L	480	1,92	350	1,225	36,2%	
Phenanthren	PAK	µg/L	8,08	0,03232	1,35	0,004725	85,4%	84,3%
Fluoranthren	PAK	µg/L	2,47	0,00988	0,473	0,0016555	83,2%	
Tributylphosphat	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	5,34	0,02136	2,51	0,008785	58,9%	64,5%
Tris(2-chloroethyl) -phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05		< 0,05			
Tris(2-chlorisopropyl) -phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	34	0,136	25,5	0,08925	34,4%	
Tris(1,3-dichlorisopropyl) -phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	0,438	0,001752	0,155	0,0005425	69,0%	
Tris(2-butoxyethyl) - phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	160	0,64	71	0,2485	61,2%	
Triphenylphosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	11,4	0,0456	0,156	0,000546	98,8%	
Chinolin	N-Heterozyklen	µg/L	0,11	0,00044	< 0,05	0,000175	60,2%	54,6%

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00901		2021-00898			
Isochinolin	N-Heterozyklen	µg/L	0,048	0,000192	< 0,05	0,000175	8,9%	
Indol	N-Heterozyklen	µg/L	0,82	0,00328	< 0,05	0,000175	94,7%	
2-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05			
6-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05			
2,4-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05			
2,6-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05			
Acridin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05			
Carbazol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05			
Phenoxyethanol	Alkohole	µg/L	< 0,05		< 0,05			-
Bis(2-ethylhexyl) -phthalat	Phthalate	µg/L	3,8	0,0152	1,2	0,0042	72,4%	72,4%
Benzotriazol	Triazole	µg/L	4830	19,32	n.a.	n.a.		-
Bisphenol A	Phenole	µg/L	4,08	0,01632	< 0,5	0,00175	89,3%	-9,8%
ortho-Phenylphenol	Phenole	µg/L	26,3	0,1052	62,8	0,2198	-108,9%	
PFBA	PFAS	µg/L	<2,5		<1,0			
H4PFOS	PFAS	µg/L	n.a.	n.a.	<1,0	n.a.		
PFPeA	PFAS	µg/L	<2,5		<1,0			
PFHxA	PFAS	µg/L	<2,5		<1,0			
PFHpA	PFAS	µg/L	<1,0		<1,0			

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00901		2021-00898		
PFOA (Perfluorooctansäure)		PFAS	µg/L	<1,0		<1,0	
PFNA (Perfluorononansäure)		PFAS	µg/L	<1,0		<1,0	
PFDA (Perfluordekansäure)		PFAS	µg/L	<1,0		<1,0	
PFBS		PFAS	µg/L	<2,5		<1,0	
PFHxS		PFAS	µg/L	<1,0		<1,0	
PFOS (Perfluorooctansulfonat)		PFAS	µg/L	<1,0		<1,0	
Leuchtakterien		Ökotox	GL	-		256	
Algen		Ökotox	GA	-		96	
Daphnien		Ökotox	GD	-		48	
NHT		Ökotox	%H	2		2	
Konsistenz			-	flüssig		flüssig	
Farbe			-	hellgrau		farblos	
pH-Wert			-	8,3		09. Sep	
Leitfähigkeit			ms/cm	8,6		0,34	
Kohlenwasserstoff-Index			mg/L	1700		11	
Nitrit			mg/L	5		<2	
Nitrat			mg/L	50		<10	

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00901		2021-00898			
	Ammonium	mg/L	148		178			
	TOC	mg/L	11300	45.200	1400	4.900	89,2%	
	Stickstoff geb. TNb	mg/L	980		240			
	CSB	mg/L	31300	125.200	4830	16.905	86,5%	
	AFS	mg/L	900	3.600	<1,8	6	99,8%	
	Phosphor	mg/L	91		0,12			
	AOX (SPE)	µg/L	450	2	244	1	52,6%	
	Lipophile Stoffe							
	BTEX	mg/L						
	Phenolindex							
	AOX	mg/L						

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## I.4 Ergebnisse – Versuch 4

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00853	2021-00854	2021-00855		2021-00856		2021-00857			2021-00858				
Probenbezeichnung	Ablauf		Abfallsäure (Quench)	Abfallsäure (Quench) + Dekantat	Dekantat	Masse im Reaktor vor Batch Beginn	Reaktor nach Behandlung, vor KFP	Masse Reaktor nach Behandlung, vor KFP	Filtrat nach KFP	Masse Filtrat nach KFP	Eliminationsleistung KFP	Filtrat nach KFP und A-Kohle	Masse Filtrat nach KFP und A-Kohle	Eliminationsleistung A-Kohle	Eliminationsleistung <sub>Gesamt</sub>	Eliminationsleistung <sub>Mittel</sub>
Eliminationsleistung	Eliminationsleistung															
Volumen	L		9.000	18.000	3.000		31.800		31.800			31.800				
Eingangsdatum	Input		17.03.2021	17.03.2021	17.03.2021	[g]	17.03.2021	[g]	17.03.2021	[g]	[%]	17.03.2021	[g]	[%]	[%]	[%]
Nitritotriessigsäure (NTA)	Komplexbildner	µg/L	190	< 100	< 100	2,10	< 100	3,18	< 100	3,2	0%	< 100	3,1800	0%	0%	8%
Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	Komplexbildner	µg/L	8700	5300	2900	104,10	2600	82,68	2100	66,8	19%	2900	92,2200	-38%	-12%	
Diethylentriaminpentaessigsäure (DTPA)	Komplexbildner	µg/L	9900	5000	2100	96,30	1700	54,06	1300	41,3	24%	1100	34,9800	15%	35%	
Phenanthren	PAK	µg/L	0,456	0,323	0,35	0,01	0,281	0,01	0,299	0,0095	-6%	0,367	0,0117	-23%	-31%	-15%
Fluoranthren	PAK	µg/L	0,768	0,634	0,41	0,01	0,485	0,02	0,423	0,0135	13%	0,482	0,0153	-14%	1%	
Tributylphosphat	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	72,8	37,5	10,9	0,71	8,55	0,27	8,48	0,2697	1%	7,32	0,2328	14%	14%	3%
Tris(2-chloroethyl)-phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	0,264	0,129	< 0,05	0,00247	< 0,05	0,00	< 0,05	0,0016	0,0%	< 0,05	0,0016	0,0%	0,0%	

TEXTE Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von CP-Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle in Gewässer

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00853	2021-00854	2021-00855		2021-00856		2021-00857			2021-00858				
Tris(2-chlorisopropyl)-phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	15,2	14,2	9,65	0,28	7,53	0,24	11,1	0,3530	-47%	14,1	0,4484	-27%	-87%	11%
Tris(1,3-dichlorisopropyl)-phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	0,617	1,03	1,3	0,02	0,166	0,01	< 0,05	0,0016	70%	0,0597	0,0019	-19%	64%	
Tris(2-butoxyethyl)-phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	278	230	120	4,50	162	5,15	180	5,7240	-11%	195	6,2010	-8%	-20%	
Triphenylphosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	0,851	1,1	1,48	0,02	0,243	0,01	0,0948	0,0030	61%	0,131	0,0042	-38%	46%	
Chinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Isochinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,050	0,066	0,00110	0,064	0,00	0,055	0,0017	14%	< 0,05	0,0016	9%	22%	
Indol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	0,084	0,00115	< 0,05	0,00	0,097	0,0031	-94%	< 0,05	0,0016	48%	0%	
2-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,086	0,14	0,00	< 0,05		< 0,05			< 0,05				
6-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
2,4-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	0,056		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
2,6-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Acridin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Carbazol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Phenoxyethanol	Alkohole	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00853	2021-00854	2021-00855		2021-00856		2021-00857			2021-00858				
Bis(2-ethylhexyl) - phthalat	Phthalate	µg/L	9,5	0,51	1,1	0,01	2,3	0,07	2,9	0,0922	-26%	2,1	0,0668	28%	9%	9%
Benzotriazol	Triazole	µg/L	323	506	159	9,59	273	8,68	196	6,2328	28%	< 10	0,3180	95%	96%	96%
Bisphenol A	Phenole	µg/L	< 0,5	2,96	n.a.	0,05	1,32	0,04	< 0,5	0,0159	62%	< 0,5	0,0159	0%	62%	79%
ortho-Phenylphenol	Phenole	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,01	11,5	0,37	< 0,5	0,0159	96%	< 0,5	0,0159	0%	96%	
PFBA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			<1,0				
H4PFOS	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			<1,0				
PFPeA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			<1,0				
PFHxA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			<1,0				
PFHpA	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			<1,0				
PFOA (Perfluoroctansäure)	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			<1,0				
PFNA (Perfluornonansäure)	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			<1,0				
PFDA (Perfluordekansäure)	PFAS	µg/L	<2,5	<1,0	<1,0		<2,5		<2,5			<1,0				
PFBS	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			<1,0				
PFHxS	PFAS	µg/L	<1,0	<1,0	<1,0		<1,0		<1,0			<1,0				

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00853	2021-00854	2021-00855	2021-00856	2021-00857	2021-00858							
PFOS (Perfluoroctansulfonat)	PFAS	µg/L	<2,5	<1,0	<1,0	<1,0	<2,5	<1,0							
Leuchtbakterien	Ökotox	GL	-	-	-	-	4	3							
Algen	Ökotox	GA	-	-	-	-	> 64	> 64							
Daphnien	Ökotox	GD	-	-	-	-	32	> 24							
NHT	Ökotox	%H	-				-								
Konsistenz		-	-				-	-							
Farbe		-	-				-	-							
pH-Wert		-	0				8,7	6,8							
Leitfähigkeit		ms /c m	-				-	-							
Kohlenwasserstoff-Index		mg /L	n.b.				0,5	1							
Nitrit		mg /L	<5				<5	<5							
Nitrat		mg /L	ca. 850				839	586							
Ammonium		mg /L	-				-								
TOC		mg /L	n.b.			-	-	-	-	241		-		-	

TEXTE Beste verfügbare Technik (BVT) zur Minderung der Einträge von Mikroverunreinigungen aus Abwasser von CP-Behandlungsanlagen für gefährliche Abfälle in Gewässer

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-00853	2021-00854	2021-00855		2021-00856		2021-00857			2021-00858					
Stickstoff geb. TNb		mg /L	-						-								
CSB		mg /L	2360	864	663	38.78 1	5410	172.038	1540	48.972	71,53%	5240	166.632	-240,26%	3,1%		
AFS		mg /L	-	-	-			-	-	-	-	-		-	-		
Phosphor		mg /L	-						-								
AOX (SPE)		µg/ L	21600	2600	3980	253	3040	97	890	28	70,72%	6800	216,2	-664,04%	-123,7%		
Lipophile Stoffe			n.b.						1,6			0,5					
BTEX		mg /L	n.b						0,04			0,01					
Phenolindex			-						-								
AOX		mg /L	0,9			8,100 0		-	0,4	13	-	0,1	3,18	75,00%	-		

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## I.5 Ergebnisse – Versuch 5

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01053		2021-01054		2021-01055			2021-01056				
Probenbezeichnung	Ablauf		Kupfer nitrat	Masse im Kupfernitrat vor Batch Beginn	Rührbehälter nach Behandlung, vor KFP	Masse Rührbehälter nach Batch Ende vor KFP	Filtrat nach KFP	Masse Filtrat nach KFP	Eliminationsleistung KFP	Filtrat nach KFP und A-Kohle	Masse Filtrat nach KFP und A-Kohle	Eliminationsleistung A-Kohle	Eliminationsleistung Gesamt	Eliminationsleistung Mittel
Eliminationsleistung	Eliminationsleistung													
Volumen	L		18.000		37.800		35.267			35.267				
Eingangsdatum	Input		19.04.2021	[g]	19.04.2021	[g]	19.04.2021	[g]	[%]	19.04.2021	[g]	[%]		[%]
Nitritotriessigsäure (NTA)	Komplexbildner	µg/L	< 100		< 100		< 100			< 100				-9%
Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	Komplexbildner	µg/L	3900	70,2	4600	173,88	4600	162,23004	7%	6300	222,18462	-37%	-28%	
Diethylentriaminpentaessigsäure (DTPA)	Komplexbildner	µg/L	310	5,58	430	16,254	520	18,339048	-13%	420	14,812308	19%	9%	
Phenanthren	PAK	µg/L	0,0153	0,0002754	0,165	0,006237	0,0675	0,00238055	62%	0,0907	0,003198753	-34%	49%	39%
Fluoranthren	PAK	µg/L	0,00216	0,00003888	0,0373	0,00140994	0,00237	8,35837E-05	94%	0,028	0,000987487	-1081%	30%	
Tributylphosphat	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	1,69	0,03042	98,6	3,72708	107	3,7736118	-1%	11,4	0,40204836	89%	89%	72%
Tris(2-chloroethyl)phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Tris(2-chlorisopropyl)phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	15,7	0,2826	11,9	0,44982	8,31	0,293072094	35%	5,45	0,19220733	34%	57%	

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01053		2021-01054		2021-01055			2021-01056				
Tris(1,3-dichlorisopropyl)-phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Tris(2-butoxyethyl)-phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	88,5	1,593	64,5	2,4381	48,2	1,69988868	30%	32,7	1,15324398	32%	53%	
Triphenylphosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	0,255	0,00459	0,497	0,0187866	0,163	0,005748586	69%	0,0693	0,002444031	57%	87%	
Chinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				-
Isochinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Indol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
2-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
6-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
2,4-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
2,6-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Acridin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Carbazol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Phenoxyethanol	Alkohole	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				-
Bis(2-ethylhexyl)-phthalat	Phthalate	µg/L	0,18	0,00324	0,26	0,009828	< 0,05	0,00176337	82%	0,11	0,003879414	-120%	61%	61%
Benzotriazol	Triazole	µg/L	<0,10	0,0018	53,7	2,02986	48,2	1,69988868	16%	36,3	1,28020662	25%	37%	37%

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01053		2021-01054		2021-01055			2021-01056				
Bisphenol A	Phenole	µg/L	< 0,5	0,009	0,431	0,0162918	1,09	0,03844 1466	-136%	< 0,5	0,017633 7	54%	-8%	-8%
ortho-Phenylphenol	Phenole	µg/L	n.a.		n.a.		n.a.			< 0,5				
PFBA	PFAS	µg/L	< 1,0		< 1,0		< 1,0			< 0,10				91%
H4PFOS	PFAS	µg/L	< 0,10		< 0,025		< 0,10			< 0,010				
PFPeA	PFAS	µg/L	< 1,0		< 0,25		< 0,10			< 0,010				
PFHxA	PFAS	µg/L	< 1,0		< 0,25		< 0,10			< 0,010				
PFHpA	PFAS	µg/L	< 1,0		< 0,25		< 0,10			< 0,010				
PFOA (Perfluorooctansäure)	PFAS	µg/L	< 0,10		< 0,025		< 0,10			< 0,010				
PFNA (Perfluorononansäure)	PFAS	µg/L	< 1,0		< 1,0		< 0,10			< 0,010				
PFDA (Perfluordekansäure)	PFAS	µg/L	< 1,0		< 2,5		< 2,5			< 1,0				
PFBS	PFAS	µg/L	< 1,0	0,018	< 0,25	0,0378	1,4	0,04937 436	-31%	< 0,10	0,003526 74	93%	91%	
PFHxS	PFAS	µg/L	< 1,0		< 1,0		< 0,10			< 0,010				
PFOS (Perfluorooctansulfonat)	PFAS	µg/L	< 1,0		< 2,5		< 2,5			< 1,0				
Leuchtbakterien	Ökotox	GL	-		-		128			16				
Algen	Ökotox	GA	-		-		768			384				

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01053		2021-01054		2021-01055		2021-01056				
Daphnien	Ökotox	GD	-		-		32		24				
NHT	Ökotox	%H					-		-				
Konsistenz		-					-		-				
Farbe		-					-		-				
pH-Wert		-	3,8				9,3		6,8				
Leitfähigkeit		ms/cm	-				-		-				
Kohlenwasserstoff-Index		mg/L	-				-		-				
Nitrit		mg/L	<5				<5		<5				
Nitrat		mg/L	ca. 500				141		118				
Ammonium		mg/L					-		-				
TOC		mg/L	17	306,0			106	3.738	-	74	2.610	30,2%	-
Stickstoff geb. TNb		mg/L					-		-				
CSB		mg/L	500	9.000,0	3200	120.960	2000	70.535	41,7%	2000	70.535	0,0%	42%
AFS		mg/L	930	16.740,0	67000	2.532.600	10	353	99,986%	< 2,1	74	79%	100%

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01053		2021-01054		2021-01055			2021-01056				
Phosphor		mg/L					-			-				
AOX (SPE)		µg/L	220	4,0	350	13,23	410	14,4596 34	-9,29%	520	18	-27%	-39%	
Lipophile Stoffe			-				-			-				
BTEX		mg/L	0,01				0,01			0,01				
Phenolindex							-			-				
AOX		mg/L	0,1	1,80			0,2	7	-	0,7	25	-250%	-	

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## I.6 Ergebnisse – Versuch 6

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01264		2021-01265		2021-01266			2021-01267				
Probenbezeichnung	Ablauf		Abfallmischung Rührbehälter vor Behandlung	Masse Reaktor vor Batch Beginn	Rührbehälter nach Behandlung, vor KFP	Masse Rührbehälter nach Batch Beginn	Filtrat nach KFP	Masse Filtrat nach KFP	Eliminationsleistung KFP	Filtrat nach KFP und A-Kohle	Masse nach KFP und A-Kohle	Eliminationsleistung nach KFP und A-Kohle	Eliminationsleistung Gesamt	Eliminationsleistung Mittel
Eliminationsleistung	Eliminationsleistung													
Volumen	L		48.000		48.000		47.520			47.520				
Eingangsdatum	Input		27.05.2021	[g]	27.05.2021	[g]	27.05.2021	[g]	[%]	27.05.2021	[g]	[%]	[%]	[%]
Nitriotriessigsäure (NTA)	Komplexbildner	µg/L	< 20	0,96	< 20	0,96	< 20	0,9504	1%	50	2,376	-150%	-148%	-33%
Ethylendiamintetraessigsäure (EDTA)	Komplexbildner	µg/L	71	3,408	110	5,28	110	5,2272	1%	< 20	0,9504	82%	82%	
Diethylentriaminpentaessigsäure (DTPA)	Komplexbildner	µg/L	< 20		< 20		< 20			< 20				
Phenanthren	PAK	µg/L	3,93	0,18864	0,386	0,018528	4,05	0,192456	-939%	0,0838	0,003982176	98%	79%	79%
Fluoranthren	PAK	µg/L	1,22	0,05856	0,161	0,007728	0,248	0,01178496	-52%	0,0322	0,001530144	87%	80%	
Tributylphosphat	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	296	14,208	31,6	1,5168	105	4,9896	-229%	0,521	0,02475792	100%	98%	79%
Tris(2-chloroethyl)phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Tris(2-chlorisopropyl)phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	1,88	0,09024	1,12	0,05376	0,491	0,02333232	57%	0,165	0,0078408	66%	85%	

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01264		2021-01265		2021-01266			2021-01267				
Tris(1,3-dichlorisopropyl)-phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Tris(2-butoxyethyl)-phosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	1860	89,28	1420	68,16	1750	83,16	-22%	640	30,4128	63%	55%	
Triphenylphosphate	Phosphororganische Verbindungen	µg/L	13,2	0,6336	0,284	0,013632	0,0364	0,001729728	87%	0,0666	0,003164832	-83%	77%	
Chinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,0024	< 0,05	0,0024	0,2	0,009504	-296%	< 0,05	0,002376	75%	1%	13%
Isochinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,0024	0,065	0,00312	0,18	0,0085536	-174%	< 0,05	0,002376	72%	24%	
Indol	N-Heterozyklen	µg/L	0,20	0,0096	0,14	0,00672	0,35	0,016632	-148%	< 0,05	0,002376	86%	65%	
2-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,0024	< 0,05	0,0024	0,25	0,01188	-395%	< 0,05	0,002376	80%	1%	
6-Methylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,0024	< 0,05	0,0024	0,037	0,00175824	27%	< 0,05	0,002376	-35%	1%	
2,4-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05	0,0024	< 0,05	0,0024	0,19	0,0090288	-276%	< 0,05	0,002376	74%	1%	
2,6-Dimethylchinolin	N-Heterozyklen	µg/L	0,058	0,002784	< 0,05	0,0024	1,0	0,04752	-1880%	< 0,05	0,002376	95%	1%	
Acridin	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Carbazol	N-Heterozyklen	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				
Phenoxyethanol	Alkohole	µg/L	< 0,05		< 0,05		< 0,05			< 0,05				-
Bis(2-ethylhexyl)-phthalat	Phthalate	µg/L	0,037	0,001776	0,067	0,003216	0,0016	0,000076032	98%	0,0012	0,000057024	25%	98%	98%
Benzotriazol	Triazole	µg/L	159	7,632	818	39,264	885	42,0552	-7%	47,0	2,23344	95%	94%	94%

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01264		2021-01265		2021-01266			2021-01267				
Bisphenol A	Phenole	µg/L	< 0,5	0,0024	2,21	0,10608	2,69	0,1278 288	-21%	< 0,5	0,02376	81%	78%	78%
ortho-Phenylphenol	Phenole	µg/L	n.a.		3,28		16,3			< 0,5				
PFBA	PFAS	µg/L	< 2,5	0,12	< 2,5	0,12	< 2,5	0,1188		0,023	0,001092 96		99%	56%
H4PFOS	PFAS	µg/L	< 0,10		< 0,10		< 0,050			< 0,010				
PFPeA	PFAS	µg/L	< 2,5		< 2,5		< 2,5			< 0,010				
PFHxA	PFAS	µg/L	< 2,5		< 2,5		< 2,5			< 0,010				
PFHpA	PFAS	µg/L	0,092	0,0044 16	< 0,10	0,0048	0,028	0,0047 52	1%	< 0,010	0,004752	0%	1%	
PFOA (Perfluorooctansäure)	PFAS	µg/L	0,5	0,024	0,46	0,02208	0,23	0,0109 296	51%	< 0,010	0,000475 2	96%	98%	
PFNA (Perfluornonansäure)	PFAS	µg/L	< 0,10		< 0,10		< 0,050			< 2,5				
PFDA (Perfluordekansäure)	PFAS	µg/L	< 2,5		< 2,5		< 2,5			< 2,5				
PFBS	PFAS	µg/L	< 2,5		< 2,5		< 2,5			< 0,010				
PFHxS	PFAS	µg/L	< 2,5		< 2,5		< 2,5			< 0,010				
PFOS (Perfluorooctansulfonat)	PFAS	µg/L	< 0,10	0,0048	3,4	0,1632	< 2,5	0,1188	27%	< 2,5	0,1188	0%	27%	
Leuchtbakterien	Ökotox	GL	-		-		12*			< 4				
Algen	Ökotox	GA	-		-		384			512				

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01264		2021-01265		2021-01266		2021-01267				
Daphnien	Ökotox	GD	-		-		24		48				
NHT	Ökotox	%H	-				-		-				
Konsistenz		-	-				-		-				
Farbe		-	-				-		-				
pH-Wert		-	9,4				7,8		7,7				
Leitfähigkeit		ms/cm	-				-		-				
Kohlenwasserstoff-Index		mg/L	-				-		-				
Nitrit		mg/L	175				162		155				
Nitrat		mg/L	542				257		196				
Ammonium		mg/L	-				-		-				
TOC		mg/L	1000	48.000			644	30.603	-	443	21.051	31%	-
Stickstoff geb. TNb		mg/L	-				-		-				
CSB		mg/L	6270	300.960	3430	164.640	2410	114.523	30%	1670	79.358	31%	52%
AFS		mg/L	2700	129.600	11000	528.000	63	2.994	99%	35	1.663	44%	100%
Phosphor		mg/L	-				-		-				

Probenr. (ISA)	Zulauf		2021-01264		2021-01265		2021-01266			2021-01267				
AOX (SPE)		µg/L	830	40	930	45	2800	133	-198%	1600	76	43%	-70%	
Lipophile Stoffe			12				7,5			<0,5				
BTEX		mg/L	<0,01				0,01			0,01				
Phenolindex			-				-			-				
AOX		mg/L	0,1	5			0,9	43	-	0,1	5	89%	-	

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## J GC-MS-Non-Target-Screening

### J.1 Versuch 1 GC-MS-Non-Target-Screening

#### Input 2021-00904 Altlauge

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	13,948	A+	928	652	653	0,1	27025296	Hexane, 2-methyl-	591-76-4	60	d8-Toluol	HS	-
2	14,09	A	925	656	719	8,8	26034907	Cyclohexane	110-82-7	58	d8-Toluol	HS	-
3	14,35	A+	955	662	653	1,4	42795769	Hexane, 3-methyl-	589-34-4	95	d8-Toluol	HS	-
4	14,84	A	867	673	742	9,3	11290012	1-Heptene, 4-methyl-	13151-05-8	25	d8-Toluol	HS	-
5	15,31	A+	950	684	717	4,6	28048102	Heptane	142-82-5	62	d8-Toluol	HS	-
6	16,62	A	965	715	781	8,5	26421653	Cyclohexane, methyl-	108-87-2	59	d8-Toluol	HS	-
7	22,80	A	954	859	907	5,3	18599932	p-Xylene	106-42-3	41	d8-Toluol	HS	-
8	26,01	A	937	934	1000	6,6	15462880	Decane	124-18-5	34	d8-Toluol	HS	-
9	27,00	A	938	957	1020	6,2	8608410	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	95-63-6	19	d8-Toluol	HS	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
10	28,96	A	930	1002	1115	10,1	10112696	Undecane	1120-21-4	22	d8-Toluol	HS	-
1	10,07	A+	932	1012	1000	1,2	20046780	Decane	124-18-5	224	n-Decan (C10)	LLE	-
2	10,80	A+	827	1046	1029	1,6	19176959	Indane	496-11-7	214	n-Decan (C10)	LLE	-
3	12,16	A+	893	1109	1100	0,8	37780147	Undecane	1120-21-4	407	n-Undecan (C11)	LLE	-
4	13,16	A+	835	1159	1119	3,6	19814612	1,3,8-p-Menthatriene	18368-95-1	213	n-Undecan (C11)	LLE	-
5	13,84	A+	907	1194	1182	1,0	24691968	Naphthalene	91-20-3	266	n-Undecan (C11)	LLE	-
6	14,07	A+	864	1206	1200	0,5	34735278	Dodecane	112-40-3	90	n-Dodecan (C12)	LLE	-
7	15,31	A+	908	1275	1261	1,1	17360679	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-6-methyl-	1680-51-9	45	n-Dodecan (C12)	LLE	-
8	15,86	A+	894	1305	1307	0,1	123882787	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	221	n-Tridecan (C13)	LLE	-
9	25,40	A+	811	1962	1965	0,2	36665919	Dibutyl phthalate	84-74-2	27	n-Nonadecan (C19)	LLE	-
10	27,45	A+	807	2136	2112	1,1	276335889	Dodecanoic acid, isoocetyl ester	84713-06-4	268	n-Heneicosan (C21)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Versuch 1 | Input | 2021-00903 | Altsäure

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	4,507	A	940	432	76	468,9	9451535	Silane, difluorodimethyl-	353-66-2	21	d8-Toluol	HS	-
2	5,594	A	929	458	202	126,6	4143982	Trimethylsilyl fluoride	420-56-4	9,2	d8-Toluol	HS	-
3	16,08	A+	877	702	711	1,3	490355	Furan, tetrahydro-2,5-dimethyl-	1003-38-9	1,1	d8-Toluol	HS	-
4	19,06	A+	926	772	794	2,8	568784	Toluene	108-88-3	1,3	d8-Toluol	HS	C
1	15,18	A	928	1267	1180	7,4	48901128	Octanoic acid	124-07-2	126	n-Dodecan (C12)	LLE	-
2	25,39	A+	897	1961	1965	0,2	43112804	Dibutyl phthalate	84-74-2	32	n-Nonadecan (C19)	LLE	-
3	26,07	A+	808	2017	1968	2,5	55259222	n-Hexadecanoic acid	57-10-3	48	n-Eicosan (C20)	LLE	-
4	27,18	A+	838	2113	2110	0,1	48671196	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	1937-62-8	47	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
5	29,71	A	810	2346	2547	7,9	45623492	Erucic acid	112-86-7	54	n-Tricosan (C23)	LLE	-
6	30,92	A	801	2464	2906	15,2	53147762	1-Hexacosanol	506-52-5	66	n-Tetracosan (C24)	LLE	-
7	31,70	A+	808	2540	2596	2,1	47522561	1-Hexacosene	18835-33-1	60	n-Pentacosan (C25)	LLE	-
8	33,47	A	805	2734	2593	5,4	37794042	1-Hexacosene	18835-33-1	49	n-Heptacosan (C27)	LLE	-
9	33,68	A	846	2758	2595	6,3	59646196	Glycerol, 1-O-cis-vaccenyl	76971-20-5	77	n-Heptacosan (C27)	LLE	-
10	34,54	A+	817	2857	2950	3,2	54651502	Decyl oleate	3687-46-5	70	n-Octacosan (C28)	LLE	-
1	7,761	A	939	508	463	9,8	5641420	Ethanol	64-17-5	13	d8-Toluol	HS	-
2	8,741	A	974	531	455	16,7	17969966	Acetone	67-64-1	40	d8-Toluol	HS	-
3	16,07	A+	947	702	699	0,4	1892598	1-Pentene, 2,4,4-trimethyl-	107-39-1	4,2	d8-Toluol	HS	-
4	22,80	A	966	859	907	5,3	3798044	p-Xylene	106-42-3	8,4	d8-Toluol	HS	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
5	24,66	A+	964	902	936	3,6	5743093	Ethanol, 2-butoxy-	111-76-2	13	d8-Toluol	HS	C
6	25,34	A	934	918	827	11,0	2913754	Cyclotetrasiloxane, octamethyl-	2370-88-9	6,5	d8-Toluol	HS	-
7	26,11	A+	937	936	981	4,6	25407811	Heptane, 2,2,4,6,6-pentamethyl-	13475-82-6	56	d8-Toluol	HS	-
8	28,96	A	963	1002	1115	10,1	10805657	Undecane	1120-21-4	24	d8-Toluol	HS	-
9	29,52	A+	957	1015	1059	4,1	23137948	1-Octanol	111-87-5	51	d8-Toluol	HS	-
1	9,38	A	937	981	1036	5,3	37848108	2-Heptanethiol, 2-methyl-	763-20-2	422	n-Decan (C10)	LLE	-
2	11,68	A+	933	1086	1059	2,6	87754548	1-Octanol	111-87-5	979	n-Decan (C10)	LLE	-
3	13,28	A+	908	1165	1157	0,7	25419986	Benzene, pentyl-	538-68-1	274	n-Undecan (C11)	LLE	-
4	14,01	A+	911	1202	1200	0,2	24760378	Dodecane	112-40-3	64	n-Dodecan (C12)	LLE	-
5	17,05	A+	897	1375	1400	1,8	34600646	Tetradecane	629-59-4	62	n-Tridecan (C13)	LLE	-
6	19,23	A+	854	1512	1513	0,1	38517546	Butylated Hydroxytoluene	128-37-0	44	n-Pentadecan (C15)	LLE	-
7	20,66	A	833	1607	1695	5,2	37348662	1,2,4-Butanetriol, 4-O-octyl-	156-49-0	43	n-Pentadecan (C15)	LLE	-
8	23,66	A+	865	1824	1800	1,3	62503236	Octadecane	593-45-3	38	n-Octadecan (C18)	LLE	-
9	28,70	A	822	2250	2141	5,1	647394682	Oleic Acid	112-80-1	733	n-Docosan (C22)	LLE	-
10	30,66	A	804	2438	2110	15,5	164344842	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	1937-62-8	203	n-Tetracosan (C24)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Versuch 1 | Output | 2021-00906 | Reaktor nach Behandlung, vor KFP

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	5,423	A	948	454	408	11,2	1485885	Acetaldehyde	75-07-0	3,3	d8-Toluol	HS	-
2	7,714	A	924	507	463	9,5	2681288	Ethanol	64-17-5	6,0	d8-Toluol	HS	-
3	8,73	A	962	531	455	16,7	3680564	Acetone	67-64-1	8,2	d8-Toluol	HS	-
4	9,11	A	928	540	482	12,0	3210096	Isopropyl Alcohol	67-63-0	7,1	d8-Toluol	HS	-
5	16,00	A	936	700	662	5,8	822714	1-Butanol	71-36-3	1,8	d8-Toluol	HS	-
6	18,21	A	931	752	995	24,4	1641223	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7	3,6	d8-Toluol	HS	-
7	21,31	A	901	824	1107	25,6	1783468	Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	13360-65-1	4,0	d8-Toluol	HS	-
8	22,81	A	948	859	907	5,3	1006217	p-Xylene	106-42-3	2,2	d8-Toluol	HS	-
9	29,52	A+	892	1015	1059	4,1	1016054	1-Octanol	111-87-5	2,3	d8-Toluol	HS	-
1	11,74	A+	896	1089	1059	2,8	124662211	1-Octanol	111-87-5	1390	n-Decan (C10)	LLE	-
2	17,57	A+	896	1407	1400	0,5	44493108	Tetradecane	629-59-4	62	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
3	19,18	A+	824	1509	1513	0,3	42870027	Butylated Hydroxytoluene	128-37-0	49	n-Pentadecan (C15)	LLE	-
4	20,58	A+	811	1601	1568	2,1	117372328	Dodecanoic acid	143-07-7	81	n-Hexadecan (C16)	LLE	-
5	23,55	A	874	1815	1504	20,7	120386767	1-Decanol, 2-hexyl-	2425-77-6	73	n-Octadecan (C18)	LLE	-
6	24,34	A+	805	1877	1909	1,7	36634457	2-Heptadecanol	16813-18-6	22	n-Octadecan (C18)	LLE	-
7	25,08	A+	853	1936	1926	0,5	35228015	Hexadecanoic acid, methyl ester	112-39-0	26	n-Nonadecan (C19)	LLE	-
8	27,25	A+	817	2118	2112	0,3	189424960	Dodecanoic acid, isooctyl ester	84713-06-4	184	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
9	29,44	A+	860	2319	2374	2,3	34741271	Tetradecanoic acid, octyl ester	16260-26-7	41	n-Tricosan (C23)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
10	30,47	A+	827	2419	2368	2,1	79557946	Dodecanoic acid, decyl ester	36528-28-6	98	n-Tetracosan (C24)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Versuch 1 | Output | 2021-00895 | Filtrat nach KFP

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	5,402	A	965	453	408	11,1	9040929	Acetaldehyde	75-07-0	20	d8-Toluol	HS	-
2	7,731	A	934	508	463	9,6	2682287	Ethanol	64-17-5	6,0	d8-Toluol	HS	-
3	8,733	A	975	531	455	16,7	6597242	Acetone	67-64-1	15	d8-Toluol	HS	-
4	9,127	A	969	540	482	12,1	1132330	Isopropyl Alcohol	67-63-0	2,5	d8-Toluol	HS	-
5	12,467	A+	944	618	607	1,8	341009	Butanal	123-72-8	0,76	d8-Toluol	HS	-
6	12,634	A	924	622	691	10,0	213738	2,3-Butanedione	431-03-8	0,47	d8-Toluol	HS	-
7	15,464	A	910	688	615	11,8	362880	2-Butenal	4170-30-3	0,81	d8-Toluol	HS	-
8	22,868	A	882	860	797	8,0	210464	1-Methoxy-2-propyl acetate	108-65-6	0,47	d8-Toluol	HS	-
9	24,662	A+	895	902	936	3,6	836692	Ethanol, 2-butoxy-	111-76-2	1,9	d8-Toluol	HS	C
10	28,353	A+	945	988	1030	4,1	1497320	1-Hexanol, 2-ethyl-	1647-08-1	3,3	d8-Toluol	HS	-
1	11,85	A+	966	1094	1059	3,3	211373412	1-Octanol	111-87-5	2358	n-Decan (C10)	LLE	-
2	15,50	A	937	1285	1180	8,9	177224750	Octanoic acid	124-07-2	457	n-Dodecan (C12)	LLE	-
3	16,26	A+	830	1329	1334	0,4	157609690	Ethanol, 2-(octyloxy)-	10020-43-6	281	n-Tridecan (C13)	LLE	-
4	17,85	A+	873	1425	1372	3,8	205375577	n-Decanoic acid	334-48-5	286	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
5	19,38	A	861	1522	1616	5,8	102229819	Tributyl phosphate	126-73-8	117	n-Pentadecan (C15)	LLE	C/D/E
6	20,65	A	807	1606	2006	19,9	220261379	Diethylene glycol monododecyl ether	3055-93-4	153	n-Hexadecan (C16)	LLE	-
7	24,39	A	837	1881	2281	17,5	176633974	Triethylene glycol monododecyl ether	3055-94-5	108	n-Octadecan (C18)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
8	27,64	A	813	2153	2556	15,8	110635963	Tetraethylene glycol monododecyl ether	5274-68-0	107	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
9	30,52	A	803	2424	2830	14,4	70595033	Pentaethylene glycol monododecyl ether	3055-95-6	87	n-Tetracosan (C24)	LLE	-
10	31,26	A	810	2498	3105	19,5	76307728	Hexaethylene glycol monododecyl ether	3055-96-7	94	n-Tetracosan (C24)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## J.2 Versuch 2 GC-MS-Non-Target-Screening

### Versuch 2 | Input | 2021-00902 | Altsäure

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	5,586	A	946	458	202	126,5	14813511	Trimethylsilyl fluoride	420-56-4	33	d8-Toluol	HS	-
2	12,651	A	940	622	369	68,6	7848523	Silanol, trimethyl-	1066-40-6	17	d8-Toluol	HS	-
3	14,54	A	927	666	514	29,6	1413191	Disiloxane, hexamethyl-	107-46-0	3,1	d8-Toluol	HS	-
4	20,75	A+	946	811	806	0,6	651604	Hexanal	66-25-1	1,4	d8-Toluol	HS	-
5	27,08	A+	940	959	982	2,4	862593	Benzaldehyde	100-52-7	1,9	d8-Toluol	HS	C
1	15,91	A	927	1308	1180	10,8	825124898	Octanoic acid	124-07-2	1471	n-Tridecan (C13)	LLE	-
2	16,18	A+	834	1324	1325	0,1	10557685	Decanoic acid, methyl ester	110-42-9	19	n-Tridecan (C13)	LLE	-
3	17,06	A+	803	1376	1.368	0,6	6204029	Benzene, heptyl-	1078-71-3	11	n-Tridecan (C13)	LLE	-
4	18,32	A	939	1454	1373	5,9	355509327	n-Decanoic acid	334-48-5	495	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
5	25,68	A+	940	1985	1965	1,0	49329024	Dibutyl phthalate	84-74-2	36	n-Nonadecan (C19)	LLE	-
6	27,47	A+	815	2138	2110	1,3	76491484	9-Octadecenoic acid, methyl ester, (E)-	1937-62-8	74	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
7	28,56	A+	801	2237	2175	2,8	150905769	9-Octadecenoic acid, (E)-	112-79-8	171	n-Docosan (C22)	LLE	-
8	37,41	A+	848	3209	3200	0,3	7854477	Dotriacontane	544-85-4	10	n-Dotriacontan (C32)	LLE	-
9	39,92	A+	812	3552	3521	0,9	10618564	Hexadecanoic acid, 9-octadecenyl ester, (Z)-	2906-55-0	12	n-Pentatriacontan (C35)	LLE	-
10	41,21	A+	870	3734	3696	1,0	25790678	Oleyl oleate	3687-45-4	31	n-Heptatriacontan (C37)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Versuch 2 | Input | 2021-00899 | Emulsion

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	9,829	A	966	556	518	7,4	19025250	Methylene chloride	75-09-2	42	d8-Toluol	HS	C
2	11,127	A	944	587	618	5,1	5630758	n-Hexane	110-54-3	13	d8-Toluol	HS	-
3	15,02	A+	918	678	667	1,6	3927212	Triethylamine	121-44-8	8,7	d8-Toluol	HS	-
4	22,81	A	963	859	907	5,3	4159231	p-Xylene	106-42-3	9,2	d8-Toluol	HS	-
5	24,50	A+	926	899	894	0,5	3230211	Pyrazine, 2,5-dimethyl-	123-32-0	7,2	d8-Toluol	HS	-
6	26,85	A+	858	953	981	2,8	7153845	Heptane, 2,2,4,4,6,6-pentamethyl-	13475-82-6	16	d8-Toluol	HS	-
7	27,48	A	844	968	1294	25,2	10988443	Nonane, 2,2,4,4,6,8,8-heptamethyl-	4390-04-9	24	d8-Toluol	HS	-
8	28,10	A	854	982	1210	18,8	19447368	Undecane, 3,6-dimethyl-	17301-28-9	43	d8-Toluol	HS	-
9	28,61	A	843	994	1249	20,4	7156307	Dodecane, 4-methyl-	6117-97-1	16	d8-Toluol	HS	-
10	29,45	A	850	1014	1107	8,4	4689707	Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	13360-65-1	10	d8-Toluol	HS	-
2	13,32	A+	837	1167	1155	1,0	20198258	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-	119-64-2	218	n-Undecan (C11)	LLE	-
3	13,81	A+	871	1192	1182	0,8	23875293	Naphthalene	91-20-3	257	n-Undecan (C11)	LLE	C
4	15,83	A+	822	1304	1300	0,3	33802079	Tridecane	629-50-5	60	n-Tridecan (C13)	LLE	-
5	16,92	A+	801	1368	1366	0,1	21170309	Dodecane, 2,6,10-trimethyl-	3891-98-3	38	n-Tridecan (C13)	LLE	-
6	17,57	A+	827	1407	1393	1,0	62978308	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-6,7-dimethyl-	1076-61-5	112	n-Tridecan (C13)	LLE	-
7	18,39	A	833	1459	1250	16,7	38102917	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,5,7-trimethyl-	21693-55-0	53	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
8	19,29	A	810	1511	1616	6,5	88481551	Tributyl phosphate	126-73-8	61	n-Hexadecan (C16)	LLE	C/D/E

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
9	26,74	A+	875	2075	2068	0,3	43034117	9-Octadecen-1-ol, (E)-	506-42-3	38	n-Eicosan (C20)	LLE	-
10	27,16	A+	840	2111	2112	0,1	47565908	Dodecanoic acid, isoocetyl ester	84713-06-4	46	n-Heneicosan (C21)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Versuch 2 | Output | 2021-00905 | Reaktor nach Behandlung, vor KFP

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	4,94	A+	936	443	427	3,6	325429	2-Butene	107-01-7	0,72	d8-Toluol	HS	-
2	5,38	A	922	453	408	11,0	384199	Acetaldehyde	75-07-0	0,85	d8-Toluol	HS	-
3	7,74	A	912	508	463	9,6	703271	Ethanol	64-17-5	1,6	d8-Toluol	HS	-
4	7,96	A+	930	513	495	3,6	1057309	Ethyl ether	60-29-7	2,3	d8-Toluol	HS	-
5	8,74	A	953	531	455	16,7	2003113	Acetone	67-64-1	4,5	d8-Toluol	HS	-
6	9,83	A	969	556	518	7,4	8454590	Methylene chloride	75-09-2	19	d8-Toluol	HS	C
7	12,65	A	949	622	369	68,6	1214826	Silanol, trimethyl-	1066-40-6	2,7	d8-Toluol	HS	-
8	16,01	A	929	701	662	5,8	464745	1-Butanol	71-36-3	1,0	d8-Toluol	HS	-
9	20,11	A+	933	796	769	3,5	2616568	Methyl neopentyl ketone	590-50-1	5,8	d8-Toluol	HS	-
10	21,79	A+	886	835	797	4,8	358017	3-Hexen-2-one, 5-methyl-	5166-53-0	0,80	d8-Toluol	HS	-
1	11,59	A+	843	1082	1082	0,0	19751824	Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	13360-65-1	220	n-Decan (C10)	LLE	-
2	13,81	A+	928	1192	1187	0,4	30079839	Ethanol, 1-(2-butoxyethoxy)-	54446-78-5	324	n-Undecan (C11)	LLE	-
3	15,81	A+	904	1302	1300	0,2	19032242	Tridecane	629-50-5	34	n-Tridecan (C13)	LLE	-
4	17,11	A+	830	1379	1400	1,5	17265941	Tetradecane	629-59-4	31	n-Tridecan (C13)	LLE	-
5	17,56	A+	880	1406	1400	0,5	36276674	Tetradecane	629-59-4	51	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
6	19,30	A	837	1516	1616	6,2	38162575	Tributyl phosphate	126-73-8	44	n-Pentadecan (C15)	LLE	C/D/E
7	26,78	A+	857	2078	2068	0,5	28492412	9-Octadecen-1-ol, (E)-	506-42-3	25	n-Eicosan (C20)	LLE	-
8	27,20	A+	809	2114	2112	0,1	61917844	Dodecanoic acid, isoocetyl ester	84713-06-4	60	n-Heneicosan (C21)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
9	29,48	A+	822	2323	2336	0,5	26314507	Ethanol, 2-(9-octadecenyloxy)-, (E)-	17367-07-6	31	n-Tricosan (C23)	LLE	-
10	41,22	A+	867	3736	3696	1,1	36030463	Oleyl oleate	3687-45-4	43	n-Heptatriacontan (C37)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

Versuch 2 | Output | 2021-00897 | Filtrat nach KFP

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	7,958	A+	900	513	495	3,6	842468	Ethyl ether	60-29-7	1,9	d8-Toluol	HS	-
2	8,75	A	958	531	455	16,8	1447514	Acetone	67-64-1	3,2	d8-Toluol	HS	-
3	9,829	A	972	556	518	7,4	5498368	Methylene chloride	75-09-2	12	d8-Toluol	HS	C
4	11,777	A	970	602	562	7,1	926773	1-Propanol	71-23-8	2,1	d8-Toluol	HS	-
5	12,891	A	904	628	555	13,1	1037807	2-Butanone	78-93-3	2,3	d8-Toluol	HS	-
6	24,503	A+	934	899	917	2,0	2204403	Pyrazine, 2,5-dimethyl-	123-32-0	4,9	d8-Toluol	HS	-
7	24,662	A+	928	902	936	3,6	1334590	Ethanol, 2-butoxy-	111-76-2	3,0	d8-Toluol	HS	C
8	27,321	A	898	964	894	7,9	1026697	Pyrazine, trimethyl-	14667-55-1	2,3	d8-Toluol	HS	-
9	28,349	A+	961	988	1030	4,1	11850997	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7	26	d8-Toluol	HS	-
1	10,71	A+	963	1042	995	4,7	32231697	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7	360	n-Decan (C10)	LLE	-
2	11,66	A+	922	1085	1055	2,9	114117366	Pyrazine, 3-ethyl-2,5-dimethyl-	13360-65-1	1273	n-Decan (C10)	LLE	-
3	12,58	A+	954	1130	1124	0,5	43990774	Isophorone	78-59-1	474	n-Undecan (C11)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
4	13,82	A+	808	1193	1231	3,1	36400104	Naphthalene	91-20-3	392	n-Undecan (C11)	LLE	C
5	15,28	A	945	1273	1124	13,2	936288503	Hexanoic acid, 3,5,5-trimethyl-	3302-10-1	2414	n-Dodecan (C12)	LLE	-
6	16,01	A+	805	1314	1288	2,0	158471373	Nonanoic acid, 2,4,6-trimethyl-, methyl ester, (R,R,R)-(-)-	2490-57-5	283	n-Tridecan (C13)	LLE	-
7	16,44	A+	852	1339	1287	4,1	68901751	Neodecanoic acid	26896-20-8	123	n-Tridecan (C13)	LLE	-
8	17,97	A+	873	1432	1373	4,3	52497825	n-Decanoic acid	334-48-5	73	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
9	19,52	A	833	1531	1616	5,3	207488327	Tributyl phosphate	126-73-8	238	n-Pentadecan (C15)	LLE	C/D/E
10	27,06	A+	805	2102	2112	0,5	34930740	Dodecanoic acid, isooctyl ester	84713-06-4	34	n-Heneicosan (C21)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### J.3 Versuch 3 GC-MS-Non-Target-Screening

#### Versuch 3 | Input | 2021-00901 | Emulsion

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	7,735	A	953	508	463	9,6	7432585	Ethanol	64-17-5	17	d8-Toluol	HS	-
2	8,737	A	983	531	455	16,7	22312107	Acetone	67-64-1	50	d8-Toluol	HS	-
3	9,14	A	973	540	482	12,1	6633469	Isopropyl Alcohol	67-63-0	15	d8-Toluol	HS	-
4	10,48	A	926	572	510	12,1	27667986	tert-Butyl methyl ether	1634-04-4	61	d8-Toluol	HS	-
5	12,47	A+	919	618	609	1,5	16016806	tert-Butyl Ethyl ether	637-92-3	36	d8-Toluol	HS	-
6	12,88	A	939	628	555	13,1	5144446	2-Butanone	78-93-3	11	d8-Toluol	HS	-
7	16,00	A	927	700	662	5,8	10037392	1-Butanol	71-36-3	22	d8-Toluol	HS	-
8	19,44	A	950	781	716	9,0	17187239	2-Pentanol, 4-methyl-	108-11-2	38	d8-Toluol	HS	-
9	25,49	A+	945	922	955	3,5	13229943	2-Propanol, 1-butoxy-	5131-66-8	29	d8-Toluol	HS	-
10	28,35	A+	961	988	995	0,7	17238016	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7	38	d8-Toluol	HS	-
1	8,79	A+	918	954	945	0,9	47909796	2-Propanol, 1-butoxy-	5131-66-8	534	n-Decan (C10)	LLE	-
2	10,93	A+	961	1052	1030	2,1	231592281	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7	2583	n-Decan (C10)	LLE	-
3	11,66	A+	925	1085	1059	2,5	32166546	1-Octanol	111-87-5	359	n-Decan (C10)	LLE	-
4	15,22	A	839	1270	1337	5,0	47209793	3-Buten-2-one, 4-phenyl-	122-57-6	122	n-Dodecan (C12)	LLE	-
5	17,31	A+	930	1391	1330	4,6	399277961	3-Buten-2-one, 4-phenyl-, (E)-	1896-62-4	712	n-Tridecan (C13)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
6	18,83	A	929	1486	1371	8,4	38005894	1-Undecanol	112-42-5	53	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
7	20,55	A+	951	1599	1604	0,3	52661885	2-Naphthyl methyl ketone	93-08-3	60	n-Pentadecan (C15)	LLE	-
8	23,61	A	902	1820	1504	21,0	47851238	1-Decanol, 2-hexyl-	2425-77-6	29	n-Octadecan (C18)	LLE	-
9	28,70	A	844	2250	2141	5,1	475623346	Oleic Acid	112-80-1	539	n-Docosan (C22)	LLE	-
10	35,67	A	825	2990	4058	26,3	25613840	Oleic acid, 2-(1-octadecenyloxy)ethyl ester, (E)-	30760-08-8	32	n-Nonacosan (C29)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 3 | Output | 2021-00898 | Destillat nach Vakuumverdampfer

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	7,731	A	944	508	463	9,6	5147060	Ethanol	64-17-5	11	d8-Toluol	HS	-
2	8,733	A	983	531	455	16,7	34371332	Acetone	67-64-1	76	d8-Toluol	HS	-
3	9,135	A	965	540	482	12,1	3159730	Isopropyl Alcohol	67-63-0	7,0	d8-Toluol	HS	-
4	13,28	A	970	637	581	9,6	2090134	2-Butanol	78-92-2	4,6	d8-Toluol	HS	-
5	16,004	A	940	700	662	5,8	5032860	1-Butanol	71-36-3	11	d8-Toluol	HS	-
6	19,438	A	943	780	716	9,0	5016883	2-Pentanol, 4-methyl-	108-11-2	11	d8-Toluol	HS	-
7	24,666	A+	921	902	936	3,6	1658250	Ethanol, 2-butoxy-	111-76-2	3,7	d8-Toluol	HS	C
8	25,492	A+	938	922	955	3,5	9090363	2-Propanol, 1-butoxy-	5131-66-8	20	d8-Toluol	HS	-
9	27,077	A+	938	959	982	2,4	1724116	Benzaldehyde	100-52-7	3,8	d8-Toluol	HS	C
10	28,349	A+	963	988	995	0,7	5704330	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7	13	d8-Toluol	HS	-
1	8,80	A+	937	954	945	1,0	49904552	2-Propanol, 1-butoxy-	5131-66-8	557	n-Decan (C10)	LLE	-
2	9,25	A+	925	975	982	0,8	35852994	Benzaldehyde	100-52-7	400	n-Decan (C10)	LLE	C
3	10,83	A	963	1047	995	5,2	93832643	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7	1047	n-Decan (C10)	LLE	-
4	17,69	A	819	1414	1236	14,4	1395970097	3-Buten-2-one, 4-phenyl-, (E)-	1896-62-4	1944	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
5	18,27	A	840	1451	1373	5,7	96108171	n-Decanoic acid	334-48-5	134	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
6	19,61	A+	803	1537	1616	4,9	49979317	Tributyl phosphate	126-73-8	57	n-Pentadecan (C15)	LLE	-
7	19,73	A+	857	1545	1507	2,5	28888174	o-Hydroxybiphenyl	90-43-7	33	n-Pentadecan (C15)	LLE	C/D/E
8	20,82	A+	899	1618	1592	1,7	366210193	2-Naphthyl methyl ketone	93-08-3	254	n-Hexadecan (C16)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
9	23,44	A	899	1807	1504	20,2	31147872	1-Decanol, 2-hexyl-	2425-77-6	19	n-Octadecan (C18)	LLE	-
10	27,06	A+	819	2102	2112	0,5	38082370	Dodecanoic acid, isoctyl ester	84713-06-4	37	n-Heneicosan (C21)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## J.4 Versuch 4 GC-MS-Non-Target-Screening

### Versuch 4 | Input | 2021-00853 | Abfallsäure

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	4,678	A	975	436	332	31,4	9315114	Chloromethane	74-87-3	21	d8-Toluol	HS	-
2	6,091	A	927	469	415	13,1	385946	Bromomethane	74-83-9	0,86	d8-Toluol	HS	-
1	25,406	A+	847	1963	1968	0,3	6641920	n-Hexadecanoic acid	57-10-3	4,9	n-Nonadecan (C19)	LLE	-
2	25,763	A+	805	1992	1961	1,6	3248021	cis-7-Hexadecenoic acid	2416-19-5	2,4	n-Nonadecan (C19)	LLE	-
3	26,997	A+	858	2096	2112	0,7	18718006	Dodecanoic acid, isooctyl ester	84713-06-4	16	n-Eicosan (C20)	LLE	-
4	27,283	A+	812	2122	2128	0,3	2595336	Methyl stearate	112-61-8	2,5	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
5	29,195	A+	844	2296	2375	3,3	3593773	Tetradecanoic acid, octyl ester	16260-26-7	4,3	n-Tricosan (C23)	LLE	-
6	31,228	A+	885	2495	2506	0,4	2966401	Pentacosane	629-99-2	3,7	n-Pentacosan (C25)	LLE	-
7	32,875	A+	807	2666	2705	1,4	2442961	Heptacosane	593-49-7	3,1	n-Hexacosan (C26)	LLE	-
8	34,003	A+	911	2795	2804	0,3	2382115	Octacosane	630-02-4	3,0	n-Octacosan (C28)	LLE	-
9	35,694	A+	868	2993	3003	0,3	2814249	Triacontane	638-68-6	3,4	n-Triacontan (C30)	LLE	-
10	36,504	A+	837	3094	3103	0,3	2689428	Hentriacontane	630-04-6	3,2	n-Hentriacontan (C31)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 4 | Input | 2021-00854 | Abfallsäure + Dekantat

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	4,502	A	951	432	76	468,8	310313	Silane, difluorodimethyl-	353-66-2	0,69	d8-Toluol	HS	-
2	4,682	A	975	436	332	31,5	2904871	Chloromethane	74-87-3	6,5	d8-Toluol	HS	-
3	9,12	A+	946	540	524	3,0	3609895	Carbon disulfide	75-15-0	8,0	d8-Toluol	HS	-
4	19,09	A+	949	772	794	2,7	1858578	Toluene	108-88-3	4,1	d8-Toluol	HS	C
5	28,10	A+	893	982	1019	3,6	325238	Hexanoic acid, 2-ethyl-, methyl ester	816-19-3	0,72	d8-Toluol	HS	-
1	25,391	A+	886	1962	1968	0,3	2893197	n-Hexadecanoic acid	57-10-3	2,1	n-Nonadecan (C19)	LLE	-
2	26,988	A+	838	2095	2112	0,8	16083266	Dodecanoic acid, isooctyl ester	84713-06-4	16	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
3	28,19	A+	801	2203	2175	1,3	2167531	cis-13-Octadecenoic acid	13126-39-1	2,5	n-Docosan (C22)	LLE	-
4	29,18	A+	827	2294	2375	3,4	3186971	Tetradecanoic acid, octyl ester	16260-26-7	3,6	n-Docosan (C22)	LLE	-
5	30,23	A+	884	2395	2407	0,5	1901607	Tetracosane	646-31-1	2,3	n-Tricosan (C23)	LLE	-
6	31,22	A+	891	2494	2506	0,5	2457677	Pentacosane	629-99-2	3,1	n-Pentacosan (C25)	LLE	-
7	33,99	A+	926	2793	2804	0,4	1813438	Octacosane	630-02-4	2,3	n-Octacosan (C28)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
8	35,69	A+	901	2992	3003	0,4	2020867	Triacontane	638-68-6	2,5	n-Triacontan (C30)	LLE	-
9	36,49	A+	890	3092	3103	0,4	1963691	Hentriacontane	630-04-6	2,4	n-Hentriacontan (C31)	LLE	-
10	37,27	A+	880	3191	3202	0,4	1816013	Dotriacontane	544-85-4	2,2	n-Dotriacontan (C32)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 4 | Output | 2021-00855 | Dekantat

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	19,082	A+	954	772	794	2,8	2452853	Toluene	108-88-3	5,5	d8-Toluol	HS	C
2	22,568	A+	902	853	893	4,4	405685	Ethylbenzene	100-41-4	0,90	d8-Toluol	HS	C
3	22,84	A	943	860	907	5,2	1067543	o-Xylene	95-47-6	2,4	d8-Toluol	HS	-
4	23,80	A+	956	882	907	2,8	390616	p-Xylene	106-42-3	0,87	d8-Toluol	HS	-
5	25,87	A	933	930	1006	7,5	456451	Benzene, 1-ethyl-3-methyl-	620-14-4	1,0	d8-Toluol	HS	-
6	27,02	A	944	957	1020	6,2	585640	Benzene, 1,2,4-trimethyl-	95-63-6	1,3	d8-Toluol	HS	-
1	10,61	A+	969	1037	995	4,2	1492247	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7	17	n-Decan (C10)	LLE	-
2	13,19	A+	942	1161	1109	4,7	60895040	Hexanoic acid, 2-ethyl-	149-57-5	656	n-Undecan (C11)	LLE	-
3	13,31	A+	820	1167	1124	3,8	1488791	Hexanoic acid, 3,5,5-trimethyl-	3302-10-1	16	n-Undecan (C11)	LLE	-
4	18,36	A+	862	1457	1504	3,2	1943653	1-Decanol, 2-hexyl-	2425-77-6	2,7	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
5	19,28	A+	802	1515	1570	3,5	7808915	Dodecanoic acid	143-07-7	9,0	n-Pentadecan (C15)	LLE	-
6	19,74	A	817	1545	1670	7,5	7420700	Tridecanoic acid	638-53-9	8,5	n-Pentadecan (C15)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
7	25,40	A+	900	1962	1968	0,3	2564251	n-Hexadecanoic acid	57-10-3	1,9	n-Nonadecan (C19)	LLE	-
8	26,99	A+	839	2095	2112	0,8	13104767	Dodecanoic acid, isoocetyl ester	84713-06-4	11	n-Eicosan (C20)	LLE	-
9	27,06	A+	884	2102	2085	0,8	1423661	10-Octadecenoic acid, methyl ester	13481-95-3	1,4	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
10	29,18	A+	860	2294	2375	3,4	2359732	Tetradecanoic acid, octyl ester	16260-26-7	2,7	n-Docosan (C22)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 4 | Output | 2021-00856 | Reaktor nach Behandlung, vor KFP Versuch 1

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	9,122	A+	935	540	524	3,0	3252722	Carbon disulfide	75-15-0	7,2	d8-Toluol	HS	-
2	19,086	A+	911	772	794	2,7	1061951	Toluene	108-88-3	2,4	d8-Toluol	HS	C
1	12,545	A+	950	1128	1109	1,7	5375895	Hexanoic acid, 2-ethyl-	149-57-5	58	n-Undecan (C11)	LLE	-
2	20,874	A+	939	1622	1615	0,4	12041475	Dodecanoic acid, 1-methylethyl ester	10233-13-3	8,3	n-Hexadecan (C16)	LLE	-
3	26,79	A+	900	2078	2049	1,4	12019363	Sulfur	10544-50-0	11	n-Eicosan (C20)	LLE	-
4	28,19	A	932	2203	2375	7,2	8100649	Eicosyl acetate	822-24-2	9,2	n-Docosan (C22)	LLE	-
5	30,23	A+	926	2395	2407	0,5	6954128	Tetracosane	646-31-1	8,3	n-Tricosan (C23)	LLE	-
6	30,73	A+	945	2445	2463	0,7	9039627	Phosphoric acid, tris(2-ethylhexyl) ester	78-42-2	11	n-Tetracosan (C24)	LLE	-
7	32,18	A+	923	2590	2606	0,6	5690114	Hexacosane	630-01-3	7,0	n-Tetracosan (C24)	LLE	-
8	33,11	A+	896	2694	2705	0,4	5837506	Heptacosane	593-49-7	7,5	n-Heptacosan (C27)	LLE	-
9	33,99	A+	932	2794	2804	0,4	5411415	Octacosane	630-02-4	7,0	n-Heptacosan (C27)	LLE	-
10	38,31	A+	934	3329	3321	0,3	6536160	γ-Sitosterol	83-47-6	8,0	n-Tritriacontan (C33)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 4 | Output | 2021-00857 | Filtrat nach KFP

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	9,118	A+	949	540	524	3,0	2074085	Carbon disulfide	75-15-0	4,6	d8-Toluol	HS	-
2	19,086	A+	916	772	794	2,7	1256432	Toluene	108-88-3	2,8	d8-Toluol	HS	C
1	20,871	A+	937	1622	1615	0,4	8970222	Dodecanoic acid, 1-methylethyl ester	10233-13-3	6,2	n-Hexadecan (C16)	LLE	-
2	24,194	A+	899	1818	1875	3,1	4957012	Hexanamide, 3,5,5-trimethyl-N-2-ethylhexyl-	1700656-13-8	3,0	n-Octadecan (C18)	LLE	-
3	28,191	A	932	2201	2375	7,3	6949794	Eicosyl acetate	822-24-2	7,9	n-Docosan (C22)	LLE	-
4	31,221	A+	895	2494	2506	0,5	4822696	Pentacosane	629-99-2	5,9	n-Tetracosan (C24)	LLE	-
5	32,182	A+	922	2587	2606	0,7	4803033	Hexacosane	630-01-3	6,0	n-Pentacosan (C25)	LLE	-
6	33,105	A+	902	2693	2705	0,4	5318271	Heptacosane	593-49-7	6,8	n-Hexacosan (C26)	LLE	-
7	33,997	A+	932	2794	2705	3,3	4572187	Heptacosane	593-49-7	5,9	n-Heptacosan (C27)	LLE	-
8	34,124	A+	942	2809	2808	0,0	4731232	Squalene	111-02-4	6,0	n-Octacosan (C28)	LLE	-
9	34,855	A+	919	2898	2904	0,2	4276450	Nonacosane	630-03-5	5,4	n-Nonacosan (C29)	LLE	-
10	38,311	A+	943	3329	3321	0,2	5522064	γ-Sitosterol	83-47-6	6,7	n-Tritriacontan (C33)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 4 | Output | 2021-00858 | Filtrat nach KFP und A-Kohle

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	7,748	A	919	508	463	9,7	726878	Ethanol	64-17-5	1,6	d8-Toluol	HS	-
2	8,75	A	968	531	455	16,8	4093313	Acetone	67-64-1	9,1	d8-Toluol	HS	-
3	10,505	A	918	572	510	12,2	1354652	tert-Butyl methyl ether	1634-04-4	3,0	d8-Toluol	HS	-
4	11,777	A	915	602	562	7,1	1752480	1-Propanol	71-23-8	3,9	d8-Toluol	HS	-
1	20,868	A+	944	1622	1615	0,4	10137315	Dodecanoic acid, 1-methylethyl ester	10233-13-3	7,0	n-Hexadecan (C16)	LLE	-
2	28,2	A	929	2204	2375	7,2	13366152	Eicosyl acetate	822-24-2	15	n-Docosan (C22)	LLE	-
3	30,23	A+	923	2395	2407	0,5	10486624	Tetracosane	646-31-1	12	n-Tricosan (C23)	LLE	-
4	31,228	A+	904	2495	2506	0,4	7850468	Pentacosane	629-99-2	10	n-Tetracosan (C24)	LLE	-
5	32,185	A+	925	2587	2606	0,7	7801632	Hexacosane	630-01-3	10	n-Pentacosan (C25)	LLE	-
6	33,108	A+	914	2694	2705	0,4	8517696	Heptacosane	593-49-7	11	n-Hexacosan (C26)	LLE	-
7	34,134	A+	946	2810	2808	0,1	12688705	Squalene	111-02-4	16	n-Octacosan (C28)	LLE	-
8	38,326	A+	934	3331	3321	0,3	27482338	γ-Sitosterol	83-47-6	33	n-Tritriacontan (C33)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
9	38,426	A+	932	3345	3343	0,0	9806722	Isofucosterol	481-14-1	12	n-Tritriacontan (C33)	LLE	-
10	41,236	A+	877	3738	3696	1,1	73946543	Oleyl oleate	3687-45-4	88	n-Heptatriacontan (C37)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## J.5 Versuch 5 GC-MS-Non-Target-Screening

### Versuch 5 | Input | 2021-01053 | Kupfernitrat

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	12,67	A+	963	1135	1135	0,0	25972619	Phenol, 2-nitro-	88-75-5	280	n-Undecan (C11)	LLE	-
2	15,35	A	914	1276	1476	13,5	945562	4-Chloro-2-nitrophenol	89-64-5	2,4	n-Dodecan (C12)	LLE	-
3	20,85	A+	944	1620	1618	0,1	1882394	Dodecanoic acid, 1-methylethyl ester	10233-13-3	1,3	n-Hexadecan (C16)	LLE	-
4	21,68	A	922	1678	1950	13,9	929355	Phenol, 2,4-di-t-butyl-6-nitro-	20039-94-5	0,64	n-Hexadecan (C16)	LLE	-
5	26,73	A+	905	2073	2049	1,2	1056842	Sulfur (S8)	10544-50-0	0,92	n-Eicosan (C20)	LLE	-
6	35,69	A+	900	2991	3000	0,3	1200299	Triacantane	638-68-6	1,4	n-Hentriacontan (C31)	LLE	-
7	36,49	A+	903	3093	3100	0,2	1491240	Hentriacontane	630-04-6	1,8	n-Hentriacontan (C31)	LLE	-
8	37,28	A	859	3192	2600	22,8	1579767	Hexacosane	630-01-3	1,9	n-Hentriacontan (C31)	LLE	-
9	38,03	A+	885	3291	3300	0,3	1370710	Tritriacontane	630-05-7	1,7	n-Dotriacontan (C32)	LLE	-
10	38,77	A+	852	3392	3400	0,2	1339410	Tettriacantane	14167-59-0	1,6	n-Tritriacontan (C33)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 5 | Output | 2021-01054 | Reaktor nach Behandlung, vor KFP

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	8,758	A	960	531	455	16,8	364463	Acetone	67-64-1	0,81	d8-Toluol	HS	-
2	9,105	A+	896	540	524	3,0	4521516	Carbon disulfide	75-15-0	10	d8-Toluol	HS	-
3	16,01	A	946	701	662	5,8	322633	1-Butanol	71-36-3	0,72	d8-Toluol	HS	-
1	15,75	A+	925	1299	1300	0,1	23430339	Tridecane	629-50-5	60	n-Dodecan (C12)	LLE	-
2	16,64	A+	877	1352	1293	4,5	17039770	2,2'-Isopropylidenebis(tetrahydrofuran)	89686-69-1	30	n-Tridecan (C13)	LLE	-
3	17,42	A+	928	1398	1400	0,2	11130342	Tetradecane	629-59-4	20	n-Tridecan (C13)	LLE	-
4	18,59	A+	846	1471	1451	1,4	5977161	Butanedioic acid, bis(2-methylpropyl) ester	925-06-4	8,3	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
5	20,12	A+	905	1571	1520	3,4	7177104	Glutaric acid, di(isobutyl) ester	71195-64-7	8,2	n-Pentadecan (C15)	LLE	-
6	20,85	A+	932	1620	1618	0,2	9918372	Dodecanoic acid, 1-methylethyl ester	10233-13-3	6,9	n-Hexadecan (C16)	LLE	-
7	21,12	A+	956	1639	1616	1,4	33780274	Tributyl phosphate	126-73-8	23	n-Hexadecan (C16)	LLE	C/D/E
8	24,54	A+	916	1892	1875	0,9	559817119	Hexanamide, 3,5,5-trimethyl-N-2-ethylhexyl-	1700656-13-8	342	n-Octadecan (C18)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 5 | Output | 2021-01055 | Filtrat nach KFP

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	5,30	A	967	451	856	47,3	721054	Sulfur dioxide		1,6	d8-Toluol	HS	-
2	8,75	A	937	531	455	16,7	833243	Acetone		1,9	d8-Toluol	HS	-
3	9,83	A	968	556	518	7,4	295723	Methylene chloride		0,66	d8-Toluol	HS	-
1	12,64	A+	806	1133	1123	0,9	3722230	Hexanoic acid, 2-ethyl-	149-57-5	40	n-Undecan (C11)	LLE	-
2	13,37	A+	938	1170	1124	4,1	71458949	Hexanoic acid, 3,5,5-trimethyl-	3302-10-1	770	n-Undecan (C11)	LLE	-
3	15,76	A+	940	1300	1298	0,1	5645096	Naphthalene, 2-methyl-	91-57-6	15	n-Dodecan (C12)	LLE	-
4	16,04	A+	931	1316	1307	0,7	3768512	Naphthalene, 1-methyl-	90-12-0	6,7	n-Tridecan (C13)	LLE	-
5	16,64	A+	925	1352	1293	4,5	8087592	2,2'-Isopropylidenebis(tetrahydrofuran)	89686-69-1	14	n-Tridecan (C13)	LLE	-
6	18,59	A+	894	1471	1451	1,4	4291884	Butanedioic acid, bis(2-methylpropyl) ester	925-06-4	6,0	n-Tetradecan (C14)	LLE	-
7	20,85	A+	924	1620	1618	0,1	5070696	Dodecanoic acid, 1-methylethyl ester	10233-13-3	3,5	n-Hexadecan (C16)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 5 | Output | 2021-01056 | Filtrat nach KFP und A-Kohle

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	4,973	A	970	443	856	48,2	18006357	Sulfur dioxide	7446-09-5	40	d8-Toluol	HS	-
2	7,769	A	957	508	463	9,8	380876	Ethanol	64-17-5	0,85	d8-Toluol	HS	-
3	8,74	A	935	531	455	16,7	1325229	Acetone	67-64-1	2,9	d8-Toluol	HS	-
4	9,14	A	960	540	482	12,1	599612	Isopropyl Alcohol	67-63-0	1,3	d8-Toluol	HS	-
5	11,76	A	966	601	562	7,0	1813787	1-Propanol	71-23-8	4,0	d8-Toluol	HS	-
1	14,47	A+	868	1228	1229	0,1	344218	Benzothiazole	95-16-9	0,89	n-Dodecan (C12)	LLE	C
2	20,84	A+	929	1620	1618	0,1	1399045	Dodecanoic acid, 1-methylethyl ester	10233-13-3	0,97	n-Hexadecan (C16)	LLE	-
3	24,19	A+	863	1865	1875	0,5	4581204	Hexanamide, 3,5,5-trimethyl-N-2-ethylhexyl-	1700656-13-8	2,8	n-Octadecan (C18)	LLE	-
4	26,15	A+	949	2024	2049	1,2	513673385	Sulfur (S8)	10544-50-0	449	n-Eicosan (C20)	LLE	-
5	35,69	A+	877	2992	3000	0,3	280382	Triacontane	638-68-6	0,35	n-Nonacosan (C29)	LLE	-
6	36,49	A+	914	3093	3100	0,2	322162	Hentriacontane	630-04-6	0,39	n-Triacontan (C30)	LLE	-
7	37,27	A	923	3192	2600	22,8	342890	Hexacosane	630-01-3	0,41	n-Hentriacontan (C31)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
8	38,03	A+	856	3291	3300	0,3	276308	Tritriacontane	630-05-7	0,34	n-Dotriacontan (C32)	LLE	-
9	38,76	A+	872	3390	3400	0,3	281095	Tetratriacontane	14167-59-0	0,34	n-Tritriacontan (C33)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## J.6 Versuch 6 GC-MS-Non-Target-Screening

### Versuch 6 | Input | 2021-01264 | Abfall Reaktor vor Behandlung

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	7,76	A	932	508	463	9,8	1410654	Ethanol	64-17-5	3,1	d8-Toluol	HS	-
2	9,11	A+	965	540	524	3,0	2189181	Carbon disulfide	75-15-0	4,9	d8-Toluol	HS	-
3	16,02	A	893	701	662	5,9	330259	1-Butanol	71-36-3	0,73	d8-Toluol	HS	-
4	19,06	A+	925	772	794	2,8	628056	Toluene	108-88-3	1,4	d8-Toluol	HS	-
1	24,22	A+	887	1864	1875	0,6	36365016	Hexanamide, 3,5,5-trimethyl-N-2-ethylhexyl-	1700656-13-8	21	n-Heptadecan (C17)	LLE	-
2	27,54	A+	914	2144	2209	2,9	37870577	Ethyl 6,9,12,15-octadecatetraenoate	19798-44-6	37	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
3	27,79	A+	924	2167	2173	0,3	158349807	Ethyl Oleate	111-62-6	154	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
4	28,08	A+	949	2193	2195	0,1	130495158	Octadecanoic acid, ethyl ester	111-61-5	127	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
5	28,90	A+	878	2269	2266	0,1	22354082	Ethyl 18-nonadecenoate	30379-25-0	25	n-Docosan (C22)	LLE	-
6	29,66	A+	904	2340	2406	2,7	454001586	5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid	2734-47-6	541	n-Tricosan (C23)	LLE	-
7	30,17	A+	932	2389	2415	1,1	109603406	Ethyl 5,8,11,14,17-icosapentaenoate	84494-70-2	131	n-Tricosan (C23)	LLE	-
8	30,71	A+	932	2443	2515	2,9	51347858	Ethyl 6,9,12,15,18-heneicosapentaenoate	131775-86-5	63	n-Tetracosan (C24)	LLE	-
9	31,51	A+	903	2522	2471	2,1	136714426	4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid, methyl ester, (all-Z)-	2566-90-7	172	n-Pentacosan (C25)	LLE	-
10	31,61	A+	922	2532	2614	3,1	28689400	Butyl 5,8,11,14,17-eicosapentaenoate	336763	36	n-Pentacosan (C25)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

**Versuch 6 | Output | 2021-01265 | Reaktor nach Behandlung, vor KFP**

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
1	7,748	A	927	508	463	9,7	420138	Ethanol	64-17-5	0,93	d8-Toluol	HS	-
2	9,097	A+	973	539	524	2,9	9836040	Carbon disulfide	75-15-0	22	d8-Toluol	HS	-
3	19,06	A+	913	772	794	2,8	703407	Toluene	108-88-3	1,6	d8-Toluol	HS	-
4	28,35	A+	959	988	995	0,7	336529	1-Hexanol, 2-ethyl-	104-76-7	0,75	d8-Toluol	HS	-
1	16,64	A+	850	1351	1300	3,9	27535748	Tridecane	629-50-5	49	n-Tridecan (C13)	LLE	-
2	17,45	A+	942	1399	1400	0,1	34962484	Tetradecane	629-59-4	62	n-Tridecan (C13)	LLE	-
3	27,53	A+	916	2144	2209	2,9	26259497	Ethyl 6,9,12,15-octadecatetraenoate	119798-44-6	25	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
4	27,77	A+	922	2165	2174	0,4	109770053	(E)-9-Octadecenoic acid ethyl ester	6114-18-7	107	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
5	28,07	A+	946	2192	2195	0,2	77966476	Octadecanoic acid, ethyl ester	111-61-5	76	n-Heneicosan (C21)	LLE	-
6	28,86	A+	829	2265	2266	0,0	27515159	Ethyl 18-nonadecenoate	30379-25-0	31	n-Docosan (C22)	LLE	-
7	29,63	A+	941	2337	2406	2,9	116835510	5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid	10417-94-4	139	n-Tricosan (C23)	LLE	-

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE	C/D/E/-
8	29,84	A+	881	2358	2415	2,4	52916350	Ethyl 5,8,11,14,17-icosapentaenoate	84494-70-2	63	n-Tricosan (C23)	LLE	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 6 | Output | 2021-01266 | Filtrat nach KFP

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE
1	7,74	A	951	508	463	9,7	429358	Ethanol	64-17-5	0,95	d8-Toluol	HS
2	9,088	A+	970	539	524	2,9	4356035	Carbon disulfide	75-15-0	9,7	d8-Toluol	HS
3	19,06	A+	925	772	794	2,8	866794	Toluene	108-88-3	1,9	d8-Toluol	HS
4	22,81	A	962	859	907	5,3	640342	p-Xylene	106-42-3	1,4	d8-Toluol	HS
1	14,49	A+	868	1229	1229	0,0	29352006	Benzothiazole	95-16-9	76	n-Dodecan (C12)	LLE
2	16,66	A+	926	1352	1293	4,6	39226206	2,2'-Isopropylidenebis(tetrahydrofuran)	89686-69-1	70	n-Tridecan (C13)	LLE
3	21,11	A+	932	1639	1616	1,4	40990135	Tributyl phosphate	126-73-8	28	n-Hexadecan (C16)	LLE
4	27,52	A+	901	2143	2209	3,0	19608534	Ethyl 6,9,12,15-octadecatetraenoate	19798-44-6	19	n-Heneicosan (C21)	LLE
5	27,76	A+	905	2164	2173	0,4	88709504	Ethyl Oleate	111-62-6	86	n-Heneicosan (C21)	LLE
6	28,06	A+	939	2191	2195	0,2	62590511	Octadecanoic acid, ethyl ester	111-61-5	61	n-Heneicosan (C21)	LLE
7	28,86	A+	808	2265	2266	0,1	20651747	Ethyl 18-nonadecenoate	30379-25-0	23	n-Docosan (C22)	LLE
8	29,64	A+	943	2338	2406	2,8	483826965	5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid	10417-94-4	576	n-Tricosan (C23)	LLE

Lfd. Nr.	RT in min	Identifizierungs-klasse	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE
9	29,97	A+	836	2370	2284	3,8	66639174	cis-Methyl 11-eicosenoate	2390-09-2	79	n-Tricosan (C23)	LLE
10	30,29	A+	908	2401	2363	1,6	106481581	Ethanol, 2-butoxy-, phosphate (3:1)	78-51-3	131	n-Tetracosan (C24)	LLE

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

### Versuch 6 | Output | 2021-01267 | Filtrat nach KFP und A-Kohle

Lfd. Nr	RT in min	Identifizierungs-kategorie	Matchfaktor X von 1000	RTI	RTI (Literatur)	Abw. RTI in %	Area	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.	Halbquantitative Analyse in µg/L	Bezugssubstanz zur halbquantitativen Konzentrationsberechnung	HS/LLE
1	7,752	A	906	508	463	9,7	798162	Ethanol	64-17-5	1,8	d8-Toluol	HS
1	27,51	A+	896	2142	2209	3,0	8984395	Ethyl 6,9,12,15-octadecatetraenoate	19798-44-6	8,7	n-Heneicosan (C21)	LLE
2	27,74	A+	911	2162	2173	0,5	25127114	Ethyl Oleate	111-62-6	24	n-Heneicosan (C21)	LLE
3	28,04	A+	950	2189	2195	0,3	30568269	Octadecanoic acid, ethyl ester	111-61-5	30	n-Heneicosan (C21)	LLE
4	28,86	A+	839	2264	2266	0,1	10628113	Ethyl 18-nonadecenoate	30379-25-0	12	n-Docosan (C22)	LLE
5	29,12	A+	849	2289	2278	0,5	8304975	Nonadecanoic acid, ethyl ester	18281-04-4	9,4	n-Docosan (C22)	LLE
6	29,64	A+	943	2338	2406	2,8	323256782	5,8,11,14,17-Eicosapentaenoic acid	10417-94-4	385	n-Tricosan (C23)	LLE
7	29,93	A+	887	2366	2483	4,7	65184276	n-Propyl 11-eicosenoate	k.A.	78	n-Tricosan (C23)	LLE
8	30,22	A+	893	2394	2363	1,3	30865201	Ethanol, 2-butoxy-, phosphate (3:1)	78-51-3	37	n-Tricosan (C23)	LLE
9	30,53	A+	921	2425	2515	3,6	6881629	Ethyl 6,9,12,15,18-heneicosapentaenoate	131775-86-5	8,5	n-Tetracosan (C24)	LLE
10	31,34	A+	898	2505	2471	1,4	11760449	4,7,10,13,16,19-Docosahexaenoic acid, methyl ester, (all-Z)-	2566-90-7	15	n-Pentacosan (C25)	LLE

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## J.7 GC-MS-Non-Target-Screening in den ersten beiden Messkampagnen (September und Dezember 2019)

### 2019-03853 | Abwasser Lethmate | 11.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1,2-Benzoldicarbonsäurebutyl-2-methylpropylester	000084-69-5	93194266	91%	-
2	2-[2-(2-butoxy)ethoxy]-ethanol	000143-22-6	22991438	91%	-
3	3-Phenoxypropan-1-ol	006180-61-6	62838620	90%	-
4	4-Chloro-2-nitrotoluol	000089-59-8	168747234	91%	-
5	Diethoxymethan	000462-95-3	34913817	80%	-
6	Ethanol, 2-butoxy-, phosphat (3:1)	000078-51-3	39317682	95%	C,D,E
7	N-Cyclohexylcyclohexanamin	000101-83-7	62847931	91%	-
8	o-Hydroxybiphenyl	000090-43-7	35303747	97%	C,D,E
9	Pentylcyclopropan	002511-91-3	25889456	95%	-
10	Tricyclo(5.2.1.0(2,6))decandimethanol	026896-48-0	115259718	87%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-03854 | Abwasser Lethmate | 12.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1,2-Benzoldicarbonsäurebutyl-2-methylpropylester	000084-69-5	109466700	86%	-
2	1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecan	017455-13-9	49842188	87%	-
3	2-Ethylhexan-1-ol	000104-76-7	68148984	83%	-
4	2-Propanol, 1-chloro-, phosphate (3:1)	013674-84-5	26552220	93%	C,D,E
5	Diethoxymethan	000462-95-3	30862136	80%	-
6	Eicosan	000112-95-8	22704988	94%	-
7	Ethanol, 2-butoxy-, phosphat (3:1)	000078-51-3	27404240	95%	C,D,E
8	N-(2-hydroxyethyl)-dodecanamid	068140-00-1	23061413	97%	-
9	o-Hydroxybiphenyl	000090-43-7	31971746	97%	C,D,E
10	Tricyclo(5.2.1.0(2,6))decandimethanol	026896-48-0	129858475	86%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-03855 | Abwasser Lethmate | 13.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1,2-Benzoldicarbonsäurebutyl-2-methylpropylester	000084-69-5	50420923	97%	-
2	1-Phenoxypropan-2-ol	000770-35-4	29230091	93%	-
3	2-Ethylhexan-1-ol	000104-76-7	34777903	83%	-
4	2-Phenoxyethanol	000122-99-6	76981632	90%	C,D,E
5	2-Propanol, 1-chloro-, phosphate (3:1)	013674-84-5	65325850	93%	C,D,E
6	Diethoxymethan	000462-95-3	35129119	80%	-
7	N-Cyclohexylcyclohexanamin	000101-83-7	42493940	95%	-
8	Octaethylenglykol	1000289-34-2	377261780	80%	-
9	Octan-1-ol	000111-87-5	54583998	90%	-
10	Tricyclo(5.2.1.0(2,6))decandimethanol	026896-48-0	75761804	87%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-03856 | Abwasser Lethmate | 14.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1,2-Benzoldicarbonsäurebutyl-2-methylpropylester	000084-69-5	86681927	86%	-
2	2-Phenoxyethanol	000122-99-6	87817619	90%	C,D,E
3	4-Chloro-2-nitrotoluol	000089-59-8	324921030	90%	-
4	Diethoxymethan	000462-95-3	34055363	80%	-
5	Docosan	000629-97-0	38015500	85%	-
6	Ethanol, 2-butoxy-, phosphat (3:1)	000078-51-3	70382676	95%	C,D,E
7	N-Cyclohexylcyclohexanamin	000101-83-7	61116586	91%	-
8	o-Hydroxybiphenyl	000090-43-7	62458808	97%	C,D,E
9	Pentylcyclopropan	002511-91-3	53066949	90%	-
10	Tricyclo(5.2.1.0(2,6))decandimethanol	026896-48-0	74017272	87%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-03857 | Abwasser Lethmate | 16.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	054446-78-5	13990597	90%	-
2	1,4,7,10,13,16-Hexaoxacyclooctadecan	017455-13-9	27970351	81%	-
3	1-Phenoxypropan-2-ol	000770-35-4	27781739	93%	-
4	2-Ethylhexan-1-ol	000104-76-7	47151165	83%	-
5	2-Propanol, 1-chloro-, phosphate (3:1)	013674-84-5	21683471	93%	C,D,E
6	Benzylalkohol	000100-51-6	2889543	98%	-
7	Heptacosan	000593-49-7	14799077	99%	-
8	o-Hydroxybiphenyl	000090-43-7	19515709	97%	C,D,E
9	P-tert-butylphenol	000098-54-4	17022260	96%	-
10	Tricyclo(5.2.1.0(2,6))decandimethanol	026896-48-0	84405226	87%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-03858 | Lethmate Fe aus STL 2.03

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1-Bromooctadecan	000112-89-0	136788660	89%	-
2	Heptaethylenglykolmonododecylether	003055-97-8	243821115	83%	-
3	n-Hexadecansäure	000057-10-3	1581239965	83%	-
4	Octadecan	000593-45-3	199310454	95%	-
5	Octadecansäure	000057-11-4	1534551762	91%	-
6	Octaethylenglykol	1000289-34-2	687592655	83%	-
7	Octaethylenglykolmonododecylether	003055-98-9	405768307	87%	-
8	Pentaethylenglykolmonododecylether	003055-95-6	496625783	90%	-
9	Tricosan	000638-67-5	76907894	95%	-
10	Tridecylesterisobutylsäure	269404-22-0	745616324	83%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-04183 | Abwasser | 17.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
<b>1</b>	<b>1,2-Benzoldicarbonsäure-bis-(2-methylpropyl)-ester</b>	<b>000084-69-5</b>	<b>12949605</b>	<b>90%</b>	-
2	1,2-Benzoldicarbonsäurebutyl-2-methylpropylester	000084-69-5	32937514	97%	-
3	1,2-Benzoldicarbonsäurediisooctylester	027554-26-3	7165169	90%	-
4	1-Phenoxypropan-2-ol	000770-35-4	10642766	93%	-
5	2,4-Bis-(1,1-dimethylethyl)-phenol	000096-76-4	10159285	96%	-
6	2-Ethylhexan-1-ol	000104-76-7	15274889	83%	-
7	2-Phenoxyethanol	000122-99-6	83317845	90%	C,D,E
8	N-Cyclohexylcyclohexanamin	000101-83-7	10284150	94%	-
9	o-Hydroxybiphenyl	000090-43-7	8884817	97%	C,D,E
10	P-tert-butylphenol	000098-54-4	7194877	96%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-04184 | Abwasser | 18.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1-Phenoxypropan-2-ol	000770-35-4	16661036	91%	-
2	2-(2-Phenoxyethoxy)-ethanol	000104-68-7	23797953	93%	-
3	2-Butendisäure (Z) - monododecylester	002424-61-5	20963084	95%	-
4	2-Ethylhexan-1-ol	000104-76-7	28270712	83%	-
5	2-Phenoxyethanol	000122-99-6	305198032	81%	C,D,E
6	Benzolsulfonamid	001678-25-7	16598350	97%	-
7	Dodecansäure	000143-07-7	21570028	98%	-
8	Heptacosan	000593-49-7	21449475	92%	-
9	o-Hydroxybiphenyl	000090-43-7	18065012	95%	C,D,E
10	P, P, P-Triphenylphosphinimid	002240-47-3	19037298	94%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-04185 | Abwasser | 19.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1,2-Benzoldicarbonsäurebutyl-2-methylpropylester	000084-69-5	29838149	95%	-
2	1-Phenoxypropan-2-ol	000770-35-4	18598233	93%	-
3	2-(2-Phenoxyethoxy)-ethanol	000104-68-7	26406176	93%	-
4	2-Phenoxyethanol	000122-99-6	268664649	81%	C,D,E
5	Benzolsulfonamid	001678-25-7	16542791	93%	-
6	Eicosan	000112-95-8	20939547	98%	-
7	Ethanol, 2-butoxy-, phosphat (3:1)	000078-51-3	34902821	93%	C,D,E
8	Heptadecan	000629-78-7	20273074	98%	-
9	Nonadecan	000629-92-5	42660079	96%	-
10	Octadecan	000593-45-3	22933111	99%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-04186 | Emulsion | 30.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1-Iodohexadecan	000544-77-4	99881507	91%	-
2	2-Butenylbenzol	001560-06-1	36462465	97%	-
3	2-Methyl-Z-4-tetradecen	1000130-78-3	153968696	92%	-
4	cis-1,2,6-Trimethylpiperidin	002439-13-6	2369036	90%	-
5	Cyclotriacontan	000297-35-8	11360807	87%	-
6	N,N-Dibutylformamid	000761-65-9	132537852	80%	-
7	trans-1-Phenylpent-1-en	016002-93-0	39500182	80%	-
8	Anhydrid		245852779	62%	-
9	Sulfid		13595525	58%	-
10	Thiophen		26378639	60%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-04187 | Lauge | 30.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	(E) 4-Phenylbut-3-en-2-ol	1000163-70-9	129099661	93%	-
2	1-Chlorooctadecan	003386-33-2	53594001	91%	-
3	1-Docosin	001599-67-3	50595090	94%	-
4	1-Iodohexadecan	000544-77-4	921424381	95%	-
5	4-Phenyl-2-butanol	002344-70-9	74466567	96%	-
6	Cyclododecan	000294-62-2	173316235	96%	-
7	Cyclooctan	000292-64-8	104312184	87%	-
8	N-(2,4-Dichlorobenzyl)-2,2-dimethyl-N-(pyridin-3-ylmethyl)-propanamid	287917-48-0	81276348	92%	-
9	Nonylclopropan	074663-85-7	159383930	95%	-
10	Ölsäure	000112-80-1	299156445	96%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-04188 | Entstickungsmittel| 30.09.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	(E)Tetradec-2-en	035953-53-8	1830080828	95%	-
2	1,8,8-Trimethyl-2-(3-oxocyclopentenyl)-tricyclo[3.2.1.0(2,4)]octan-3,3-dicarbonitril	1000164-56-3	249053156	90%	-
3	1-Heneicosylformiat	077899-03-7	1185073677	96%	-
4	2,5-Dimethyl-4-phenyloxazol	020662-92-4	394405382	93%	-
5	Benzylmethylketon	000103-79-7	295748836	87%	-
6	Cyclododecan	000294-62-2	711852794	95%	-
7	Nonylclopropan	074663-85-7	892095811	95%	-
8	Octadecan	000593-45-3	319180746	98%	-
9	Tetracosan	000646-31-1	250164566	96%	-
10	Tricosan	000638-67-5	262657580	97%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05271 | Mischprobe B9B21, B9C22, B9A Nr. 23, B9B Nr. 24| 06.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	(E)-2,6,10,15,19,23-Hexamethyltetracosahexa-2,6,10,14,18,22-en	000111-02-4	2159272	99%	-
2	2,2-Methylenebis-[6-(1,1-dimethylethyl)-4-methylphenol	000119-47-1	2105435	93%	-
3	4-Methylphenol	000106-44-5	2951853	96%	-
4	Eicosan	000112-95-8	6422010	96%	-
5	Hentriacontan	000630-04-6	9436727	96%	-
6	Heptadecan	000629-78-7	6077506	97%	-
7	Nonacosan	000630-03-5	5250185	98%	-
8	Octacosan	000630-02-4	5423777	99%	-
9	Octadecan	000593-45-3	9801951	97%	-
10	Tetracosan	000646-31-1	2090330	97%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05272 | Mischprobe B9B11, B9D12, B9A13, B9C14, B9B15 | 06.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1,2-Benzoldicarbonsäure-bis-(2-methylpropyl)-ester	000084-69-5	856070	86%	-
2	1-[2-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-1-methylethoxy]-propan-2-ol	020324-33-8	8559037	86%	-
3	2,4-Bis-(1,1-dimethylethyl)-phenol	000096-76-4	2480876	96%	-
4	7-(Diethylamino)-4-methyl-2H-1-benzopyran-2-on	077899-03-7	1406800	98%	-
5	Benzaldehyd	000100-52-7	2783369	97%	C
6	Eicosan	000112-95-8	6402204	96%	-
7	Hentriacontan	000630-04-6	2854244	98%	-
8	Heptadecan	000629-78-7	6972670	97%	-
9	Octadecan	000593-45-3	7456917	97%	-
10	Tributylphosphat	000126-73-8	14560356	90%	C

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05273 | Stichprobe B9A20 | 05.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	054446-78-5	2058509	90%	-
2	1-[2-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-1-methylethoxy]-propan-2-ol	020324-33-8	4182599	80%	-
3	11-Decylheneicosan	055320-06-4	6109393	98%	-
4	3-Methylphenol	000108-39-4	2283667	95%	-
5	Benzaldehyd	000100-52-7	3654112	97%	C
6	Benzothiazol	000095-16-9	1754376	95%	C
7	Eicosan	000112-95-8	1991384	98%	-
8	Octacosan	000630-02-4	2022319	86%	-
9	Octadecan	000593-45-3	2408471	94%	-
10	Tributylphosphat	000126-73-8	5330092	90%	C

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05274 | Mischprobe B9D16, B9A17, B9B18, B9C19, B9A20 | 05.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	054446-78-5	10760990	90%	-
2	1-[2-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-1-methylethoxy]-propan-2-ol	020324-33-8	8268039	90%	-
3	1-Iodoctadecan	000629-93-6	3276260	97%	-
4	2,4-Bis-(1,1-dimethylethyl)-phenol	000096-76-4	1914125	97%	-
5	7-(Diethylamino)-4-methyl-2H-1-benzopyran-2-on	077899-03-7	567183	98%	-
6	Benzaldehyd	000100-52-7	2660979	97%	C
7	Docosan	000629-97-0	793866	95%	-
8	Eicosan	000112-95-8	1757252	98%	-
9	Octadecan	000593-45-3	1585652	89%	-
10	Tributylphosphat	000126-73-8	6705703	90%	C

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05275 | Stichprobe B9B11 | 05.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	054446-78-5	10881734	90%	-
2	1-[2-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-1-methylethoxy]-propan-2-ol	020324-33-8	13154131	86%	-
3	2,4-Bis-(1,1-dimethylethyl)-phenol	000096-76-4	2494382	97%	-
4	2-Chloro-1,4-dimethoxybenzol	002100-42-7	397413	96%	-
5	Benzaldehyd	000100-52-7	4112916	97%	C
6	Eicosan	000112-95-8	2404920	97%	-
7	N-Formylmorpholin	004394-85-8	357212	90%	-
8	Nonadecan	000629-92-5	399474	91%	-
9	p-Chloroanilin	000106-47-8	508953	83%	-
10	Tributylphosphat	000126-73-8	15347616	90%	C

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05276 | Mischprobe B9B1, B9C2, B9B4, B9A3 | 02.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1-(2-Butoxyethoxy)-ethanol	054446-78-5	5991726	90%	-
2	1-[2-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-1-methylethoxy]-propan-2-ol	020324-33-8	3655153	80%	-
3	1-Chloroheptacosan	062016-79-9	610941	94%	-
4	2,4-Bis-(1,1-dimethylethyl)-phenol	000096-76-4	1063832	95%	-
5	4-Methylphenol	000106-44-5	1452506	97%	-
6	7-(Diethylamino)-4-methyl-2H-1-benzopyran-2-on	077899-03-7	625156	98%	-
7	Benzaldehyd	000100-52-7	2887339	97%	C
8	Eicosan	000112-95-8	1173652	96%	-
9	p-Chloroanilin	000106-47-8	586598	96%	-
10	Tributylphosphat	000126-73-8	9930219	90%	C

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05277 | Mischprobe B9C5, B9A3, B9B7, B9D8, B9C9, B9A10 | 02.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1,2-Benzoldicarbonsäure-bis-(2-methylpropyl)-ester	000084-69-5	753596	83%	-
2	1-Ethyl-2-pyrrolidinon	002687-91-4	545756	91%	-
3	2,4-Bis-(1,1-dimethylethyl)-phenol	000096-76-4	2713139	96%	-
4	5-Methyl-1H-benzotriazol	000136-85-6	791378	96%	-
5	7-(Diethylamino)-4-methyl-2H-1-benzopyran-2-on	077899-03-7	781068	98%	-
6	Benzaldehyd	000100-52-7	3741419	97%	C
7	Benzothiazol	000095-16-9	615732	91%	C
8	Eicosan	000112-95-8	2963450	98%	-
9	Isochinolin	000119-65-3	657896	94%	-
10	Tributylphosphat	000126-73-8	3965805	86%	C

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05278 | Dekantat | 03.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	2,2-Methylenebis-[6-(1,1-dimethylethyl)-4-methylphenol]	000119-47-1	12749693	91%	-
2	2,5-Bis-(1,1-dimethylethyl)-phenol	005875-45-6	3441064	96%	-
3	2-Ethylhexansäure	000149-57-5	10373313	91%	-
4	Benzaldehyd	000100-52-7	4324314	97%	C
5	Eicosan	000112-95-8	4642656	96%	-
6	Nonacosan	000630-03-5	4092632	98%	-
7	Octacosan	000630-02-4	3741796	99%	-
8	Octadec-1-en	000112-88-9	4906770	95%	-
9	Tetracosan	000646-31-1	5538980	96%	-
10	Tetradecan	000629-59-4	6784520	98%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05279 | Roh-Säure VA 3872 | 04.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	(Iodomethyl)-benzol	000620-05-3	6807619	83%	-
2	11-Decylheneicosan	055320-06-4	3882538	98%	-
3	1-Chloroheptacosan	062016-79-9	1590143	92%	-
4	1-Iodo-2-methylbenzol	000615-37-2	4022117	95%	-
5	1-Iodo-4-methylbenzol	000624-31-7	3214662	97%	-
6	2,2-Methylenebis-[6-(1,1-dimethylethyl)-4-methylphenol]	000119-47-1	3509732	92%	-
7	Benzaldehyd	000100-52-7	614186	93%	C
8	Eicosan	000112-95-8	1982067	98%	-
9	N-Formylmorpholin	004394-85-8	617922	87%	-
10	Triacontan	000638-68-6	2984445	97%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05280 | Abwasser aus Verdampfer VA3850 | 03.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	2(3H)-Benzothiazolon	000934-34-9	7582765	94%	-
2	2-Hydroxycyclopentadecanon	004727-18-8	5741060	91%	-
3	4-Pentadecensäure	017351-34-7	46775323	95%	-
4	9-Octylheptadecan	007225-64-1	9300336	93%	-
5	Benzaldehyd	000100-52-7	11772628	96%	C
6	Eicosan	000112-95-8	6060972	96%	-
7	Hentriacontan	000630-04-6	5585802	97%	-
8	Heptadecan	000629-78-7	8136698	95%	-
9	Hexagol	002615-15-8	21066200	91%	-
10	Nonacosan	000630-03-5	11854339	95%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

2019-05281 | LH-Abw. Osthafen VA 380 | 04.12.19

Lfd. Nr.	Identifizierte Substanz oder Substanzklasse	CAS-Nr.		Übereinstimmung Referenzspektrum	C/D/E/-
1	1-[2-(2-Methoxy-1-methylethoxy)-1-methylethoxy]-propan-2-ol	020324-33-8	22648540	86%	-
2	1-Nonadecen	018435-45-5	8890761	91%	-
3	7-(Diethylamino)-4-methyl-2H-1-benzopyran-2-on	077899-03-7	9657016	98%	-
4	di-2-Ethylhexylchlorformiat	024468-13-1	1764966	93%	-
5	Eicosan	000112-95-8	3508146	95%	-
6	Heptadecan	000629-78-7	1158040	98%	-
7	Octadec-9-enosäure	1000190-13-7	1823995	99%	-
8	Octadecan	000593-45-3	1747466	86%	-
9	Tributylphosphat	000126-73-8	16315434	86%	C
10	Z-8-Hexadecen	1000130-87-5	6672121	87%	-

Quelle: Eigene Darstellung, ISA

## K Vorschlag BVT zur Minderung des Eintrages von relevanten Spurenstoffen aus CP-Behandlungsanlagen

BVT XX. Die BVT zur Minderung des Eintrages von relevanten Spurenstoffen in Gewässer bei der chemisch-physikalischen Behandlung von wasserbasierten flüssigen Abfällen besteht in der Anwendung der Technik a) und einer Kombination der Techniken b) und c):

Technik	Beschreibung	Anwendbarkeit	
a)	Einführung und Anwendung von Verfahren zur Beschreibung der Abfälle vor der Behandlung in Hinblick auf Vorhandensein und Relevanz von Spurenstoffen	Durch diese Verfahren sollen Informationen zur Relevanz und speziellen Behandlungsbedürftigkeit von Spurenstoffen im Abfallinput für den Betreiber bereitgestellt werden. Dazu zählen Verfahren zur Einholung von Informationen über den Abfallinput, welche die Beprobung und Beschreibung des Abfalls beinhalten, um ausreichende Kenntnis über das Vorhandensein und die Relevanz von Spurenstoffen zu erlangen. Verfahren zur Kontrolle und Behandlung von Abfällen sind risikobasiert und berücksichtigen beispielsweise die gefährlichen Eigenschaften der beinhalteten Spurenstoffe, die von ihnen ausgehenden Risiken in Bezug auf Anlagensicherheit, Arbeitssicherheit und Umweltauswirkungen, sowie die Angaben der/des vorherigen Abfallbesitzer/s.	Allgemein anwendbar Die Anwendbarkeit zur Kontrolle vor der Behandlung ist begrenzt durch die Dauer der vertieften Laboranalyse und deren Kosten
b)	Technische Maßnahmen	Dazu gehören Maßnahmen wie: Filtration von partikelgebundenen Spurenstoffen im Verfahrensgang Verdampfung von wasserbasierten Abfällen bei Vorhandensein von relevanten schwerflüchtigen Spurenstoffen Adsorption von adsorbierbaren Spurenstoffen als Endbehandlung vor Einleitung	Die Anwendbarkeit ist abhängig von den spezifischen Abfalleigenschaften
c)	Organisatorische Maßnahmen	Durch die Anwendung organisatorischer Maßnahmen soll sichergestellt werden, dass der Eintrag von relevanten Spurenstoffen in Gewässer, die durch technische Maßnahmen nicht hinreichend behandelt werden können, minimiert wird. Zu diesem Zweck können relevante Stoffströme z.B. thermischen Verfahren zugeführt werden.	Die Anwendbarkeit ist abhängig von den spezifischen Abfalleigenschaften Die Anwendung der organisatorischen Maßnahmen ist risikobasiert und berücksichtigt beispielsweise die gefährlichen Eigenschaften der beinhalteten Spurenstoffe.

Quelle: Eigene Darstellung, Lobbe, Indaver