



Klärschlamm und Boden Eintrag von Spurenstoffen auf landwirtschaftlich genützte Böden

Klärschlamm und Boden Eintrag von Spurenstoffen auf landwirtschaftlich genützte Böden

Gesamtbearbeitung:

Manfred Clara und Christoph Scheffknecht

Email: manfred.clara@umweltbundesamt.at

Email: christoph.scheffknecht@vorarlberg.at

Autoren:

Manfred Clara (Umweltbundesamt GmbH)

Christina Hartmann (Umweltbundesamt GmbH)

Christoph Scheffknecht (Umweltinstitut Vorarlberg)

Unter Mitarbeit von:

Umweltinstitut Vorarlberg: Arkin Darici, Rainer Florineth, Walter Hämmerle, Norbert Lerchster, Josef Scherer, Monika Schmieder.

Umweltbundesamt GmbH: Michael Ghobrial, Sandra Kulcsar, Andrea Sitka, Cristina Trimbacher, Stefan Weiß.

Manfred Schneider (Landwirt)

Team ARA Bregenz

Team Fa. Häusle GmbH, Lustenau

Finanzierung: Das Projekt wurde gemeinsam vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft sowie vom Land Vorarlberg finanziert.

Impressum

Herausgeber und Medieninhaber:

Amt der Vorarlberger Landesregierung

Römerstraße 15, 6901 Bregenz

Verleger:

Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg

Montfortstraße 4, 6901 Bregenz

T +43 5574 511 42099

Titelbild: Ausbringung von Kompost auf landwirtschaftlich genutzter Fläche in Dornbirn

Quelle: Herbert Heim, Umweltinstitut

Bregenz und Wien, November 2016

Inhalt

1	Zusammenfassung	4
2	Einleitung	6
3	Rechtlicher Hintergrund	7
4	Untersuchte Stoffgruppen	12
4.1	Perfluorierte Tenside	12
4.2	Organozinnverbindungen	14
4.3	Nonylphenol und Nonylphenoethoxylate	16
4.4	Phthalate	17
4.5	Bisphenole	18
4.6	Flammschutzmittel	19
4.6.1	Hexabromcyclododecan	19
4.6.2	Polybromierte Diphenylether	20
4.7	Metalle	21
4.8	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	24
5	Chemische Analytik	27
5.1	Perfluorierte Tenside	27
5.2	Organozinnverbindungen	29
5.3	Nonylphenol und Nonylphenoethoxylate	29
5.4	Phthalate	29
5.5	Bisphenol A	30
5.6	Flammschutzmittel	30
5.7	Metalle	31
5.8	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe	32
6	Auswahl der Probenahmestellen und Probenahme	32
6.1	Klärschlammkompost	32
6.2	Beprobte Flächen	32
6.3	Probenahme	35
7	Ergebnisse	37
7.1	Deposition	37
7.2	Klärschlamm und Klärschlammkompost	41
7.3	Boden	47
7.4	Gras	59
7.5	Gärrückstände	62

7.6	Vergleich der gemessenen Konzentrationen in den verschiedenen Medien.....	65
8	Referenzen.....	70
8.1	Literatur	70
8.2	Rechtliche Regelungen.....	75
8.2.1	Europäische Regelungen	75
8.2.2	Österreichische Regelungen.....	77
9	Anhang.....	80
9.1	Anhang 1: Gefahrenklassen und Gefahrenhinweise	80
9.1.1	Übersicht über die Gefahrenklassen nach CLP-Verordnung	80
9.1.2	Gefahrenhinweise (H-Sätze) für Gesundheits- und Umweltgefahren	81
9.2	Anhang 2: Analysenergebnisse	83
9.2.1	Deposition.....	83
9.2.2	Klärschlamm	84
9.2.3	Klärschlammkompost	85
9.2.4	Boden – Referenzflächen.....	87
9.2.5	Boden – Düngeflächen Bregenz	89
9.2.6	Boden – Düngeflächen Fa. Häusle	91
9.2.7	Grasproben	93
9.2.8	Gärrückstände	95
9.3	Anhang 3: Vergleich der gemessenen Schadstoffkonzentrationen in den Feststoffproben..	97

1 Zusammenfassung

Im Abwasser finden sich alle Stoffe, die im häuslichen, gewerblichen oder industriellen Bereich eingesetzt werden. Bei der Abwasserreinigung ist die Entfernung dieser Stoffe durch Adsorption über den Klärschlamm einer der relevanten Prozesse. Klärschlamm stellt somit eine wesentliche Stoffsenke, vor allem für nicht oder nur schwer abbaubare (persistente) und lipophile bzw. hydrophobe Stoffe dar. Neben der Kompostierung, Verbrennung oder der speziellen Vorbehandlung der Klärschlämme besteht auch die Möglichkeit einer direkten landwirtschaftlichen Verwertung. In Vorarlberg dürfen Klärschlämme nur nach Vorbehandlung durch Kompostierung auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht werden und Klärschlammkomposte können somit einen relevanten Eintragungspfad für Schadstoffe auf Böden darstellen.

Im Rahmen der Studie wurde untersucht, ob Anreicherungen von persistenten organischen Stoffen in landwirtschaftlich genutzten Böden durch die Aufbringung von Klärschlammkomposten zu beobachten sind. Dafür wurden landwirtschaftlich genutzte Flächen in Vorarlberg vor und nach der Beaufschlagung mit Klärschlammkompost beprobt und auf ausgewählte Schadstoffe bestimmt. Zusätzlich erfolgte die Beprobung und Analyse des aufgebrachten Klärschlammkompostes sowie des der Kompostierung zugeführten Klärschlammes. Um eine Abgrenzung des Stoffeintrags in die Böden durch Klärschlammkompost und andere Eintragungspfade (z.B. atmosphärische Deposition) ziehen zu können, wurden zudem Bodenproben von Referenzflächen ohne Klärschlammkompostbeaufschlagung analysiert. Zusätzlich wurde die Gesamtdeposition untersucht und auch Grasproben von den Düngeflächen wurden auf die ausgewählten Schadstoffe analysiert. Neben Klärschlammkomposten werden Gärrückstände aus der Bioabfallvergärung in der Landwirtschaft genutzt. Zwei Vergleichsproben zur Erhebung der Belastung dieser Gärrückstände wurden in das Untersuchungsprogramm aufgenommen.

Die Messergebnisse ergaben für nahezu alle untersuchten Schadstoffe die höchsten Konzentrationen in den Klärschlammproben. In den Klärschlammkompostproben waren die Konzentrationen niedriger und diese Abnahme ist im Wesentlichen auf eine „Verdünnung“ durch die Mischung mit Strukturmaterial zurückzuführen. Bei einigen Stoffen war diese Abnahme aber nur sehr gering (z.B. Quecksilber oder PFOA), was darauf hindeutet, dass auch über das Strukturmaterial ein Stoffeintrag in den Kompost erfolgt. In den Gärrückständen aus der Bioabfallvergärung wurden vor allem bei den organischen Schadstoffen ähnliche Konzentrationen wie in den Klärschlammkomposten beobachtet. Die Schwermetallgehalte der Gärrückstände hingegen waren zumeist geringer als die Konzentrationen in den Komposten.

Die gemessenen Schadstoffkonzentrationen in den Bodenproben waren zumeist deutlich niedriger als die Konzentrationen in den Komposten und die Messwerte liegen im Bereich von Literaturwerten. Nichtsdestotrotz wurden neben den Schwermetallen auch zahlreiche organische Schadstoffe in den Bodenproben nachgewiesen. In allen Bodenproben waren der Weichmacher Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP), Vertreter der Alkylphenole (Nonylphenol(ethoxylate)), die Flammschutzmittel polybromierte Diphenylether (PBDE) und Hexabromcyclododecan (HBCDD), Vertreter der polychlorierten Biphenyle (PCB), der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) sowie der perfluorierten Tenside

(z.B. PFOA oder PFOS) nachweisbar. Bei einigen Stoffen (z.B. DEHP oder HCBDD) wurden nach der Aufbringung von Klärschlammkompost höhere Konzentrationen in den Bodenproben von den Düngeflächen gemessen als vor der Düngung. Ein eindeutiger Einfluss der Düngung mit Klärschlammkompost auf die Bodenkonzentrationen der untersuchten Schadstoffe ist aber nicht zweifelsfrei ableitbar. Vielmehr weisen theoretische Abschätzungen darauf hin, dass bei einigen Schadstoffen von weiteren Stoffeinträgen auszugehen ist. So könnte ein Schadstoffeintrag auch über die Ausbringung von Hof- oder Mineraldüngern erfolgen. Es liegen keine Informationen darüber vor, ob neben dem Klärschlammkompost auch zusätzliche Dünger oder Gärrückstände ausgebracht wurden. Auch lagen die gemessenen Konzentrationen in den Düngeflächen im Bereich der Schwankungsbereiche der Messwerte von den Referenzflächen und somit im Erwartungsbereich. Auf diese Referenzflächen wurde kein Klärschlammkompost ausgebracht, weshalb diese Flächen, die in räumlicher Nähe zu den beprobten Düngeflächen liegen für die Untersuchungen ausgewählt wurden. Dazu ist aber anzumerken, dass auch die Referenzflächen gedüngt wurden und z.B. Hofdünger (Gülle, Mist) und auch Gärrückstände sowie Presswässer aus der Bioabfallkompostierung auf diese Flächen verbracht wurden. Damit erfolgte auch auf diese Flächen ein Schadstoffeintrag.

Einen Eintragspfad kann auch die atmosphärische Deposition darstellen. Die meisten der untersuchten Schadstoffe waren in zumindest einer der drei Depositionsproben nachweisbar. Ein Vergleich der Stoffeinträge über die Eintragspfade Deposition und Klärschlammkompostausbringung deutet darauf hin, dass bei Metallen, Organozinnverbindungen, Nonylphenolen und den polybromierten Diphenylethern höhere Frachten über den Klärschlammkompost als über die Deposition eingetragen wurden. Auch bei DEHP, PAK, Perfluorhexansäure und Perfluoroktansulfonsäure (PFOS) war der Stoffeintrag über den Klärschlammkompost auf die untersuchten Flächen tendenziell höher als über die Deposition. Für AOX, Bisphenol A, Nonylphenoethoxylate, HCBDD sowie einige Vertreter der perfluorierten Tenside erfolgte ein ähnlicher Stoffeintrag über die Klärschlammkompostausbringung wie über die Deposition. Generell ist zu diesen Auswertungen aber anzumerken, dass die einzelnen Messungen sehr stark variieren und einen großen Schwankungsbereich aufweisen. Auch wurden nur wenige Proben analysiert und die Auswertungen beruhen auf dieser geringen Probenanzahl.

In den untersuchten Grasproben wurden zumeist die niedrigsten Konzentrationen aller analysierten Feststoffproben gemessen. Eine Ausnahme bildet DEHP. Dieser Weichmacher wurde in den Grasproben in höheren Konzentrationen nachgewiesen als in den Bodenproben. Während vom Vorkommen der Metalle in den Grasproben auszugehen ist, weil einige der Metalle essentielle Spurenelemente sind (z.B. Kupfer und Zink), trifft dies auf organische Schadstoffe nicht zu. Wenn auch nur in geringen Konzentrationen waren zusätzlich zu DEHP auch einige organische Schadstoffe wie PCB, polybromierte Diphenylether oder Vertreter der perfluorierten Tenside in den Grasproben nachweisbar. Es ist keine Aussage darüber möglich, ob die Schadstoffgehalte in den Grasproben auf eine Aufnahme über den Boden oder auf einen Eintrag über die Deposition und eine Ablagerung bzw. Aufnahme über die Pflanzenoberfläche erfolgt. Bei den Grasproben ist auch nicht auszuschließen, dass in der Probe auch Bodenpartikel enthalten waren.

2 Einleitung

Im Abwasser finden sich alle Stoffe, die im häuslichen, gewerblichen oder industriellen Bereich eingesetzt werden. Bei der Abwasserreinigung ist die Entfernung dieser Stoffe über den Klärschlamm durch Adsorption einer der relevanten Prozesse. Klärschlamm stellt somit eine wesentliche Stoffsenke, vor allem für nicht oder nur schwer abbaubare (persistente) und lipophile bzw. hydrophobe Stoffe dar. Einige dieser Stoffe könnten ein Risiko für Mensch und Umwelt darstellen.

Seit der Deponieverordnung 2004 dürfen Klärschlämme in Österreich nicht mehr unbehandelt abgelagert werden. Neben der Kompostierung, Verbrennung oder der speziellen Vorbehandlung der Klärschlämme besteht auch die Möglichkeit einer direkten landwirtschaftlichen Verwertung.

Die Anforderungen an die landwirtschaftliche Klärschlammnutzung sind in neun Landesverordnungen sehr unterschiedlich geregelt. Während in einigen Bundesländern (Salzburg, Tirol und Wien) eine Klärschlammausbringung verboten ist, dürfen in Vorarlberg Klärschlämme nur nach Vorbehandlung durch Kompostierung auf landwirtschaftliche Flächen aufgebracht werden. In allen anderen Bundesländern ist die landwirtschaftliche Klärschlammverwertung unter Einhaltung festgelegter Grenzwerte für Klärschlämme und Böden zugelassen. Diese Grenzwerte regeln vor allem Schwermetalle und einzelne wenige organische Parameter (z.B. für Dioxine).

Viele der toxikologisch bedenklichen, organischen Schadstoffe, die sich in Klärschlämmen anreichern können, sind derzeit nicht geregelt. Auch in der schon lange angekündigten Novellierung der EU-Klärschlammrichtlinie liegen derzeit keine verbindlichen Aussagen der Kommission zum weiteren Vorgehen hinsichtlich Schadstoffbegrenzungen für Klärschlämme vor.

Böden wirken vielfach als Filter und Puffer gegenüber Schadstoffeinträgen. Durch langjährige Klärschlammaufbringung auf landwirtschaftlichen Flächen können Risiken für Mensch oder Umwelt entstehen. Dies kann insbesondere dann kritisch sein, wenn auf klärschlammgedüngten Ackerflächen Nahrungs- oder Futtermittel produziert werden. Auch ist eine Verlagerung in das Grundwasser nicht auszuschließen.

Im Rahmen der Studie wurde daher untersucht, ob Anreicherungen von persistenten organischen Stoffen in landwirtschaftlich genutzten Böden durch die Aufbringung von Klärschlammkomposten zu beobachten sind. Dafür wurden Bodenproben von landwirtschaftlich genutzten Flächen in Vorarlberg vor und nach der Beaufschlagung mit Klärschlammkompost beprobt und hinsichtlich ausgewählter persistenter organischer Schadstoffe untersucht. Zusätzlich erfolgte die Beprobung und Analyse des aufgetragenen Klärschlammkompostes sowie des der Kompostierung zugeführten Klärschlammes.

Um eine Abgrenzung des Stoffeintrags in die Böden durch Klärschlammkompost und andere Eintragspfade (z.B. atmosphärische Deposition) ziehen zu können, wurden auch Bodenproben von Referenzflächen ohne Klärschlammkompostbeaufschlagung auf die ausgewählten Schadstoffe analysiert. Zusätzlich wurde die Gesamtdeposition untersucht.

3 Rechtlicher Hintergrund

Auf europäischer Ebene legt die **Klärschlammrichtlinie (86/278/EWG)** die Rahmenbedingungen für die Behandlung und Nutzung von Klärschlamm fest. Die Richtlinie verfolgt das Ziel, die Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft so zu regeln, dass schädliche Auswirkungen auf Böden, Vegetation, Tiere und Menschen verhindert und zugleich eine ordnungsgemäße Verwendung von Klärschlamm gefördert werden. Der Nährstoffgehalt des Klärschlammes (vor allem Phosphor) birgt einen Nutzen bei der Aufbringung auf landwirtschaftlich genutzte Böden. Durch diesen Einsatz darf aber die Qualität der Böden, der Gewässer und des Grundwassers nicht negativ beeinflusst werden. Die Richtlinie sieht Grenzwerte vor für:

- Konzentrationen von Schwermetallen in Böden,
- Konzentrationen von Schwermetallen in den für die Landwirtschaft bestimmten Schlämmen und Komposten
- Frachten von Schwermetallen, die auf landwirtschaftlich genutzten Böden auf der Grundlage eines Mittelwertes innerhalb eines Zeitraumes von zehn Jahren aufgebracht werden dürfen.

Zudem sind die Häufigkeiten, Zeiträume und Parameter für die Analysen von Schlämmen und Böden geregelt.

In Österreich wird Klärschlamm durch verschiedene Rechtsinstrumente behandelt:

- Bundesgesetz mit dem das Forstwesen geregelt wird (**Forstgesetz 1975**, BGBl. Nr. 440/1975 idgF): die Ablagerung von Klärschlamm auf Waldflächen ist verboten.
- Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (**AWG 2002**, BGBl. I Nr. 102/2002 idgF): im AWG sind die Ziele und Grundsätze der Abfallwirtschaft mit der Hierarchie Vermeidung vor Verwertung vor Beseitigung festgelegt und es sind Behandlungsverfahren definiert, die zwischen Verwertungs- und Beseitigungsverfahren unterscheiden. Ein mögliches Verwertungsverfahren für Klärschlamm ist die Aufbringung auf den Boden zum Nutzen der Landwirtschaft oder zur ökologischen Verbesserung (R10).
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (**Deponieverordnung 2008**, BGBl. II Nr. 39/2008): neben betriebsbezogenen und technischen Vorgaben enthält die Deponieverordnung auch Anforderungen an die abzulagernden Stoffe. So dürfen mit bestimmten Ausnahmen nur behandelte Abfälle deponiert werden. Für Klärschlamm ist vor allem das Ablagerungsverbot für Abfälle mit einem Anteil an organischem Kohlenstoff (TOC) im Feststoff von mehr als fünf Massenprozent relevant. Eine Ausnahme bilden wiederum Abfälle aus der mechanisch-biologischen Behandlung, wenn ein bestimmter Heizwert nicht überschritten wird. Eine Vermischung mit heizwertarmen Materialien oder Abfällen mit dem Ziel der Heizwerteinhaltung ist verboten.
- Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (**Kompostverordnung**, BGBl. II Nr. 292/2001 idgF): die Kompostverordnung legt Grenzwerte für das Ausgangsmaterial Klärschlamm und für fertigen Kompost,

- aber auch Aufzeichnungspflichten, Meldepflichten, Untersuchungsanforderungen und Kennzeichnungspflichten fest.
- Bundesgesetz über den Verkehr mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (**Düngemittelgesetz 1994**, BGBl. Nr. 513/1994 idgF): es ist verboten, Düngemittel, Bodenhilfsstoffe, Kultursubstrate und Pflanzenhilfsmittel in Verkehr zu bringen, welche unbehandelten oder kommunalen Klärschlamm(-kompost) enthalten.
 - Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Aktionsprogramm 2012 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (**Aktionsprogramm Nitrat 2012**): die Ausbringung von stickstoffhaltigen Düngemitteln auf landwirtschaftliche Nutzflächen ist begrenzt und es werden Anforderungen an Zeiträume für die Ausbringung, Art der Ausbringung, usw. festgelegt.

Die Regelung der Aufbringung von Klärschlämmen auf landwirtschaftlich genutzte Böden und Böden generell fällt in die Bodenschutzkompetenz der Bundesländer und ist in Form von Bodenschutzgesetzen, Klärschlammgesetzen und Klärschlammverordnungen auf Länderebene geregelt. Die Basis dieser Regelungen bildet die EU-Klärschlamm-Richtlinie, die Mindestanforderungen vorgibt.

In **Wien** ist die Klärschlammausbringung verboten. Eine Ausnahme bilden hygienisch unbedenkliche Produkte, die behandelten Klärschlamm beinhalten und deren Inverkehrbringen, insbesondere als Düngemittel, Komposte und Erden, nach bundesrechtlichen Vorschriften zulässig ist (Wiener Klärschlammgesetz, LGBl. 08/2000 idgF).

In **Tirol** ist die Ausbringung von Klärschlamm und Produkten, die Klärschlamm enthalten, auf landwirtschaftliche Grundflächen verboten (Tiroler Feldschutzgesetz, LGBl. 58/2000 idgF).

Auch in **Salzburg** ist die Verwendung von Klärschlamm und Klärschlammisierungen auf Böden verboten. Von diesem Verbot ausgenommen sind mit landwirtschaftlichen Abwässern vermischte oder durch mindestens dreimonatige Lagerung hygienisierte Klärgrubeninhalte oder Klärschlämme aus häuslichen Abwässern des eigenen landwirtschaftlichen Betriebes. Zudem sind auch Klärschlämme und Klärschlammisierungen aus Abwasserreinigungsanlagen aus Einzelobjekten in Extremlagen mit wasserrechtlicher Bewilligung von diesem Ausbringungsverbot ausgenommen. Die Ausbringung von Klärschlammkompost ist unter Einhaltung definierter Vorgaben und Einschränkungen zulässig (Salzburger Klärschlamm-Bodenschutzverordnung, LGBl. 85/2002). Auf landwirtschaftlichen Flächen dürfen nur Qualitätsklärschlammkomposte ausgebracht werden, wenn diese Flächen weder direkt noch indirekt der Nahrungsmittelproduktion dienen.

Im **Burgenland** definiert das Burgenländische Bodenschutzgesetz (LGBl. 87/1990 idgF) die Voraussetzungen für das Aufbringen von Klärschlamm und Müllkompost, Aufbringungsverbote, Aufzeichnungspflichten und die Überwachung. Die Burgenländische Klärschlamm- und Müllkompostverordnung (LGBl. 82/1991 idgF) regelt die Anforderungen an die Beschaffenheit von Klärschlamm für die Aufbringung auf landwirtschaftlichen Böden. Auch Böden, auf die erstmalig Klärschlamm aufgebracht werden soll, sind zu untersuchen.

Die Verordnung gibt Grenzwerte für Klärschlamm und Böden sowie jährlich zulässige Stofffrachten vor. Die Klärschlämme werden ausgehend von den Schadstoffgehalten in zwei Güteklassen eingeteilt. Die Anforderungen an den Klärschlamm, die Maximalgehalte in mit Klärschlamm beaufschlagten Böden sowie die maximal zulässigen Frachteinträge über Klärschlamm sind in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst.

In **Kärnten** regelt die Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung (LGBl. 74/2000 idgF) die Verwertung von Klärschlamm, Kompost und Vergärungsrückständen in der Landwirtschaft und im Landschaftsbau. Die Verordnung gibt Grenzwerte für Schwermetalle, für hygienische Parameter und für organische Parameter in Komposten vor. Zudem werden die maximalen Aufbringungsmengen, die über zehn Jahre gemittelte jährlich maximal zulässige ausbringbare Fracht an Schwermetallen sowie Bodengrenzwerte vorgegeben, die nicht überschritten werden dürfen. Die Angabe der Bodengrenzwerte erfolgt in Abhängigkeit vom pH-Werte des Bodens. Diese Anforderungen sind in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst.

In **Niederösterreich** enthält das Niederösterreichische Bodenschutzgesetz (LGBl. 58/1988 idgF) Vorgaben für die Verwertung von Klärschlamm, Kompost und Rückständen aus der Wein- und Obstbereitung. Die Niederösterreichische Klärschlammverordnung (LGBl. 80/1994 idgF) trifft nähere Regelungen, wobei vor allem die Bodenverträglichkeit, die Eignung von Flächen für die Ausbringung von Klärschlamm und der Ausbringungszeitraum von Relevanz sind. Bei Klärschlämmen werden zwei Qualitätsklassen unterschieden. Klärschlamm der Qualitätsklasse I darf in seinen auf die anorganische Trockenmasse bezogenen Konzentrationen an Inhaltsstoffen die durchschnittlichen regionalen Oberbodengehalte (Ackerboden bis zu einer Tiefe von 25 cm, Grünland bis 10 cm) nicht übersteigen. Jedenfalls einzuhalten sind die Grenzwerte für die Qualitätsklasse II. Zudem sind Grenzwerte für Schadstoffe im Boden definiert. Die Anforderungen an Klärschlamm der Qualitätsklasse II sowie die Grenzwerte für Schadstoffe im Boden sind in Tabelle 1 und Tabelle 3 zusammengefasst.

In **Oberösterreich** gibt das Bodenschutzgesetz (LGBl. 115/1991 idgF) allgemeine Vorgaben für die Aufbringung von Klärschlamm und Komposten (Eignung, Beschränkung der Ausbringungsmengen, Ausbringungsverbote). Die oberösterreichische Klärschlammverordnung (LGBl. 62/2006 idgF) legt Grenzwerte für Schadstoffe im Klärschlamm und in Böden fest, auf die Klärschlamm aufgebracht werden darf. Zudem gibt die oberösterreichische Bodengrenzwerte-Verordnung (LGBl. 50/2006 idgF) maximal zulässige jährliche Frachteinträge auf Böden über alle Eintragspfade vor. Diese Anforderungen an den Klärschlamm, die Böden sowie die maximal zulässigen jährlichen Einträge über alle Eintragspfade sind in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst.

In der **Steiermark** ist die Aufbringung von Klärschlamm im Steiermärkischen landwirtschaftlichen Bodenschutzgesetz (LGBl. 66/1987 idgF) und in der Steiermärkischen Klärschlammverordnung (LGBl. 89/2007 idgF) geregelt. Das steiermärkische landwirtschaftliche Bodenschutzgesetz erlaubt die Ausbringung von Klärschlamm nur nach Durchführung von Bodenuntersuchungen, bei entsprechender Eignung des Bodens und nur bei nachgewiesener Klärschlammqualität. Die Ausbringung ist in Abhängigkeit von der Nutzung limitiert. Die steiermärkische Klärschlammverordnung konkretisiert die Vorgaben für den Klärschlamm und legt Grenzwerte für Schwermetalle, AOX und PAK im Klärschlamm,

Grenzwerte für Schadstoffgehalte in Böden sowie maximal zulässige Jahresfrachten fest. Diese zulässigen Jahresfrachten können verdoppelt werden, wenn im vorangegangenen Jahr keine Ausbringung von Klärschlamm oder Klärschlammkompost erfolgt ist. Die Aufbringung von Klärschlamm oder Klärschlammkompost und Gülle bzw. von Klärschlamm und Klärschlammkompost im selben Jahr ist verboten. Die Anforderungen an den Klärschlamm und den Boden sowie die maximal zulässigen Jahresfrachten sind in Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 zusammengefasst.

In **Vorarlberg** wird die Klärschlammausbringung im Vorarlberger Klärschlammgesetz (LGBl. 41/1985 idgF) und in der Vorarlberger Klärschlammverordnung (LGBl. 75/1997 idgF) geregelt. Das Vorarlberger Klärschlammgesetz regelt die Voraussetzungen für die Ausbringung von Klärschlamm, die Überwachung der Ausbringungsflächen und den generellen Rahmen und die Vorarlberger Klärschlammverordnung legt spezifische Vorgaben fest. Laut dieser Verordnung darf Klärschlamm nur in Form von Klärschlammdünger ausgebracht werden und Grenzwerte für Schadstoffe in Klärschlammdünger, zulässige Ausbringungsmengen und die Überwachung der Ausbringungsflächen sind vorgegeben. Zur Herstellung von Klärschlammdünger darf nur biologisch stabilisierter Klärschlamm verwendet werden, der die vorgegebenen Qualitätsanforderungen erfüllt. Die Grenzwerte für Klärschlamm und für Böden aus der Vorarlberger Klärschlammverordnung sind in Tabelle 1 und Tabelle 3 zusammengefasst.

Tabelle 1: Zusammenfassung der Anforderungen [mg/kg Trockenmasse) an Böden

Bundesland	Einheit	Zink	Kupfer	Chrom	Blei	Nickel	Cadmium	Quecksilber
Burgenland	mg/kg TM	300	100	100	100	60	2	1,5
Kärnten								
pH 5-5,5	mg/kg TM	100	40	50	50	30	0,50	0,20
pH 5,5-6,5	mg/kg TM	150	50	75	70	50	1,0	0,50
pH >6,5	mg/kg TM	200	100	100	100	70	1,5	1,0
Niederösterreich	mg/kg TM	200	60	100	100	50	1,5/1,0	1,0
Oberösterreich*	mg/kg TM	150	60	100	100	60	0,50	0,50
Steiermark	mg/kg TM	150	60	100	100	60	0,50	0,50
Vorarlberg	mg/kg TM	300	100	100	100	60	2,0	1,0

*...Die Grenzwerte gelten für Böden mit pH-Werten größer 5,5. Auf Böden mit einem pH-Wert unter 5,0 darf Klärschlamm nicht ausgebracht werden. Auf Böden mit einem pH-Wert von 5,0 bis 5,5 darf nur Klärschlamm mit einem Kalkgehalt (berechnet als CaO) von mindestens 25% der Trockensubstanz ausgebracht werden.

Tabelle 2: Maximal zulässige Frachteinträge [g/ha] durch die Klärschlammaufbringung

Bundesland	Einheit	Zink	Kupfer	Chrom	Blei	Nickel	Cadmium	Quecksilber
Burgenland								
Ackerland	g/ha	5.000	1.250	1.250	1.250	250	25	25
Wiesen/Weiden	g/ha	2.500	625	625	625	125	12,5	12,5
Kärnten	g/ha	4.500	1.800	350	600	300	6	6
Oberösterreich	g/ha	1.200	360	300	400	100	6,0	1,5
Steiermark								
Ackerland	g/ha	3.000	750	175	250	150	5,0	5,0
Grünland	g/ha	1.500	375	88	125	125	2,5	2,5

Tabelle 3: Zusammenfassung der Anforderungen [mg/kg Trockensubstanz] an Klärschlämme

Bundesland	Einheit	Zink	Kupfer	Chrom	Blei	Nickel	Cadmium	Quecksilber	AOX	PAK	PCB	Dioxine
Burgenland												
Güteklasse I	mg/kg TS	1.000	300	100	100	60	2	2				
Güteklasse II	mg/kg TS	2.000	500	500	500	100	10	10				
Kärnten												
Klasse I	mg/kg TS	200	70	70	45	25	0,70	0,40	500*	6*	1*	50*
Klasse A	mg/kg TS	500	150	70	150	60	1,0	0,70	500*	6*	1*	50*
Klasse AB	mg/kg TS	1.200	300	70	150	60	2,0	2,0	500*	6*	1*	50*
Klasse B	mg/kg TS	1.800	300	100	150	80	2,5	2,5	500*	6*	1*	50*
Niederösterreich												
Klasse II	mg/kg TS	1.500	300	70	100	60	2,0	2,0	500			
Oberösterreich	mg/kg TS	1.600	400	400	400	80	5,0	7,0	500			
Steiermark	mg/kg TS	1.200	300	70	100	300	2,0	2,0	500	6,0		
Vorarlberg	mg/kg TS	1.800	500	300	150	100	4,0	4,0			0,20**	0,0001***

*...gilt für Komposte aller Qualitätsklassen

**...gilt pro Kongener (PCB 28, PCB 52, PCB 101, PCB 138, PCB 153). Für die Summe der 5 Kongenere gilt somit 1,0 mg/kg TS

***...gilt für polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF), bezeichnet als Toxizitätsäquivalente

4 Untersuchte Stoffgruppen

In diesem Abschnitt werden die untersuchten Stoffgruppen kurz beschrieben und die folgenden Informationen zusammengefasst:

- Untersuchte Substanzen je Stoffgruppe
- Einstufungen nach CLP Verordnung (Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen, zur Änderung und Aufhebung der Richtlinien 67/548/EWG und 1999/45/EG und zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006)
- Umweltverhalten und Toxizität
- Regulatorische Vorgaben (Verbote und Anwendungsbeschränkungen, Umweltqualitätsnormen).

Bei der Einstufung nach CLP Verordnung sind die Gefahrenklassen und die Gefahrensätze angegeben, wobei nur die Gesundheits- und Umweltgefahren angeführt sind. Nach CLP-Verordnung ist ein Stoff oder Gemisch gefährlich, wenn der Stoff oder das Gemisch den in Anhang I der CLP-VO festgelegten Kriterien für (i) physikalische Gefahren, (ii) Gesundheitsgefahren oder (iii) Umweltgefahren entspricht. Es sind 28 Gefahrenklassen definiert. Die Gefahrenklassen 1 bis 16 beziehen sich auf physikalische Gefahren, die Gefahrenklassen 17 bis 26 auf Gesundheitsgefahren und für die Umweltgefährdung ist nur eine Gefahrenklasse vorgesehen. Eine zusätzliche Gefahrenklasse behandelt die Gefährdung der Ozonschicht. Die Gefahrenklassen nach CLP-Verordnung sowie die Gefahrensätze (H-Sätze) für die Gesundheits- und Umweltgefahren sind in Anhang 1 (siehe die Abschnitte 9.1.1 und 9.1.2) zusammengefasst.

4.1 Perfluorierte Tenside

Untersuchte Substanzen:

- Perfluorierte Carbonsäuren:
 - Perfluorhexansäure (PF6C) (CAS# 307-24-4)
 - Perfluorheptansäure (PF7C) (CAS# 375-85-9)
 - Perfluoroctansäure (PF8C oder PFOA) (CAS# 335-67-1)
 - Perfluornonansäure (PF9C) (CAS# 375-95-1)
 - Perfluordecansäure (PF10C) (CAS# 335-76-2)
 - Perfluorundecansäure (PF11C) (CAS# 2058-94-8)
 - Perfluordodecansäure (PF12C) (CAS# 307-55-1)
- Perfluorierte Sulfonsäuren:
 - Perfluorhexansulfonsäure (PF6S) (CAS# 355-46-4)
 - Perfluorheptansulfonsäure (PF7S) (CAS# 375-92-8)
 - Perfluoroctansulfonsäure (PF8S oder PFOS) (CAS# 1763-23-1)
 - Perfluordecansulfonsäure (PF10S) (CAS# 39108-34-4)
- Neutrale perfluorierte Tenside:
 - Perfluoroctansulfonamid (PFOSA) (CAS# 754-91-6)
 - N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid (N-Ethyl-PFOSA) (CAS# 4151-50-2)

Einstufungen: Nach CLP-Verordnung ist die perfluorierte Carbonsäureverbindung Perfluoroctansäure (PF8C) harmonisiert eingestuft als gesundheitsschädlich bei

Verschlucken und Einatmen (H302, H332), schwere Augenschäden verursachend (H318), vermutlich krebserregend (H351), kann das Kind im Mutterleib schädigen (H360D), kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen (H362) sowie als organschädigend bei längerer oder wiederholter Exposition (H372 (Leber)). Perfluorooctansulfonsäure (PF8S) ist wie folgt harmonisiert eingestuft: gesundheitsschädlich bei Verschlucken und Einatmen (H302, 332), vermutlich krebserregend (H351), kann das Kind im Mutterleib schädigen (H360D), kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen (H362), organschädigend bei längerer oder wiederholter Exposition (H372 (Leber)) und giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H411).

Die perfluorierten Carbonsäureverbindungen Perfluorhexansäure (PF6C), Perfluorheptansäure (PF7C), Perfluornonansäure (PF9C), Perfluordecansäure (PF10C), Perfluorundecansäure (PF11C) sowie Perfluordodecansäure (PF12C) sind nach CLP-Verordnung nicht harmonisiert eingestuft. Keine Einstufungen sind für die perfluorierten Sulfonsäureverbindungen Perfluorhexansulfonsäure (PF6S), Perfluorheptansulfonsäure (PF7S) und keine harmonisierten Einstufungen für Perfluordecansulfonsäure (PF10S) verfügbar. Auch die neutralen perfluorierten Tensiden Perfluorooctansulfonamid (PFOSA) und N-Ethyl-Perfluorooctansulfonamid (N-Ethyl-PFOSA) sind nicht harmonisiert nach CLP-Verordnung eingestuft.

Umweltverhalten und Toxizität: Perfluorierte Tenside sind synthetisch hergestellte organische Verbindungen, deren Wasserstoffatome fast vollständig durch Fluoratome ersetzt sind. Perfluorooctansulfonat (PFOS) und Perfluorooctansäure (PFOA) zählen in dieser Gruppe zu den wichtigsten Vertretern. Perfluorierte Tenside zeichnen sich durch ihre hydrophilen sowie gleichzeitig hydrophoben Eigenschaften aus und werden daher v.a. in Materialien verwendet, die fett- und wasserfeste bzw. -abweisende Eigenschaften haben. Perfluorierte Tenside, insbesondere PFOS, sind sogenannte PBT-Substanzen (persistente, bioakkumulierende und toxische Stoffe). Sie können auch über lange Strecken transportiert werden und sind so beispielsweise in Umwelt- (Clara et al., 2009) und Biotaprobieren (Eisbären) aus entlegenen Regionen zu finden. Des Weiteren stehen sie im Verdacht, Krebs zu erzeugen (Umweltministerium Baden-Württemberg, 2007).

Regulierung: PFOS ist im Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe sowie im Anhang I der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe gelistet.

Laut Chemikalienverbotsverordnung (Chem-VerbotsV 2003, BGBl. II Nr. 477/2003 idgF) sind das Inverkehrsetzen und die Verwendung von Perfluorooctansulfonaten (PFOS) als Stoffe oder Bestandteile von Zubereitungen in einer Konzentration von 0,005 Masseprozent oder mehr verboten. Das Inverkehrsetzen von Halbfertigerzeugnissen oder Erzeugnissen sowie deren Bestandteilen ist dann verboten, wenn ihre PFOS-Massenkonzentration 0,1 % oder mehr beträgt. Im Falle von Textilien oder bei anderen beschichteten Werkstoffen gilt dieses Verbot dann, wenn der jeweilige PFOS-Anteil $1 \mu\text{g}/\text{m}^2$ oder mehr des beschichteten Materials beträgt. Ausgenommen von diesen Verboten sind i) Fotoresistlacke und Antireflexbeschichtungen für fotolithografische Prozesse, ii) fotografische Beschichtungen von Filmen, Papieren und Druckplatten, iii) Antischleiermittel (Mittel zur Sprühnebelunterdrückung) für nicht-dekoratives Hartverchromen (Chrom VI) und Netzmittel für überwachte Galvanotechniksysteme und iv) Hydraulikflüssigkeiten für die Luft- und Raumfahrt.

PFOS ist in der REACH-Verordnung (EG-Verordnung Nr. 1907/2006, geändert durch EU-Verordnung Nr. 317/2014) in Anhang XVII – Beschränkungen der Herstellung, des Inverkehrbringens und der Verwendung bestimmter gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Erzeugnisse enthalten. Zudem sind die untersuchten Verbindungen PFOA, PF11C und PF12C als besonders besorgniserregende Substanzen (SVHC, substance of very high concern) als Zulassungskandidaten in der REACH-Kandidatenliste nach Artikel 59, Anhang 10 der REACH-Verordnung gelistet. Damit besteht für diese Substanzen eine Informationspflicht.

Die Düngemittelverordnung 2004 (BGBl. II 100/2004 idgF) gibt für Düngemittel einen Grenzwert von 0,1 mg/kg Trockenmasse an. Dieser Grenzwert ist auf die Summe aus PFOA und PFOS bezogen.

Mit Richtlinie 2013/39/EU (UQN-RL) wurde PFOS als prioritär gefährlicher Stoff nach Artikel 16 der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL, 2000/60/EG) identifiziert und in den Anhang X der WRRL aufgenommen. Die WRRL gibt vor, dass für prioritär gefährliche Stoffe Einleitungen, Emissionen und Verluste innerhalb von 20 Jahren nach Ausweisung zu beenden oder schrittweise einzustellen sind. Die UQN-RL gibt auch Grenzwerte für PFOS in Gewässern vor. Die Konzentration darf im Jahresdurchschnitt nicht über 0,00065 µg/l betragen und die Maximalkonzentration darf 36 µg/l nicht überschreiten. In Fischen liegt der Grenzwert für PFOS bei 9,1 µg/kg Feuchtgewicht.

4.2 Organozinnverbindungen

Untersuchte Substanzen

- Dibutyl-, Tributyl-, Tetrabutyl-, Diphenyl-, Triphenylzinnverbindungen:
 - Dibutylzinn-Kation (CAS# 14488-53-0)
 - Tributylzinn-Kation (CAS# 36643-28-4)
 - Tetrabutylzinn (CAS# 1461-25-2)
 - Diphenylzinndichlorid (CAS# 1135-99-5)
 - Triphenylzinn-Kation (CAS# 668-34-8)

Einstufungen: Tetrabutylzinn ist nach CLP-Verordnung nicht harmonisiert eingestuft. Die Industrie stuft diese Verbindung als hautreizend (H315), allergische Hautreaktionen verursachen könnend (H317), schwere Augenschäden verursachend (H318), vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigend oder das Kind im Mutterleib schädigend (H361), organschädigend bei längerer oder wiederholter Exposition (H372) und als sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410) ein. Auch Diphenylzinndichlorid ist nach CLP-Verordnung nicht harmonisiert eingestuft. Die Einstufung der Industrie umfasst für diese Verbindung die Gesundheitsschädlichkeit bei Verschlucken, Hautkontakt und Einatmen (H302, H312, H332), schwer haut- und Augenreizende Eigenschaften (H315 und H319), die Möglichkeit der Atemwegsreizung und die hohe Giftigkeit für Wasserorganismen (H400) (ECHA, 2015).

Umweltverhalten und Toxizität: Bei Organozinnverbindungen handelt es sich um organische Derivate der Zinn(IV)halogenide, wobei die Halogenionen durch organische Reste ersetzt sind. Vor allem die Tributylzinnverbindungen stellen für die aquatische Umwelt aufgrund ihrer hohen Toxizität ein Risiko dar. Hauptsächlich wurden Tributylzinnverbindungen als Antifoulingfarben für Schiffsanstriche sowie in Holzschutzmitteln verwendet. Dibutylzinn- und Monobutylzinnverbindungen werden unter anderem in der PVC-Herstellung als Stabilisatoren eingesetzt (LfU, 2003).

Organozinnverbindungen können in Klärschlämmen von kommunalen Kläranlagen (Clara et al., 2012) nachgewiesen werden, wobei die Eintragsquellen nicht eindeutig geklärt sind. Man geht von einer Reihe diffuser Einträge wie beispielsweise durch Auslaugen aus Holz, Textilien, diversen Gebrauchsgegenständen, Dichtungsmaterialien, Kunststoffrohren und PVC-Produkten aus (LfU, 2003).

Organozinnverbindungen können in der Umwelt bis zu einem gewissen Grad abgebaut werden, wobei je nach Verbindung dieser Abbau leichter oder schwerer erfolgt. Die Halbwertszeiten zeigen eine große Schwankungsbreite. Beispielsweise kann Tributylzinn in Sedimenten mehrere Jahre lang stabil vorliegen. In Böden liegt die Halbwertszeit für den aeroben Abbau zwischen 70 und 140 Tagen, für den Abbau unter anaeroben Bedingungen bei bis zu 200 Tagen (LfU, 2003).

Nicht nur aufgrund der Verwendung für Schiffsanstriche sind Organozinnverbindungen in der aquatischen Umwelt weit verbreitet. Innerhalb der Gruppe der Organozinnverbindungen stellt Tributylzinn die für die Umwelt problematischste Verbindung dar und ist zudem eines der stärksten Umweltgifte für Wasserorganismen. Neben der hohen Toxizität auf aquatische Organismen sind Tributylzinn sowie andere Organozinnverbindungen (Triphenylzinn) endokrin wirksam und können in das Hormonsystem von Lebewesen eingreifen (Umweltbundesamt, 2002). Die endokrine Wirksamkeit führt in Organismen zu androgenen Effekten, die v.a. bei weiblichen Schnecken zu einer Vermännlichung führen. Zudem sind Tributylzinn und Triphenylzinn bereits in sehr geringen Konzentrationen für das Aussterben einzelner Spezies (Meeresschnecken) verantwortlich (Umweltbundesamt, n.b.).

Regulierung: Zinnorganische Verbindungen werden in Holzschutzmitteln, als Kunststoffadditive und in Katalysatoren eingesetzt. Die Verwendung von Organozinnverbindungen in Antifoulings oder als Bestandteile von Stoffen und Zubereitungen, die zur Aufbereitung von Brauchwasser im gewerblichen, industriellen und kommunalen Bereich bestimmt sind, ist verboten (ChemV-Verordnung 2003).

Nach REACH-Verordnung Nr. 1907/2006 (geändert durch EG-Verordnung Nr. 552/2009 und EU-Verordnung Nr. 276/2010) dürfen zinnorganische Verbindungen als Stoffe oder in Gemischen nicht in Verkehr gebracht oder verwendet werden, wenn diese als Biozide in Farben wirken und auf bestimmte Gegenstände aufgebracht werden, um den Bewuchs durch Mikroorganismen, Pflanzen oder Tiere zu verhindern. Zudem ist ein Inverkehrbringen zur Wasseraufbereitung verboten. Außerdem dürfen trisubstituierte zinnorganische Verbindungen wie Tributyl- und Triphenylzinnverbindungen nicht mehr in Erzeugnissen oder Teilen davon in Konzentrationen über 0,1 Gewichtsprozent verwendet werden. Dibutylzinnverbindungen dürfen nicht mehr in Konzentrationen über 0,1 Gewichtsprozent in Erzeugnissen oder Gemischen verwendet werden, die an die breite Öffentlichkeit abgegeben werden. Dasselbe gilt für Dioctylzinnverbindungen, jedoch mit spezifischen Einschränkungen u.a. auf Textilartikel, die in Kontakt mit der Haut kommen, Handschuhe und Schuhe, Wand- und Bodenverkleidungen, Babyartikel, Damenhygieneartikel und Windeln. Nach Artikel 59 Anhang 10 der REACH-Verordnung sind die zinnorganischen Verbindungen Dibutylzindichlorid und Bis(tributylzinn)oxid als besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC) auf der Kandidatenliste angeführt und unterliegen der Informationspflicht.

Mit Richtlinie 2008/105/EU (UQN-RL) wurden Tributylzinnverbindungen (TBT) als prioritär gefährliche Stoffe nach Artikel 16 der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) identifiziert und in den Anhang X der WRRL aufgenommen. Die WRRL gibt vor, dass für prioritär gefährliche Stoffe Einleitungen, Emissionen und Verluste innerhalb von 20 Jahren nach Ausweisung zu beenden oder schrittweise einzustellen sind. Die UQN-RL gibt auch Grenzwerte für TBT in

Gewässern vor. Die Konzentration darf im Jahresdurchschnitt nicht über 0,0002 µg/l betragen und die Maximalkonzentration darf 0,0015 µg/l nicht überschreiten.

Die Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG, BGBl. II Nr. 96/2006) schreibt auch einen nationalen Grenzwert für Dibutylzinnverbindungen (DBT) fest. Der Grenzwert für Dibutylzinnverbindungen in Oberflächengewässern bezogen auf den Jahresdurchschnitt beträgt 0,010 µg/l.

4.3 Nonylphenol und Nonylphenoethoxylate

Untersuchte Substanzen

- Alkylphenole:
 - Nonylphenol (NP) (CAS# 25154-52-3)
 - Nonylphenolmonoethoxylat (NP1EO) (CAS# 104-35-8)
 - Nonylphenoldiethylethoxylat (NP2EO) (CAS# 20427-84-3)

Einstufungen: Nonylphenol (NP) ist nach CLP-Verordnung wie folgt eingestuft: gesundheitsschädlich beim Verschlucken (H302), verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden (H314), kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen und kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen (H361fd), sehr giftig für Wasserorganismen (H400) sowie sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410). Für die Ethoxylate NP1EO und NP2EO sind keine harmonisierten Einstufungen verfügbar (ECHA, 2015).

Umweltverhalten und Toxizität: Nonylphenole bzw. die untersuchten Nonylphenoethoxylate sind für Wasserorganismen toxisch. Die Toxizität der Ethoxylate auf aquatische Organismen nimmt mit kürzer werdender Ethoxyseitenkette zu. In verschiedenen Untersuchungen wurde außerdem eine östrogene Wirkung auf aquatische Organismen nachgewiesen, wobei auch hier im Falle der Ethoxylate diese mit abnehmender Seitenkette zunimmt. Die stärkste östrogene Wirksamkeit zeigt allerdings NP, auch wenn im Vergleich zu Östradiol die hormonelle Wirksamkeit von NP sowie von NP1EO und NP2EO wesentlich geringer ausfällt (um mehrere 10er-Potenzen) (Umweltbundesamt, 2004a).

Die Betrachtung der Toxizität auf terrestrische Ökosysteme zeigte eine akute Toxizität für Pflanzen von 16-316 mg/kg (EC50). Für die Bodenfauna liegen die EC50-Werte zwischen 41 und >1.000 mg/kg, sowie für Mikroorganismen zwischen 17 und >1.000 mg/kg. Der für Boden abgeleitete PNEC-Wert liegt bei ca. 5 mg/kg. Generell erfolgt ein schneller Abbau im Boden mit Halbwertszeiten von 5-40 Tagen (Umweltbundesamt, 2004a).

NP ist zwar sehr toxisch für Wasserorganismen und erfüllt damit das T-Kriterium, ist aber weder bioakkumulativ noch persistent aufgrund seiner guten Abbaubarkeit (ECHA, n.b.).

Regulierung: Das Inverkehrsetzen und die Verwendung von Nonylphenolen und Nonylphenoethoxylaten als Stoffe sowie als Bestandteile von Stoffen und Zubereitungen in einer jeweiligen Konzentration von 0,1 Masseprozent oder mehr sind in der Chemikalienverbots-Verordnung 2003 für zahlreiche Verwendungsbereiche (mit Ausnahmen) verboten. Dazu zählen die industrielle und gewerbliche Reinigung, die Haushaltsreinigung, die Textil- und Lederverarbeitung, die Verwendung als Emulgator in Melkfett, die Metallverarbeitung, die Herstellung von Zellstoff und Papier, kosmetische Mittel, sonstige Körperpflegemittel und als Formulierungshilfsstoffe in Pflanzenschutzmitteln und Biozid-Produkten.

Nach Verordnung Nr. 1907/2006 (REACH-Verordnung; geändert durch EG-Verordnung Nr. 552/2009) sind Nonylphenol und Nonylphenoethoxylate als Stoffe oder Bestandteile von Zubereitungen in Konzentrationen von mehr als 0,1 Massenprozent in der gewerblichen Reinigung (mit Ausnahmen), in der Haushaltsreinigung, in der Textil- und Lederverarbeitung (mit Ausnahmen), als Emulgator in Melkfett, in der Metallverarbeitung (mit Ausnahmen), in der Zellstoff- und Papierherstellung, in kosmetischen Mitteln, in sonstigen Körperpflegemitteln (mit Ausnahmen) und als Formulierungshilfsstoffe in Pestiziden und Bioziden verboten. Zudem sind Nonylphenol sowie Nonylphenoethoxylate auf der REACH-Kandidatenliste für besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC-Stoffe) gelistet und unterliegen der Informationspflicht.

Mit Richtlinie 2008/105/EU (UQN-RL) wurden Nonylphenole als prioritär gefährliche Stoffe nach Artikel 16 der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) identifiziert und in den Anhang X der WRRL aufgenommen. Die WRRL gibt vor, dass für prioritär gefährliche Stoffe Einleitungen, Emissionen und Verluste innerhalb von 20 Jahren nach Ausweisung zu beenden oder schrittweise einzustellen sind. Die UQN-RL gibt auch Grenzwerte für NP in Gewässern vor. Die Konzentration darf im Jahresdurchschnitt nicht über 0,3 µg/l betragen und die Maximalkonzentration darf 2,0 µg/l nicht überschreiten.

4.4 Phthalate

Untersuchte Substanz:

- Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) (CAS# 117-81-7)

Einstufungen: DEHP ist nach CLP-Verordnung als die Fruchtbarkeit beeinträchtigen könnend und das Kind im Mutterleib schädigen könnend (H360FD) harmonisiert eingestuft (ECHA, 2015).

Umweltverhalten und Toxizität: DEHP wird als Kunststoffweichmacher in einer breiten Produktpalette eingesetzt und kann unter anderem während der Herstellung, Verwendung und Entsorgung in die Umwelt gelangen (ECB, 2008a). Aufgrund hoher Produktionsvolumina und dem breiten Anwendungsgebiet in Verbindung mit einer hohen Persistenz ist DEHP in der Umwelt ubiquitär verbreitet. Untersuchungen haben gezeigt, dass v.a. Böden eine Senke für DEHP sowie andere Phthalate darstellen (LfU, 2003).

DEHP ist ähnlich wie andere Phthalatverbindungen chemisch stabil. Die akute Toxizität von DEHP ist nur gering. Im Tierversuch zeigte sich eine kanzerogene und reproduktionstoxische Wirkung. Außerdem besitzt DEHP eine endokrine Wirksamkeit (Umweltbundesamt, 2008). Studien in Bodenorganismen und Pflanzen zeigten, dass DEHP wahrscheinlich nicht auf diese gefährdend wirkt. Auch eine sekundäre Toxizität ist eher auszuschließen. Dennoch muss dabei berücksichtigt werden, dass DEHP eine endokrin wirksame Substanz ist, und damit eine Gefährdung darstellen kann (ECB, 2008a).

Regulierung: Nach REACH-Verordnung (EG-Verordnung Nr. 1907/2006) darf DEHP nicht als Stoff oder Bestandteil von Zubereitungen in Konzentrationen von mehr als 0,1 Massenprozent des weichmacherhaltigen Materials in Spielzeug oder Babyartikeln verwendet und in Verkehr gebracht werden. Außerdem ist DEHP Zulassungskandidat nach Artikel 59, Absatz 10 der REACH-Verordnung und auf der Kandidatenliste für besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC-Stoffe) gelistet. Damit gilt für DEHP in Informationspflicht. In Kosmetika ist die Verwendung von DEHP durch die EU-Kosmetikverordnung (Verordnung Nr. 1223/2009) verboten.

DEHP ist in Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG) als prioritärer gefährlicher Stoff angeführt. Diese gibt vor, dass für prioritäre Stoffe Einleitungen, Emissionen und Verluste innerhalb von 20 Jahren nach Ausweisung zu beenden oder schrittweise einzustellen sind. Zudem ist in der Richtlinie 2008/105/EU (UQN-RL) Grenzwerte für DEHP in Gewässern vorgegeben. Die DEHP-Konzentration darf im Jahresdurchschnitt 1,3 µg/l nicht überschreiten. Dieser Wert gilt auch für die zulässige Maximalkonzentration.

4.5 Bisphenole

Untersuchte Substanz

- Bisphenol A (BPA) (CAS# 80-05-7)

Einstufungen: Nach CLP-Verordnung ist BPA wie folgt harmonisiert eingestuft: kann allergische Hautreaktionen verursachen (H317), verursacht schwere Augenschäden (H318), kann die Atemwege reizen (H335) und kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen (H360F) harmonisiert eingestuft (Verordnung (EU) 2016/1179).

Umweltverhalten und Toxizität: BPA ist eine endokrin wirksame Substanz. In aquatischen Organismen konnte eine östrogene Wirkung auf u.a. Fische und Schnecken nachgewiesen werden, die jedoch wesentlich geringer als jene von Östradiol ausfällt (Umweltbundesamt, 2004a). Auch in anderen Organismen konnten Effekte auf das endokrine System nachgewiesen werden. Nach der 2008 aktualisierten europäischen Risikobewertung wurde für Frischwasser ein PNEC von 1,6 µg/l abgeleitet (Hartmann, 2012).

In terrestrischen Ökosystemen bestehen derzeit noch etliche Datenlücken. Der PNEC für BPA in Boden liegt bei 3,7 mg/kg Trockengewicht, sowie in Frischwassersediment bei 63 µg/kg Trockengewicht (Hartmann, 2012). BPA ist im Boden wenig mobil und es können sich aufgrund seines hohen Boden-Wasser-Partitionskoeffizienten innerhalb von wenigen Tagen nicht extrahierbare Rückstände bilden. Die Sorption an Boden und Sediment ist stark von der Konzentration des organischen Materials sowie der Partikelgröße abhängig (Corrales et al., 2015). Der Eintrag von BPA in beispielsweise Böden kann zusätzlich auch durch den anaeroben Abbau von Tetrabrombisphenol-A (TBBPA) – einem in der Umwelt persistenten bromierten Flammschutzmittel – zu BPA erfolgen und damit eine weitere Eintragsquelle darstellen. TBBPA an sich kann in allen Umweltmedien nachgewiesen werden und ist in den höchsten Konzentrationen in städtischen und industriellen Gebieten zu finden (Fent, 2007). Im Boden sind Transport und Bioverfügbarkeit von BPA derzeit noch nicht vollständig untersucht. Generell fehlen noch etliche Daten und Untersuchungen zu BPA in diversen Umweltkompartimenten (Corrales et al., 2015).

Regulierung: In der EU-Richtlinie 2011/8/EU bzw. der EU-Verordnung Nr. 10/2011 ist für BPA in Materialien und Gegenständen, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen, ein spezifischer Migrationsgrenzwert von 0,6 mg/kg festgelegt. Zudem darf BPA nicht bei der Herstellung von Säuglingsflaschen aus Polycarbonat verwendet werden.

BPA ist nach EG-Verordnung Nr. 1223/2009 über kosmetische Mittel in Kosmetika verboten. Bisphenol-A ist in der Qualitätszielverordnung Chemie Oberflächengewässer (QZV Chemie OG, BGBl. II Nr. 96/2006 idgF) als national relevanter Stoff geregelt und ein Grenzwert für Oberflächengewässer von 1,6 µg/l ist vorgegeben.

4.6 Flammenschutzmittel

4.6.1 Hexabromcyclododecan

Untersuchte Substanzen:

- Hexabromcyclododecan
 - α -HBCDD (CAS# 134237-50-6)
 - β -HBCDD (CAS# 134237-51-7)
 - γ -HBCDD (CAS# 134237-52-8).

Einstufungen: Nach CLP-Verordnung ist HBCDD als vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen könnend (H361) und als Säuglinge über die Muttermilch schädigen könnend (H362) harmonisiert eingestuft (ECHA, 2015).

Umweltverhalten und Toxizität: Technisches HBCDD ist ein Gemisch aus drei Stereoisomeren, die in unterschiedlichen Konzentrationen vorkommen:

- α -HBCDD (CAS# 134237-50-6)
- β -HBCDD (CAS# 134237-51-7) und
- γ -HBCDD (CAS# 134237-52-8).

Unabhängig von der Zusammensetzung des technischen HBCDD-Gemisches erfolgt die Identifikation mit einer der oben genannten CAS-Nummern (ECB, 2008b).

HBCDD ist nur gering wasserlöslich, hat eine gute Fettlöslichkeit und ist nur schlecht abbaubar. Es kann sich zudem über die Nahrungskette anreichern. Das höchste Bioakkumulierungspotential besitzt dabei das Isomer α -HBCDD. Für Wasserorganismen ist HBCDD toxisch.

HBCDD erfüllt die PBT-Kriterien und ist daher als besonders besorgniserregender Stoff mit PBT-Eigenschaften eingestuft (ECB, 2008b; EFSA, 2011a; UBA, 2014). Ein weiteres Problem stellen der Fernstreckentransport und der Nachweis von HBCDD in Polarregionen dar. HBCDD erfüllt damit auch die Kriterien für POPs und wurde 2013 in die Stockholm-Konvention aufgenommen (UNEP, 2013).

Regulierung: Im Jahr 2013 wurde HBCDD im Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe aufgenommen und ist seit 2016 in EG-Verordnung Nr. 850/2004 (geändert durch EU-Verordnung Nr. 2016/460) über persistente organische Schadstoffe gelistet.

HBCDD ist nach REACH-Verordnung (EU-Verordnung Nr. 1907/2006, Artikel 59 Anhang 10) als besonders besorgniserregende Substanz (SVHC) auf der Kandidatenliste angeführt und unterliegt damit der Informationspflicht.

Mit der Richtlinie 2013/39/EU (UQN-RL) wurden Hexabromcyclododecan-Verbindungen als prioritäre gefährliche Stoffe nach der Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG) identifiziert und in Anhang X aufgenommen. Der Eintrag umfasst die Verbindungen 1,3,5,7,9,11-Hexabromcyclododecan (CAS# 25637-99-4), 1,2,5,6,9,10-Hexabromcyclododecan (CAS# 3194-55-6), α -Hexabromcyclododecan (CAS# 134237-50-6), β -Hexabromcyclododecan (CAS# 134237-51-7) und γ -Hexabromcyclododecan (CAS# 134237-52-8). Für prioritär gefährliche Stoffe gilt, dass Einleitungen, Emissionen und Verluste innerhalb von 20 Jahren nach Ausweisung zu beenden oder schrittweise einzustellen sind. Nach der UQN-RL sind zudem Grenzwerte für Gewässer für HBCDD festgesetzt. Im Jahresdurchschnitt dürfen die Konzentrationen in Binnenoberflächengewässern 0,0016 $\mu\text{g/l}$ nicht überschreiten. Die

Maximalkonzentration darf nicht mehr als 0,5 µg/l betragen. In Biota (Fische) beträgt der Grenzwert für HBCDD 167 µg/kg Feuchtgewicht.

4.6.2 Polybromierte Diphenylether

Die Gruppe der polybromierten Diphenylether (PBDE) umfasst mehr als 200 Substanzen, die als sogenannte PBDE-Kongenere bezeichnet werden. Sie unterscheiden sich in Anzahl und Position der Bromatome an den Phenylringen. Die Kongenere werden mit der Abkürzung BDE bezeichnet.

Untersuchte Substanzen:

- Polybromierte Diphenylether
 - 2,4,4'-Tri-BDE (BDE 28, CAS# 41318-75-6)
 - 2,2',4,4'-Tetra-BDE (BDE 47, CAS#5436-43-1)
 - 2,2',4,4',5-Penta-BDE (BDE 99, CAS# 60348-60-9)
 - 2,2',4,4',6-Penta-BDE (BDE 100, CAS# 189084-64-8)
 - 2,2',4,4',5,5'-Hexa-BDE (BDE 153, CAS# 68631-49-2)
 - 2,2',4,4',5,6'-Hexa-BDE (BDE 154, CAS# 207122-15-4)

Einstufungen: Die angegebenen Kongenere sind die Hauptbestandteile des technischen Gemisches der Pentabromdiphenylether (PentaBDE). PentaBDE ist nach CLP-Verordnung wie folgt harmonisiert eingestuft: kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen (H362), kann die Organe schädigen (H373), sehr giftig für Wasserorganismen (H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410).

Umweltverhalten und Toxizität: Generell sind die PBDE bioakkumulativ und persistent, wobei das jeweilige Potential vom spezifischen Gemisch sowie dem entsprechenden Kongener abhängt. Einige Kongenere sind auch ubiquitär in Biota nachweisbar und können in Lebensmitteln und Futtermitteln akkumulieren. Zudem stellen die niederen PBDEs (bis HexaBDE) ein Problem aufgrund ihres Potentials zum atmosphärischen Ferntransport dar. Trotz ihrer Persistenz sind die PBDE-Kongenere u.a. durch Photolyse und reduktive Debromierung in Luft, Pflanzen, Tieren, Boden und Sedimenten zum Teil abbaubar (EFSA, 2011b)

Von primärem Interesse für weitere Untersuchungen zum Vorkommen in der Umwelt und Toxizität sind insgesamt acht (oben sind nur sechs angegeben) verschiedene Kongenere (EFSA, 2011b), wovon sechs auch im Zuge der vorliegenden Untersuchung betrachtet werden.

Regulierung: Seit 2009 sind Penta- und OctaBDE in Annex A der POP-Liste der Stockholm-Konvention aufgenommen (UNEP, 2014; UNIDO, 2012).

DecaBDE ist nach Artikel 59, Anhang 10 der REACH-Verordnung (Nr. 1907/2006) auf der Liste der besonders besorgniserregenden Stoffe (SVHC-Stoffe) als Kandidatenstoff angeführt und unterliegt der Informationspflicht.

Lt. Chemikalienverbots-Verordnung 2003 sind das Inverkehrsetzen und die Verwendung von Diphenylether-Pentabromderivat (CAS 32534-81-9) und Diphenylether-Oktabromderivat (CAS 32536-52-0) als Stoffe oder Bestandteile von Stoffen und Zubereitungen in einer Konzentration von $\geq 0,1$ Masseprozent verboten.

Bromierte Diphenylether sind als prioritär gefährliche Stoffe nach Artikel 16 der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Anhang X gelistet. Die WRRL gibt vor, dass für prioritär

gefährliche Stoffe Einleitungen, Emissionen und Verluste innerhalb von 20 Jahren nach Ausweisung zu beenden oder schrittweise einzustellen sind. Die Überwachung erfolgt über die Summe von sechs definierten Kongeneren der Tetra-, Penta-, Hexa- und Heptabromdiphenylether. Die UQN-RL (2008/105/EU) gibt auch Grenzwerte für bromierte Diphenylether in Gewässern vor. So darf die Maximalkonzentration 0,14 µg/l nicht überschreiten. Zudem ist ein Biota-Grenzwert (Fische) von 0,0085 µg/kg Feuchtgewicht vorgegeben.

4.7 Metalle

Untersuchte Substanzen:

- Metalle
 - Kupfer (Cu) (CAS# 7440-50-8)
 - Nickel (Ni) (CAS# 7440-02-0)
 - Chrom (Cr) (CAS# 7440-47-3)
 - Zink (Zn) (CAS# 7440-66-6)
 - Blei (Pb) (CAS# 7439-92-1)
 - Cadmium (Cd) (CAS# 7440-43-9)
 - Quecksilber (Hg) (CAS# 7439-97-6)

Einstufungen: Die harmonisierte Einstufung von Nickel umfasst: kann allergische Hautreaktionen verursachen (H317), kann vermutlich Krebs erzeugen (H351), kann die Organe schädigen (H372) sowie schädlich für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H412). Zink ist nach CLP-Verordnung harmonisiert als sehr giftig für Wasserorganismen (H400) und als sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410) eingestuft. Blei ist nach CLP-Verordnung nicht harmonisiert eingestuft. Die Industrie stuft dieses Schwermetall als gesundheitsschädlich bei Verschlucken und Einatmen (H302, H332), die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen könnend (H360), potentiell organschädigend bei längerer oder wiederholter Exposition (H373), sehr giftig für Wasserorganismen (H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410) ein. Cadmium ist nach CLP-Verordnung als lebensgefährlich bei Einatmen (H330), vermutlich gentoxisch (H341), krebserregend (H350), vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen und das Kind im Mutterleib schädigen könnend (H361fd), organschädigend bei längerer oder wiederholter Exposition (H372), sehr giftig für Wasserorganismen (H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410) harmonisiert eingestuft. Die harmonisierte Einstufung von Quecksilber umfasst die folgenden Bewertungen: Lebensgefährlich bei Einatmen (H330), kann das Kind im Mutterleib schädigen (H360D), schädigt die Organe bei längerer oder wiederholter Exposition (H372), sehr giftig für Wasserorganismen (H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410) (ECHA, 2015).

Umweltverhalten und Toxizität: Kupfer kann unter anderem durch die metallverarbeitende Industrie, Abfall, kommunale Abwässer und Holzherstellung, etc. in die Umwelt gelangen und ist weit verbreitet zu finden. Gelangt Kupfer in die Boden, bindet es stark an organisches Material und ist nur wenig mobil. Bei einem Eintrag von Kupfer in Gewässer löst es sich und bindet an Partikel und Sedimente. Trotz dieser Bindung besteht allerdings Verdacht, dass ein Teil des wasserlöslichen Kupfers in das Grundwasser gelangt. Kupfer ist in Pflanzen und Tieren nachweisbar, aber auch in vielen Lebensmittel und Getränken. Generell ist Kupfer ein

essentielles Metall. Bei höheren Expositionen kann es allerdings zu gesundheitlichen Schädigungen kommen (ATSDR, 2004).

Nickel kann aus natürlichen und anthropogenen Quellen in die Umwelt gelangen und kommt ubiquitär vor. Für viele Mikroorganismen-, Pflanzen- und Vertebratenspezies ist dieses Metall für ein normales Wachstum essentiell (ECB, 2008c). Nickel besitzt auch toxische Eigenschaften: Nickelverbindungen sind als krebserregend eingestuft. Zudem wurden in Tierversuchsstudien teratogene und reproduktionstoxische Wirkungen nachgewiesen. Des Weiteren sind Nickel und Nickelverbindungen für Wasserorganismen toxisch, wobei der Toxizitätsgrad zwischen einzelnen Spezies stark schwankt. In einigen aquatischen aber auch terrestrischen Pflanzen kann Nickel außerdem akkumulieren (UBA, 2015).

Ein weit verbreitetes Element ist Chrom, das natürlich zumeist als Chromit vorkommt. Die Eintragsquellen von Chrom in die Umwelt können anthropogenen (z.B. durch Einträge der metallverarbeitenden Industrie, Holzschutzmittel, Katalysatoren, etc.) sowie natürlichen Ursprungs (z.B. durch Vulkanismus, Verwitterung und biologische Prozesse) sein. Für den Menschen ist Chrom ein essentielles Spurenelement, jedoch sind einige Chromverbindungen kanzerogen und mutagen. Chrom ist akut und chronisch toxisch für aquatische und terrestrische Organismen. Zusätzlich ist Chrom bioakkumulierend und kann sich in Organismen anreichern (UBA, 2015).

Zink ist ein häufiges Element, das in der Natur fast ausschließlich in Erzen vorkommt. Eine bedeutende Rolle spielt Zink in der metallverarbeitenden Industrie, sowie in Bauwirtschaft und chemischer und pharmazeutischer Industrie. Über Verwitterung von Gesteinen und Luftdeposition, sowie über Abwässer, Klärschlämme und Deponien gelangt Zink in Gewässer und Böden. Für alle Organismen stellt Zink ein essentielles Spurenelement dar, allerdings besitzt es in höheren Konzentrationen toxische Eigenschaften und kann zu einer Beeinträchtigung der Entwicklung führen. In einigen Pflanzen- und Tierspezies ist eine Akkumulation von Zink möglich (UBA, 2015).

Das Schwermetall Blei ist in der Erdkruste als Spurenelement in einer durchschnittlichen Konzentration von 16 mg/kg enthalten. Zusätzlich können Blei und Bleiverbindungen durch Verunreinigungen in Boden und Sediment akkumulieren und sich auf mikrobiologische Aktivitäten auswirken. In weiterer Folge kommt es zu einer Reduktion der Bodenproduktivität. Blei und seine Verbindungen sind toxisch und können im Organismus akkumulieren, was zu chronischen Vergiftungen mit Schädigungen von Nervensystem, Lunge, Niere, Herz-Kreislaufsystem, Immunsystem, Enzymsystem und Knochenaufbau führt (Umweltbundesamt, 2009a).

Auch Cadmium als Schwermetall kommt in der Erdkruste natürlich vor. Zusätzlich kann ein Eintrag beispielsweise durch die zinkgewinnende Industrie erfolgen. In wieweit Cadmium in Böden biologisch verfügbar ist, hängt von den jeweiligen Bodeneigenschaften ab. Cadmium ist toxisch für Pflanzen, Tiere und Menschen (Umweltbundesamt, 2009a) und ist zudem vermutlich mutagen, kanzerogen und reproduktionstoxisch, sowie für Wasserorganismen sehr toxisch (ECHA, 2015).

Ähnlich wie bei Cadmium hängt die Anreicherung und Verfügbarkeit von Quecksilber in Umweltmedien stark von deren Eigenschaften sowie verschiedener chemischer, biochemischer und photochemischer Reaktionen ab. Quecksilber ist als Schwermetall toxisch und kann die Körperzellen schädigen (Umweltbundesamt, 2009a).

Regulierung: Nach Chemikalienverbots-Verordnung 2003 ist die Verwendung von Cadmium und Cadmium-Verbindungen zum Einfärben von Fertigwaren, die aus bestimmten Kunststoffen wie beispielsweise PVC, Polyurethan, Epoxidharze, ungesättigte Polyester, PET,

Polystyrol oder Polypropylen hergestellt werden, verboten, wenn die Konzentrationen an Cd-Metall 0,01% Massenanteile übersteigen. Weisen diese Anstrichfarben einen hohen Zinkgehalt auf, dürfen die Cd-Restkonzentrationen 0,1% Massenanteile nicht übersteigen. Für beide Beschränkungen bestehen allerdings Ausnahmen. Weiters sind Cd und Cd-Verbindungen als Stabilisierungsmittel in bestimmten Fertigwaren aus Vinylchloridpolymeren und -copolymeren verboten und dürfen nicht in Konzentrationen über 0,01% Massenanteile des Polymers enthalten sein (mit Ausnahmen). Ebenso ist die Beschichtung bzw. der Auftrag von Cd auf Metalloberflächen in bestimmten Fertigwaren – wie z.B. in Geräten und Maschinen zur Herstellung von Lebensmitteln oder für die Landwirtschaft – verboten.

Die Chemikalienverbots-Verordnung 2003 regelt zudem auch das Inverkehrsetzen und die Verwendung von Nickel und Nickelverbindungen. So besteht ein Verbot einer Nickelabgabe von mehr als $0,2 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ pro Woche von Stäben, die in durchstochene Körperteile eingeführt werden sowie von mehr als $0,5 \mu\text{g}/\text{cm}^2$ pro Woche von Fertigwaren wie Schmuck, Uhren, Nietknöpfe oder Reisverschlüssen, die unmittelbar und länger mit der Haut in Kontakt kommen.

Für Quecksilberverbindungen besteht ein Verbot für das Inverkehrsetzen und die Verwendung als Stoffe oder Bestandteile von Stoffen und Zubereitungen, die zur Aufbereitung von Brauchwasser im industriellen, gewerblichen und kommunalen Bereich, zum Schutz von Holz oder zur Imprägnierung von strapazierfähigen industriellen Textilien und zu deren Herstellung vorgesehenen Garnen. Des Weiteren ist das Inverkehrsetzen von Quecksilber in Fieberthermometern und anderen zum Verkauf an die breite Öffentlichkeit bestimmten Messinstrumenten verboten.

Das Inverkehrbringen und die Verwendung von Zement und zementhaltigen Zubereitungen ist nach Chemikalienverbots-Verordnung 2003 verboten, sofern der Gehalt an löslichem Chrom VI nach Hydratisierung mehr als 0,0002% der Trockenmasse des Zements beträgt (mit Ausnahmen).

Nach REACH-Verordnung (Verordnung Nr. 1907/2006) Anhang XVII zu Beschränkungen von bestimmten gefährlichen Stoffen dürfen Quecksilberverbindungen u.a. nicht an Bootskörpern und untergetauchten Geräten oder Einrichtungen zur Verhinderung eines Bewuchses durch Mikroorganismen, Pflanzen oder Tieren, als Holzschutz, als Imprägnierung von industriellen Textilien sowie zur Aufbereitung von Brauchwasser eingesetzt werden. Dasselbe gilt für Arsenverbindungen. Zudem ist ein Inverkehrbringen von Batterien und Akkumulatoren mit Quecksilbergehalten von mehr als 0,0005 Gewichtsprozent (mit Ausnahmen) verboten (siehe auch Änderung der REACH-Verordnung durch EG-Verordnung Nr. 847/2012). Nach REACH dürfen Cadmium und seine Verbindungen nicht für die Einfärbung von aus definierten Ausgangsstoffen und Zubereitungen, wie beispielsweise PVC oder Polyethylen, hergestellte Fertigerzeugnisse verwendet werden. Außerdem besteht ein Verbot zur Verwendung in Anstrichfarben und Lacken (mit Ausnahmen). Weitere Beschränkungen für Cadmium nach REACH stimmen mit jenen der Chemikalienverbots-Verordnung 2003 überein. Dies gilt auch für Nickel und seine Verbindungen sowie Chrom VI in Zement und zementhaltigen Zubereitungen. Blei und seine Verbindungen dürfen nach REACH-Verordnung (geändert durch EU-Verordnung Nr. 2015/628) nicht in Verkehr gebracht werden, wenn sie in Erzeugnissen für die breite Öffentlichkeit, die von Kindern in den Mund genommen werden könnten, in Konzentrationen von mehr als 0,05 Gewichtsprozent enthalten sind (mit Ausnahmen). Dies gilt auch für Schmuckware (EU-Verordnung Nr. 836/2012).

Nach Artikel 59, Absatz 10 der REACH-Verordnung ist Cadmium auf der Kandidatenliste für besonders besorgniserregende Stoffe (SVHC) gelistet und unterliegt damit auch der Informationspflicht.

Nach Anhang X der Wasserrahmenrichtlinie (RL 2000/60/EG) sind Cd und Cd-Verbindungen sowie Hg und Hg-Verbindungen als prioritäre gefährliche Stoffe im Bereich der Wasserpolitik eingestuft. Damit wird vorgegeben, dass Einleitungen, Emissionen und Verluste innerhalb von 20 Jahren nach Ausweisung zu beenden oder schrittweise einzustellen sind. Die Richtlinie 2008/105/EG (UQN-RL) gibt für Gewässer folgende Grenzwerte vor: für Cd und Cd-Verbindungen in Abhängigkeit von der Wasserhärteklasse dürfen die Konzentrationen im Jahresdurchschnitt für Binnenoberflächengewässer nicht mehr als $\leq 0,08$ (Klasse 1) bis $0,25$ $\mu\text{g/l}$ (Klasse 4) betragen. Zudem dürfen die Höchstkonzentrationen je nach Klasse $\leq 0,45$ (Klasse 1) bis $1,5$ $\mu\text{g/l}$ (Klasse 4) nicht überschritten werden. Für Hg und Hg-Verbindungen liegt der Grenzwert für die zulässige Höchstkonzentration in Gewässern bei $0,07$ $\mu\text{g/l}$. In Biota (Fische) darf ein UQN-Grenzwert von 20 $\mu\text{g/kg}$ Feuchtgewicht nicht überschritten werden. Nach UQN-RL in der Fassung der RL 2013/39/EU dürfen für Blei und Bleiverbindungen im Jahresdurchschnitt in Binnenoberflächengewässern $1,2$ $\mu\text{g/l}$ bezogen auf die bioverfügbare Konzentration nicht überschritten werden. Die Höchstkonzentration darf in Gewässern 14 $\mu\text{g/l}$ nicht überschreiten. Die UQN für Nickel und Nickel-Verbindungen beträgt für den Jahresdurchschnitt in Binnenoberflächengewässern 4 $\mu\text{g/l}$ bezogen auf die bioverfügbare Konzentration und die zulässige Höchstkonzentration liegt bei 34 $\mu\text{g/l}$.

4.8 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Untersuchte Substanzen:

Die Gruppe der polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) umfasst mehrere hundert unterschiedliche Verbindungen. Untersucht werden im Rahmen der vorliegenden Studie insgesamt 16 PAK, die von der U.S.-Amerikanischen Umweltbehörde EPA als prioritär eingestuft sind:

- Naphthalin (CAS# 91-20-3)
- Acenaphthylen (CAS# 208-96-8)
- Acenaphthen (CAS# 83-32-9)
- Fluoren (CAS# 86-73-7)
- Phenanthren (CAS# 85-01-8)
- Anthracen (CAS# 120-12-7)
- Fluoranthen (CAS# 206-44-0)
- Pyren (CAS# 129-00-0)
- Benz[a]anthracen (CAS# 56-55-3)
- Chrysen (CAS# 218-01-9)
- Benzo[b]fluoranthen (CAS# 205-99-2)
- Benzo[k]fluoranthen (CAS# 207-08-9)
- Benzo[a]pyren (CAS# 50-32-8)
- Dibenz[a,h]anthracen (CAS# 215-58-7)
- Benzo[g,h,i]perylen (CAS# 191-24-2)
- Indeno[1,2,3-cd]pyren (CAS# 193-39-5)

Einstufungen: Etliche PAK sind als krebserregend (H350) sowie als sehr giftig für Wasserorganismen (H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410) eingestuft. Benz[a]pyren und Chrysen sind außerdem als vermutlich genetische

Defekte verursachend (H341) eingestuft. Die Einstufung von Benz[a]pyren als Leitsubstanz für die Gruppe der PAKs umfasst die folgenden gefährlichen Eigenschaften: kann allergische Hautreaktionen verursachen (H317), kann genetische Defekte verursachen (H340), kann Krebs erzeugen (H350), kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen und das Kind im Mutterleib schädigen (H360FD), sehr giftig für Wasserorganismen (H400) und sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung (H410) (ECHA, 2015).

Umweltverhalten und Toxizität: PAK entstehen bei unvollständiger Verbrennung von organischem Material unter Sauerstoffmangel. Bei entsprechenden Bildungsbedingungen liegen beispielsweise in der Luft sehr komplexe PAK-Gemische bestehend aus vielen verschiedenen Verbindungen vor. Eine Vielzahl der PAK ist krebserregend. Benz[a]pyren, das international als Leitsubstanz für PAK geführt wird, ist teratogen, reproduktionstoxisch, immuntoxisch und kanzerogen. Über den Niederschlag gelangen PAK aus der Luft in Böden und Gewässer. Hier sind die Verbindungen in erster Linie an Partikel gebunden. Generell haben PAK mit steigender Molekülmasse eine schlechte Wasserlöslichkeit, sind lipophil und persistent. Sie können in allen Umweltkompartimenten nachgewiesen werden. Unter aeroben Bedingungen erfolgt ein Abbau von PAK in Abhängigkeit von der Ringanzahl, während unter anaeroben Bedingungen nur ein sehr geringer Abbau erfolgt. Die Halbwertszeiten in Böden und Sedimenten liegen zwischen einigen Monaten bis zu mehreren Jahrzehnten (Umweltbundesamt, 2004a, 2008).

Regulierung: Nach der Chemikalienverbots-Verordnung 2003 ist das Inverkehrsetzen und die Verwendung von Weichmacherölen für die Herstellung von Reifen oder Reifenbestandteilen verboten, wenn der PAK Benzo[a]pyren in Konzentrationen von mehr als 1 mg/kg enthalten ist oder der Gehalt an der Summe der PAK-Verbindungen Benzo[a]pyren, Benzo[e]pyren, Benzo[a]anthracen, Chrysen, Benzo[b]fluoranthen, Benzo[j]fluoranthen, Benzo[k]fluoranthen und Dibenzo[a,h]anthracen mehr als 10 mg/kg beträgt. Zudem sind Wurfscheiben (Tontauben, Wurftauben), die einen Anteil an PAK über 10 mg/kg Trockensubstanz enthalten, verboten.

Bestimmte PAK sind nach der REACH-Verordnung (EG- Verordnung 1907/2006) beschränkt. Weichmacheröle dürfen nicht für die Reifen- oder Reifenteileherstellung in Verkehr gebracht werden, wenn sie mehr als 1 mg/kg Benzo[a]pyren oder zusammengenommen mehr als 10 mg/kg bestimmter definierter PAK enthalten. Diese Grenzwerte gelten als eingehalten, wenn der PAK-Extrakt weniger als 3 Massenprozent beträgt. Zudem dürfen nach der Änderung der REACH-Verordnung (EU-Verordnung Nr. 1272/2013) keine Erzeugnisse für die allgemeine Öffentlichkeit in Verkehr gebracht werden, wenn einer ihrer Gummi- oder Kunststoffbestandteile in Kontakt mit der Haut oder der Mundhöhle kommt und mehr als 0,0001 Massenprozent eines der definierten PAK enthält. Zu diesen Erzeugnissen zählen u.a. Sportgeräte, Haushaltsgeräte, Werkzeuge für den Privatgebrauch, Bekleidung, Schuhe, Handschuhe, Armbänder und Masken. Für Spielzeug und Artikel für Säuglinge und Kleinkinder gilt außerdem ein Grenzwert von 0,00005 Massenprozent. Benzo[a]pyren ist außerdem unter der REACH-Verordnung (Artikel 59, Anhang 10) als besonders besorgniserregender Stoff (SVHC-Stoff) identifiziert und gelistet. Es gilt die Informationspflicht.

In der Wasserrahmenrichtlinie 2000/60/EG (Anhang X) sind unter dem Eintrag PAK die Stoffe Benzo[a]pyren, Benzo[b]fluoranthen, Benzo[g,h,i]perylen, Benzo[k]fluoranthen und Indeno[1,2,3-cd]pyren sowie zudem Anthracen, Fluoranthen und Naphthalin als prioritäre gefährliche Stoffe im Bereich der Wasserpolitik definiert. Die Richtlinie 2008/105/EU (UQN-

RL) gibt für Gewässer Grenzwerte für PAK-Verbindungen vor. Diese liegen für Benzo[a]pyren bei 0,00017 µg/l (Jahresdurchschnitt) und bei 0,27 µg/l (zulässige Höchstkonzentration) in Binnenoberflächengewässern sowie bei 5 µg/kg Feuchtgewicht in Biota (Krebs- und Weichtiere). Benzo[a]pyren dient als Indikatorstoff und die UQN für Benzo[a]pyren deckt auch die PAK Benzo[b]fluoranthen, Benzo[k]fluoranthen, Benzo[g,h,i]perylen und Indeno[1,2,3-cd]pyren ab. Für diese Stoffe sind zulässige Höchstkonzentrationen festgelegt. Diese liegen für Benzo[b]fluoranthen und Benzo[k]fluoranthen bei 0,017 µg/l sowie für Benzo[g,h,i]perylen bei 0,0082 µg/l in Binnenoberflächengewässern. Für Anthracen gelten sowohl für den Jahresdurchschnitt als auch für die zulässige Höchstkonzentration UQN von 0,1 µg/l. Die Konzentrationen an Fluoranthen bzw. Naphthalin dürfen im Jahresdurchschnitt nicht mehr als 0,0063 µg/l bzw. 2 µg/l betrachten und als zulässige Höchstkonzentrationen sind 0,12 µg/l bzw. 130 µg/l vorgegeben.

5 Chemische Analytik

Es wurden unterschiedliche Analysenmethoden zur Bestimmung der Projektparameter angewandt, die nachfolgend kurz beschrieben werden.

Bei der Auswertung der Analysenergebnisse wurden eine Minimal- und eine Maximalbewertung durchgeführt. Für die Minimalbewertung wurden alle nicht nachweisbaren Stoffe gleich null gesetzt und alle Nachweise kleiner Bestimmungsgrenze mit der Nachweisgrenze berücksichtigt. Bei der Maximalbewertung wurden alle nicht nachweisbaren Stoffe gleich der Nachweisgrenze gesetzt und alle Nachweise kleiner Bestimmungsgrenze mit der Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Diese Auswertung erlaubt eine Bewertung der Unsicherheiten aufgrund von Nachweisen kleiner der jeweiligen analytischen Bestimmungsgrenze. Wird für den Mittelwert ein Bereich angegeben, ist zumindest ein Messwert kleiner Bestimmungsgrenze und der untere Wert gibt den Mittelwert der Minimalbewertung und der obere Wert den Mittelwert der Maximalbewertung wider.

5.1 Perfluorierte Tenside

Festproben

Nach Zugabe eines isotoopenmarkierten Surrogatgemisches werden die gefriergetrockneten Proben am Vibrationsschüttler extrahiert. Das Extrakt wird mittels EnviCarb-Pulver aufgereinigt, im Anschluss mittels Stickstoff eingeeengt, und mittels Flüssigchromatographie – Tandem-Massenspektrometrie (LC-MS/MS) analysiert. Die Bestimmungs- (BG) und Nachweisgrenzen (NG) der untersuchten perfluorierten Tenside in den Feststoffproben sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Flüssigproben

Nach Zugabe eines isotoopenmarkierten Surrogatgemisches wird die Probe auf pH 4 eingestellt. Die Proben werden mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion mit Methyl-tertbutylether extrahiert. Die Extrakte werden eingeeengt und nach einem Lösungsmittelaustausch auf Methanol mittels LC-MS/MS analysiert. Die Bestimmungs- der untersuchten perfluorierten Tenside in den Flüssigproben betragen jeweils 0,0010 µg/l und die Nachweisgrenzen lagen bei jeweils 0,00050 µg/l.

Tabelle 4: Bestimmung- (BG) und Nachweisgrenzen (NG) [$\mu\text{g}/\text{kg}$ Trockenmasse] der perfluorierten Tenside, der Alkylphenole, von Bisphenol A, den polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen, Hexabromcyclododecan und der polybromierten Diphenylether in den Feststoffproben.

Parameter	Klärschlamm		Klärschlammkompost		Boden		Gras		Gärrückstände	
	BG	NG	BG	NG	BG	NG	BG	NG	BG	NG
Perfluorhexansäure	0,20	0,10	0,12	0,060	0,10	0,050	0,15-0,28	0,075-0,14	0,20	0,10
Perfluorheptansäure	0,40	0,20	0,14	0,070	0,10	0,050	0,38	0,19	0,18	0,09
Perfluoroctansäure	0,60	0,30	0,32	0,16	0,10-0,12	0,050-0,060	0,90	0,45	0,40	0,20
Perfluorononansäure	0,50	0,25	0,20	0,10	0,10	0,050	0,20-0,35	0,10-0,18	0,20	0,10
Perfluordecansäure	0,15	0,075	0,10	0,050	0,10	0,050	0,10-0,16	0,050-0,080	0,12	0,060
Perfluorundecansäure	0,15	0,075	0,10	0,050	0,10	0,050	0,12-0,19	0,060-0,085	0,19	0,085
Perfluordodecansäure	0,10	0,050	0,11	0,055	0,10	0,050	0,10	0,050	0,10	0,050
Perfluorhexansulfonsäure	0,20	0,10	0,20	0,10	0,10	0,050	0,12-0,30	0,060-0,15	0,20	0,10
Perfluorheptansulfonsäure	0,40	0,20	0,40	0,20	0,12-0,14	0,060-0,070	0,25-0,60	0,13-0,30	0,35	0,18
Perfluoroctansulfonsäure	0,50	0,25	0,50	0,25	0,12-0,14	0,060-0,070	0,30-0,60	0,15-0,30	0,20	0,10
Perfluordecansulfonsäure	0,32	0,16	0,32	0,16	0,10	0,050	0,20-0,48	0,10-0,24	0,26	0,13
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	0,64	0,32	0,64	0,32	0,14-0,15	0,070-0,075	0,36-0,45	0,18-0,23	0,36	0,18
Perfluoroctansulfonamid	0,22	0,11	0,22	0,11	0,10	0,050	0,22	0,11	0,22	0,11
Nonylphenole	20	10	20	10	5,0	2,5	-	-	20	10
Nonylphenol-1-ethoxylat	8,0	4,0	8,0	4,0	1,0	0,50	12	6,0	8,0	4,0
Nonylphenol-2-ethoxylat	4,0	2,0	4,0	2,0	0,50	0,25	6,0	3,0	4,0	2,0
Bisphenol A	10	5,0	10	5,0	4,0	2,0	8,0	4,0	10	5,0
PAK*	0,025	0,013	0,0050	0,0010	0,0050	0,0030	0,025	0,013	0,025	0,013
alpha-HBCDD	1,0	0,50	0,30	0,15	0,076	0,038	0,50	0,25	0,30	0,15
beta-HBCDD	0,50	0,25	0,070	0,035	0,050	0,025	0,30	0,15	0,070	0,035
gamma-HBCDD	0,50	0,25	0,050	0,025	0,050	0,025	0,12	0,060	0,050	0,025
BDE 28	0,014	0,00013	0,0028	0,0014	0,0019-0,0048	0,00096-0,0024	0,0013-0,0052	0,000065-0,0026	0,0058	0,0029
BDE 47	0,12	0,00022	0,0070	0,0035	0,05-0,13	0,025-0,63	0,034-0,13	0,017-0,067	0,15	0,074
BDE 99	0,078	0,00049	0,040	0,020	0,029-0,073	0,014-0,036	0,020-0,078	0,010-0,039	0,086	0,043
BDE 100	0,024	0,00049	0,0090	0,0045	0,0064-0,016	0,0032-0,0081	0,0044-0,017	0,0022-0,0085	0,019	0,0095
BDE 153	0,013	0,00040	0,026	0,013	0,018-0,047	0,0092-0,023	0,013-0,050	0,0065-0,025	0,056	0,028
BDE 154	0,0062	0,00042	0,0050	0,0025	0,0036-0,0092	0,0018-0,0046	0,0025-0,0098	0,0013-0,0049	0,011	0,0054

*...für alle 16 PAK (Naphthalin, Acenaphthylen Acenaphthen Fluoren Phenanthren Anthracen Fluoranthren Pyren Benz[a]anthracen Chrysen Benzo[b]fluoranthren Benzo[k]fluoranthren Benzo[a]pyren Dibenz[a,h]anthracen Benzo[g,h,i]perylen Indeno[1,2,3-cd]pyren) gelten in den verschiedenen Matrices die gleichen Werte für BG und NG. Daher sind die PAK in der Tabelle nicht einzeln angeführt.

5.2 Organozinnverbindungen

Festproben

Die Durchführung basiert auf ÖNORM EN ISO 23161. Die gefriergetrockneten Proben werden nach Zugabe der deuterierten Surrogatstandards in einer ethanolisch-gepufferten wässrigen Phase unter Zugabe eines Komplexbildungsreagens extrahiert, bei pH 3,4 zu vollalkylierten Organozinnverbindungen mittels Natriumtetraethylborat derivatisiert (Ethylierung) und mit n-Hexan extrahiert. Der Extrakt wird über Kieselgel gereinigt, im Stickstoffstrom eingeengt und mittels GC-MS/MS analysiert. Die Bestimmungsgrenze lag für alle untersuchten Organozinnverbindungen in allen Feststoffproben bei 1,0 µg/kg TM und die Nachweisgrenze bei 0,50 µg/kg TM. Die Organozinnverbindungen wurden in den Grasproben nicht analysiert.

Flüssigproben

Die Durchführung basiert auf DIN EN ISO 17353. Die Organozinnverbindungen werden nach Zugabe der deuterierten Surrogatstandards in der gepufferten wässrigen Phase bei pH 4,5 zu vollalkylierten Organozinnverbindungen mittels Natriumtetraethylborat derivatisiert (Ethylierung) und mit n-Hexan extrahiert. Der Extrakt wird über Kieselgel gereinigt, im Stickstoffstrom eingeengt und mittels GC-MS/MS analysiert. Die Bestimmungsgrenze lag für alle untersuchten Organozinnverbindungen bei 0,00020 µg/l und die Nachweisgrenze bei 0,00010 µg/l.

5.3 Nonylphenol und Nonylphenoethoxylate

Festproben

Nach Zugabe von deuterierten Surrogatstandards wurden die Festproben mittels Soxhlet-Extraktion mit Dichlormethan extrahiert. Das Extrakt wird mittels Stickstoff eingeengt und mittels LC-MS/MS analysiert. Die Bestimmungs- und Nachweisgrenzen in den Feststoffproben sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Flüssigproben

Nach Zugabe von deuterierten Surrogatstandards werden die Wasserproben gemäß ÖNORM EN ISO 18857-1 mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion extrahiert. Die Alkylphenole wurden über LC-MS/MS bestimmt. Die Bestimmungsgrenzen lagen bei 0,012 µg/l für Nonylphenol, bei 0,020 µg/l für Nonylphenolmonoethoxylate und bei 0,050 µg/l für Nonylphenoldiethoxylate. Die Nachweisgrenzen lagen für Nonylphenol bei 0,0060 µg/l, für Nonylphenolmonoethoxylate bei 0,010 µg/l und für Nonylphenoldiethoxylate bei 0,025 µg/l.

5.4 Phthalate

Festproben

Die Messung von Di(2-ethylhexyl)phthalat (DEHP) basiert auf ONR CEN/TS 16183. Die gefriergetrockneten Proben werden nach Zugabe des deuterierten Surrogatstandards mit Ethylacetat im Ultraschallbad extrahiert. Der Extrakt wird zentrifugiert, über Aluminiumoxid gereinigt, im Stickstoffstrom eingeengt und mittels GC-MS analysiert. Die Bestimmungsgrenze für DEHP betrug für alle Feststoffproben 10 µg/kg TM und die Nachweisgrenze lag bei 5,0 µg/kg TM.

Flüssigproben

Die Durchführung basiert auf DIN EN ISO 18856. Nach der Zugabe des deuterierten Surrogatstandards werden die Wasserproben mittels n-Hexan extrahiert. Der Extrakt wird im Stickstoffstrom eingengt und mittels GC-MS analysiert. Die Bestimmungsgrenze für DEHP in den Depositionsproben lag bei 0,050 µg/kg TM und die Nachweisgrenze bei 0,025 µg/kg TM.

5.5 Bisphenol A

Festproben

Nach Zugabe von deuterierten Surrogatstandards werden die Wasserproben gemäß ÖNORM EN ISO 18857-1 mittels Flüssig-Flüssig-Extraktion extrahiert. Bisphenol A wurde über LC-MS/MS bestimmt. Die Bestimmungs- und Nachweisgrenzen in den Feststoffproben sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Flüssigproben

Nach Zugabe von deuterierten Surrogatstandards werden die Wasserproben angesäuert (pH < 3) und über eine Festphasenkartusche extrahiert. Die Elution erfolgt mit einem Methanol/Methyl-tert-butylether-Gemisch. Bisphenol A wurde mittels LC-MS/MS bestimmt. Die Bestimmungsgrenze lag bei 0,010 µg/l und die Nachweisgrenze betrug 0,050 µg/l.

5.6 Flammschutzmittel

Festproben Hexabromcyclododecan (HBCDD)

Die gefriergetrockneten Proben werden nach Zugabe eines isotoopenmarkierten Surrogatstandards mittels QuEChERS extrahiert. Nach Einengung mittels Stickstoff erfolgt die Zugabe eines Injektionsstandards und die Messung mittels LC-MS/MS. Die Bestimmungs- und Nachweisgrenzen in den Feststoffproben sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Flüssigproben Hexabromcyclododecan (HBCDD)

Die Proben wurden mit isotoopenmarkiertem Surrogatstandard dotiert und mittels Direktinjektion in eine LC-MS/MS-System analysiert. Die Bestimmungsgrenzen für alle analysierten HBCDD-Kongeneren (α , β , γ -HBCDD) lagen bei 0,005 µg/l und die Nachweisgrenzen bei 0,0025 µg/l.

Festproben polybromierte Diphenylether (PBDE)

Die Durchführung der Analyse erfolgt nach Methode EPA 1614. Die gefriergetrockneten Proben (10 g) werden nach Zugabe von isotoopenmarkierten Surrogatstandards für jeden Analyten mittels Soxhlet-Extraktion extrahiert. Nach der Aufreinigung durch dreistufige Säulenchromatographie erfolgt nach Einengung mittels Stickstoff die Zugabe eines Injektionsstandards und die Messung mittels GC-HRMS. Die Quantifizierung wird nach der Isotoopenverdünnungsmethode durchgeführt. Die Bestimmungs- und Nachweisgrenzen in den Feststoffproben sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Flüssigproben polybromierte Diphenylether (PBDE)

Die Durchführung der Analyse erfolgt nach Methode EPA 1614. Die Proben (ca. 900 ml) werden nach Zugabe von isotope-markierten Surrogatstandards für jeden Analyten mittels kontinuierlicher flüssig/flüssig-Extraktion extrahiert. Nach der Aufreinigung durch dreistufige Säulenchromatographie erfolgt nach Einengung mittels Stickstoff die Zugabe eines Injektionsstandards und die Messung mittels GC-HRMS. Die Quantifizierung wird nach der Isotopenverdünnungsmethode durchgeführt. Die Bestimmungsgrenzen lagen bei 0,000018 µg/l für BDE 28, bei 0,00018 µg/l für BDE 47, bei 0,00017 µg/l für BDE 99, bei 0,000038 µg/l für BDE 100, bei 0,000051 µg/l für BDE 153 und bei 0,000040 µg/l für BDE 154. Die Nachweisgrenzen lagen für BDE 28 bei 0,0000090 µg/l, für BDE 47 bei 0,000090 µg/l, für BDE 99 bei 0,000086 µg/l, für BDE 100 bei 0,000019 µg/l, für BDE 153 bei 0,000025 µg/l und für BDE 154 bei 0,000020 µg/l.

5.7 Metalle

Festproben

Die Bestimmung der Metalle in Festproben erfolgt gemäß EN ISO 11885 mit der ICP-OES. Die Boden- und die Kompostproben werden mit Königswasser (ÖNORM L 1085: 2009) extrahiert. Dabei werden 2 g Probe mit 15 ml Salzsäure und 5 ml Salpetersäure versetzt und für 2 h bei 140°C am Rückfluss gekocht. Anschließend wird die extrahierte Probe mit Wasser im Extraktionskolben auf 100 ml aufgefüllt, geschüttelt und filtriert.

Die Grasproben werden mit Mikrowellenaufschluss für die Messung vorbereitet. Dabei werden zu 0,25 g Probe 5 ml Salpetersäure und 2 ml Wasserstoffperoxid pipettiert und mit der Mikrowelle bei 200°C für 20 min aufgeschlossen. Die aufgeschlossenen Proben werden quantitativ in einen 50 ml Messkolben überführt und mit Wasser bis zur Marke aufgefüllt.

Flüssigproben

Die Bestimmung der Metalle in den Depositionsproben erfolgt gemäß EN ISO 17294-2 bzw. wurde Quecksilber in den Flüssigproben gemäß EN ISO 17852 bestimmt. Die Niederschlagsproben werden für die Metalle mit 1 ml Salpetersäure je 100 ml Probe und für Quecksilber mit 15 ml Salzsäure und 2 ml Kaliumbromid/Kaliumbromat-Reagenz je 100 ml Probe beim Probeneingang im Labor stabilisiert und bis zur Analyse kühl und dunkel gelagert. Die Bestimmungs- und Nachweisgrenzen der analysierten Schwermetalle in den Depositionsproben sind in Tabelle 5 zusammengefasst.

Tabelle 5: Bestimmungs- (BG) und Nachweisgrenzen (NG) [µg/l] der analysierten Schwermetalle

Parameter	BG [µg/l]	NG [µg/l]
Cadmium	0,010	0,0020
Chrom	0,10	0,060
Kupfer	1,0	0,040
Quecksilber	0,0010	0,00050
Nickel	0,10	0,0060
Blei	0,10	0,020
Zink	1,0	0,080

5.8 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Festproben

Die Bestimmung von 16 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK) basiert auf der ÖNORM L1200. Die PAK werden mittels Soxhlet-Extraktion aus der gefriergetrockneten und zerkleinerten Festprobe mit einem Hexan/Aceton-Gemisch extrahiert. Der Extrakt wird mit Keeper (Dodecan) versetzt und eingedampft, wobei das Dodecan mit den gelösten PAK zurückbleibt. Der Rückstand wird in iso-Octan aufgenommen und über Kieselgel gereinigt. Anschließend wird mit n-Pentan/Dichlormethan (85/5) eluiert. Das Eluat wird mit Triacetin als Keeper versetzt und erneut eingedampft. Der verbleibende Keeper mit den gelösten PAK wird in Acetonitril aufgenommen und mittels HPLC mit einem Acetonitril/Phosphorsäure Gradienten auf einer RP-C18-Säule getrennt. Die einzelnen Substanzen werden mit Hilfe von Fluoreszenz- und UV/VIS-Detektion identifiziert und quantifiziert. Die Bestimmungs- und Nachweisgrenzen der untersuchten PAK in den Feststoffproben sind in Tabelle 4 zusammengefasst.

Flüssigproben

Die Bestimmung von 15 polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen basiert auf DIN EN ISO 17993-F18. Die PAK werden mittels n-Hexan aus 1000 ml Wasserprobe extrahiert. Der Extrakt wird mit Natriumsulfat getrocknet und mit Triacetin (Keeper) versetzt. Anschließend wird der Extrakt eingedampft, wobei das Triacetin mit den PAK zurückbleibt. Der Rückstand wird in Acetonitril aufgenommen und mittels HPLC mit einem Acetonitril/Phosphorsäure-Gradienten auf einer RP-C18-Säule getrennt. Die einzelnen Substanzen werden durch Fluoreszenzdetektion identifiziert und quantifiziert. Die Bestimmungsgrenzen für die einzelnen untersuchten PAK lagen bei 0,0050 µg/l und die Nachweisgrenze betragen jeweils 0,0020 µg/l.

6 Auswahl der Probenahmestellen und Probenahme

6.1 Klärschlammkompost

Die Klärschlammkomposte wurden von der ARA Bregenz und der Fa. Häusle hergestellt. Bei der ARA Bregenz wurde hierzu der in der Kläranlage anfallende Klärschlamm verwendet. Die Fa. Häusle bezieht den Klärschlamm von der ARA Hofsteig. Die volumetrische Zusammensetzung des Rohkompostes und die Rottedauer sind in Tabelle 6 angegeben.

Tabelle 6: Zusammensetzung des Rohkompostes und Rottedauer

Kompost	Klärschlamm	Mähgut, Baum-, Strauchschnitt	Siebreist	Rottedauer
ARA Bregenz	60 m ³	130 m ³	30 m ³	48d
Fa. Häusle	32 m ³	60 m ³	8 m ³	37d

6.2 Beprobte Flächen

Als Ausbringungsflächen für diese Komposte wurden landwirtschaftlich genutzte Grünflächen in den Gemeinden Höchst und Gaißau in Vorarlberg ausgewählt. Bei der Auswahl der gedüngten Böden und der Referenzflächen wurde zwecks besserer Vergleichbarkeit auf räumliche Nähe zueinander geachtet. Aus den Informationen der Datenbank für die Klärschlammbuchhaltung nach dem Vorarlberger Klärschlammgesetz

konnten die entsprechenden Flächen ermittelt werden. Eine Kurzcharakterisierung der beprobten Flächen enthält Tabelle 7.

Tabelle 7: Identifikation der beprobten Flächen

Gemeinde	Grundstück	Art	Fläche	KS-Kompost	Abkürzung	Grasprobe
Höchst	3186	Referenz	2,54 ha	ARA Bregenz	BR1_Ref	1.Schnitt
Höchst	3248/4	Ausbringung 18m ³	1,13 ha	ARA Bregenz	BR1_DFI	2.Schnitt
Höchst	3059-61	Referenz	0,88 ha	ARA Bregenz	BR2_Ref	-
Höchst	3248/10	Ausbringung 18m ³	0,56 ha	ARA Bregenz	BR2_DFI	1.Schnitt
Höchst	3551/3552	Referenz	0,58 ha	Häusle	Hae1_Ref	-
Höchst	3184/3257	Ausbringung 18m ³	1,65 ha	Häusle	Hae1_DFI	-
Gaißbau	311	Referenz	0,45 ha	Häusle	Hae2_Ref	2.Schnitt
Höchst	4680/5 / 3521/3	Ausbringung 18m ³	0,85 ha	Häusle	Hae2_DFI	1.Schnitt

Es wurden vier Referenzflächen ohne und vier Flächen mit Aufbringung von Klärschlammkompost beprobt. Zudem wurden Grasproben gezogen. Für Vergleichszwecke wurden zudem zwei Chargen von Gärrückständen aus der Biomüll-Haussammlung der Fa. Häusle ausgewählt.

Die Düngeflächen wurden sowohl vor (März 2015) als auch nach der Klärschlammaufbringung im Juni 2015 beprobt. Auf alle Düngeflächen wurden 18 m³ Klärschlammkompost aufgebracht. Diese hohe Menge sollte es ermöglichen, eine eventuelle Konzentrationserhöhung aufgrund der Klärschlammkompostdüngung zu beobachten. Die Referenzflächen wurden einmal im März 2015 untersucht.

Die folgenden Bilder (siehe Abbildung 1) zeigen einige der beprobten Flächen und die räumliche Verteilung der zeigt Abbildung 2.

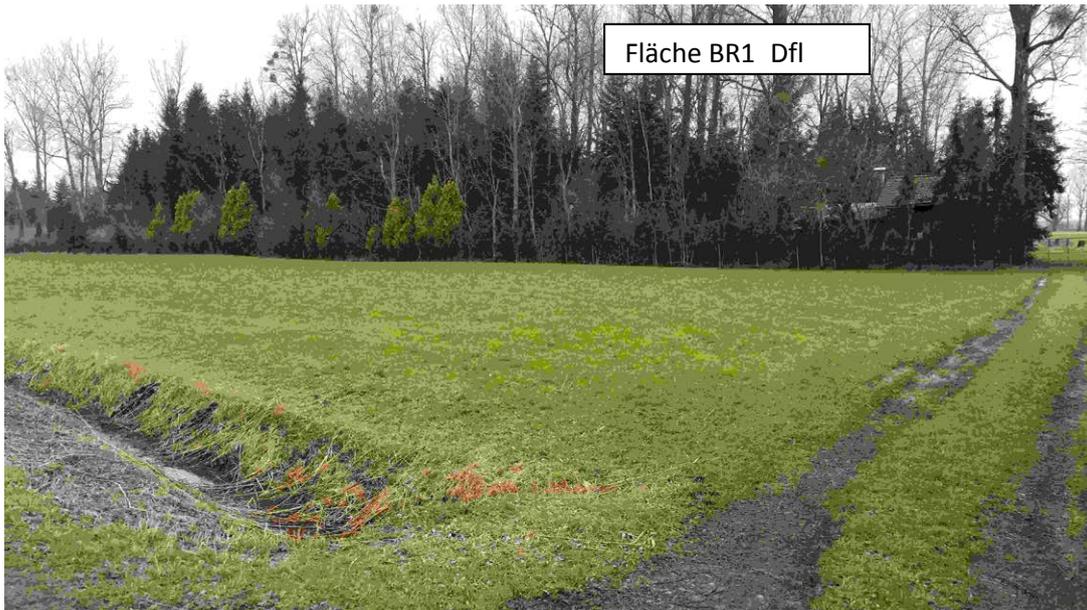


Abbildung 1: Bilder der beprobten Flächen (© Umweltinstitut Vorarlberg)

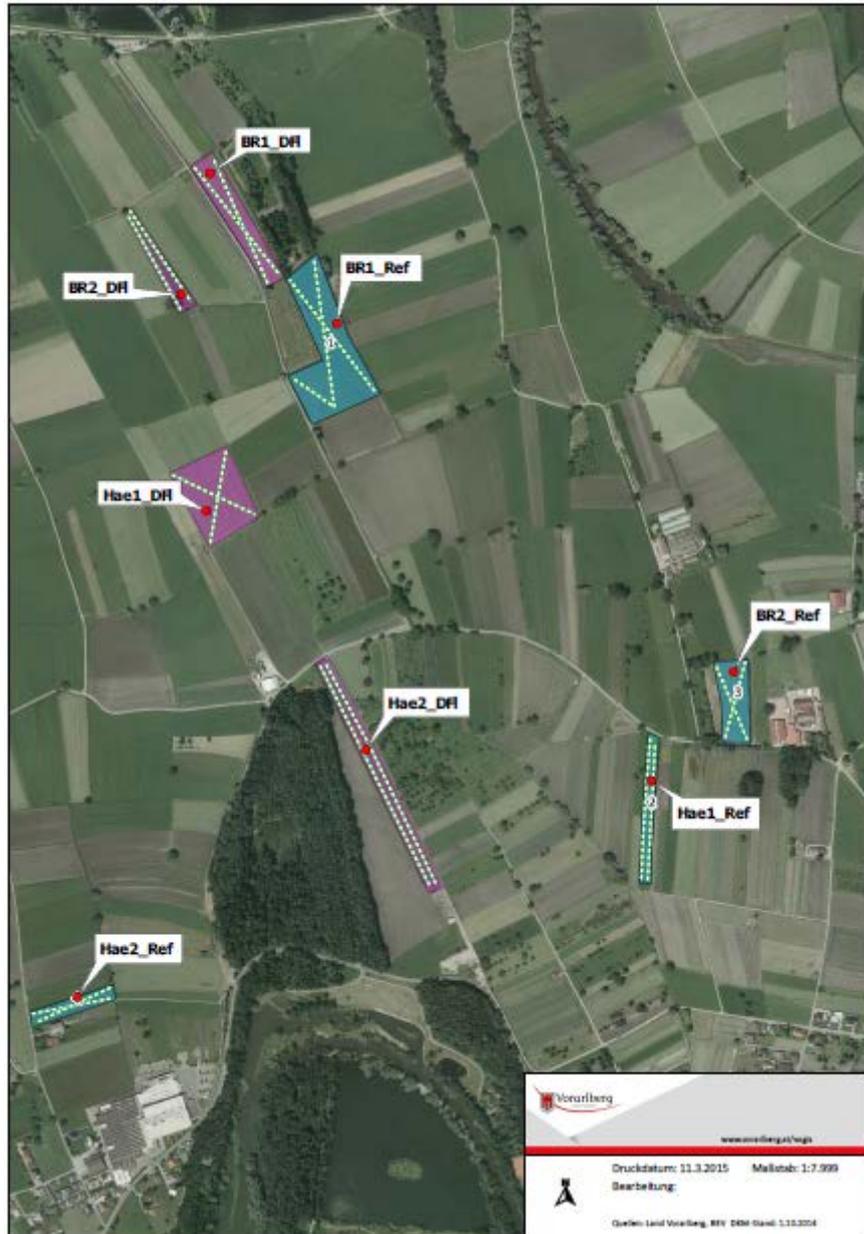


Abbildung 2: Räumliche Verteilung der beprobten Flächen

6.3 Probenahme

Die Klärschlämme wurden als Stichprobe kurz vor dem Ansatz der Kompostierung genommen. Der aus diesem Klärschlamm hergestellte Klärschlammkompost wurde als Mischprobe aus 30 Einzelproben untersucht.

Die Bodenproben wurden als Mischproben in der Tiefenstufe 0-15 cm aus jeweils 20-40 Einzelproben gewonnen. Für die Herstellung der Grasproben wurden die Grünflächen an jeweils 10 Stellen mit der Sense gemäht und die Einzelproben zu einer Mischprobe vereinigt.

Für die Sammlung der Gesamtdeposition (trockene und nasse Deposition) wurden auf den Grundstücksflächen 3186 und 3059-61 jeweils zwei 5 L Glasflaschen aufgestellt, die über einen Glastrichter mit einem Durchmesser von 30 cm befüllt werden (siehe Abbildung 3). Die Proben wurden dann ab dem 16.2.2015 fortlaufend in 25 L Kanistern akkumulierend

tiefgefroren. Die Probenahme wurde bis zum Dezember 2016 durchgeführt und berücksichtigt somit nahezu einen Jahresniederschlag.



Abbildung 3: Depositionssammler (© Umweltinstitut Vorarlberg)

Die Gärrückstände wurden als Stichproben aus dem Nassfermenter im Juni und im September 2015 genommen.

7 Ergebnisse

7.1 Deposition

Es wurden drei Depositionsproben generiert und analysiert. Die Gesamtdeposition an den drei Standorten wurde erfasst. Eine dieser Proben wurde in Bregenz am Umweltinstitut gesammelt und die anderen zwei Proben stammen von den Referenzflächen. Von den untersuchten Stoffen waren Hexabromcyclododecan, die Kongenere BDE 47, BDE 99 und BDE 100 der polybromierten Diphenylether, die Organozinnverbindungen Diphenylzinn-, Tetrabutylzinn-, Tributylzinn- und Triphenylzinnverbindungen sowie die perfluorierten Verbindungen Perfluorhexansäure (PF6C), Perfluorheptansäure (PF7C), Perfluorhexansulfonsäure (PF6S), Perfluorheptansulfonsäure (PF7S), Perfluordecansulfonsäure (PF10S), Perfluoroctansulfonamid (PFOSA) und N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid (N-Ethyl-PFOSA) in keiner der untersuchten Proben nachweisbar. Alle anderen untersuchten Stoffe wurden in zumindest einer Probe gefunden.

Die Messergebnisse der drei Depositionsproben sind im Anhang in Abschnitt 9.2.1 dokumentiert. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der Stoffe, die in zumindest einer Probe nachgewiesen wurden, enthält Tabelle 8. Angegeben sind beim Mittelwert der Schwankungsbereich der Mittelwerte aus der Minimal- und der Maximalauswertung, das Minimum aus der Minimalbewertung und das Maximum aus der Maximalbewertung. Für die Minimalbewertung wurden alle nicht nachweisbaren Stoffe gleich null gesetzt und alle Nachweise kleiner Bestimmungsgrenze mit der Nachweisgrenze berücksichtigt. Bei der Maximalbewertung wurden alle nicht nachweisbaren Stoffe gleich der Nachweisgrenze gesetzt und alle Nachweise kleiner Bestimmungsgrenze mit der Bestimmungsgrenze berücksichtigt. Die Information ist in Abbildung 4 graphisch zusammengefasst.

Die **Metalle** waren in allen Proben nachweisbar. Die höchsten Konzentrationen wurden für Zink (9,7-16 µg/l) und Kupfer (3,1-6,7 µg/l) beobachtet. Nickel (0,74-1,3 µg/l), Blei (0,25-0,32 µg/l) und Chrom (0,17-0,35 µg/l) wurden in geringeren Konzentrationen gemessen und die niedrigsten Werte wurden für Cadmium (0,012-0,030 µg/l) und Quecksilber (0,0021-0,0027 µg/l) festgestellt. Diese Werte liegen im unteren Bereich der Konzentrationen, die auch im Projekt SHTURM (Clara et al., 2014a, 2014b) für die Metalle in den Niederschlagsproben aus Vorarlberg gemessen wurden. Eine Ausnahme bildet Kupfer. Bei Kupfer werden höhere Konzentrationen beobachtet als im Projekt SHTURM (1,0-2,3 µg/l).

Aus der Gruppe der **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe** wurden 15 PAKs gemessen und mit Ausnahme von Naphthalin lagen die Konzentrationen in den drei Depositionsproben immer unter der Bestimmungsgrenze und somit im Bereich von 0,002 bis 0,005 µg/l. Naphthalin war auch in allen drei Proben nachweisbar und in der Probe vom Umweltinstitut und von der Referenzfläche 1 auch in quantifizierbaren Konzentrationen. Diese betragen 0,012 bzw. 0,010 µg/l. Die Summe der PAKs in den drei Depositionsproben schwankt zwischen 0,030 und 0,082 µg/l und ist für alle drei Proben ähnlich. Im Projekt SHTURM (Clara et al., 2014a, 2014b) wurde eine PAK Konzentration (Summe) in der Gesamtdeposition in den Proben aus Hofsteig/Hard von 0,0029-0,076 µg/l bestimmt.

Tabelle 8: Zusammenfassung der Analysenergebnisse für die Stoffe, die in zumindest einer Depositionsprobe nachgewiesen wurden.

Parameter	Anzahl (n=3)			Ergebnisse [µg/l]		
	n.n.	<BG	>BG	Mittelwert	Minimum	Maximum
TOC	-	-	3	8.767	1.300	23.000
N	-	-	3	1.533	1.300	1.700
AOX	-	3	-	0-100	n.n.	100
Cadmium	-	-	3	0,019	0,012	0,030
Chrom	-	-	3	0,28	0,17	0,35
Kupfer	-	-	3	5,5	3,1	6,7
Quecksilber	-	-	3	0,0021	0,0016	0,0027
Nickel	-	-	3	0,96	0,74	1,3
Blei	-	-	3	0,28	0,25	0,32
Zink	-	-	3	14	9,7	16
Acenaphthen	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Anthracen	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Benzo[a]anthracen	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Benzo[a]pyren	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Benzo[b]fluoranthen	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Benzo[g,h,i]perylen	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Benzo[k]fluoranthen	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Chrysen	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Dibenzo[a,h]anthracen	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Fluoranthen	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Fluoren	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Indeno[1,2,3-c,d]pyren	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Naphthalin	-	1	2	0,0080-0,009	0,0020	0,012
Phenanthren	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Pyren	-	3	-	0,0020-0,0050	0,0020	0,0050
Summe PAK-15*	-	3	-	0,036-0,079	0,030	0,082
BDE 28	2	1	-	0,0000030-0,000012	n.n.	0,000018
BDE 153	2	1	-	0,0000083-0,000034	n.n.	0,000051
BDE 154	2	1	-	0,0000067-0,000027	n.n.	0,000040
Summe PBDE	-	-	3	0,000018-0,00027	0	0,00030
Bisphenol A	-	1	2	0,14	0,0050	0,23
Nonylphenole	-	-	3	0,025	0,017	0,036
NP1EO	-	2	1	0,020-0,027	0,010	0,040
NP2EO	1	2	-	0,017-0,042	n.n.	0,050
DEHP	-	-	3	0,19	0,14	0,23
Dibutylzinnverbindungen	1	1	1	0,00023-0,00029	n.n.	0,00058
PF8C (PFOA)	-	-	3	0,0019	0,0012	0,0025
PF9C	-	1	2	0,00093-0,0011	0,00050	0,0013
PF10C	-	1	2	0,00093-0,0011	0,00050	0,0013
PF11C	2	1	-	0,00017-0,00067	n.n.	0,0010
PF12C	2	1	-	0,00017-0,00067	n.n.	0,0010
PF8S (PFOS)	1	1	1	0,00073-0,0011	n.n.	0,0017

*...Acenaphthylen ist nicht enthalten.

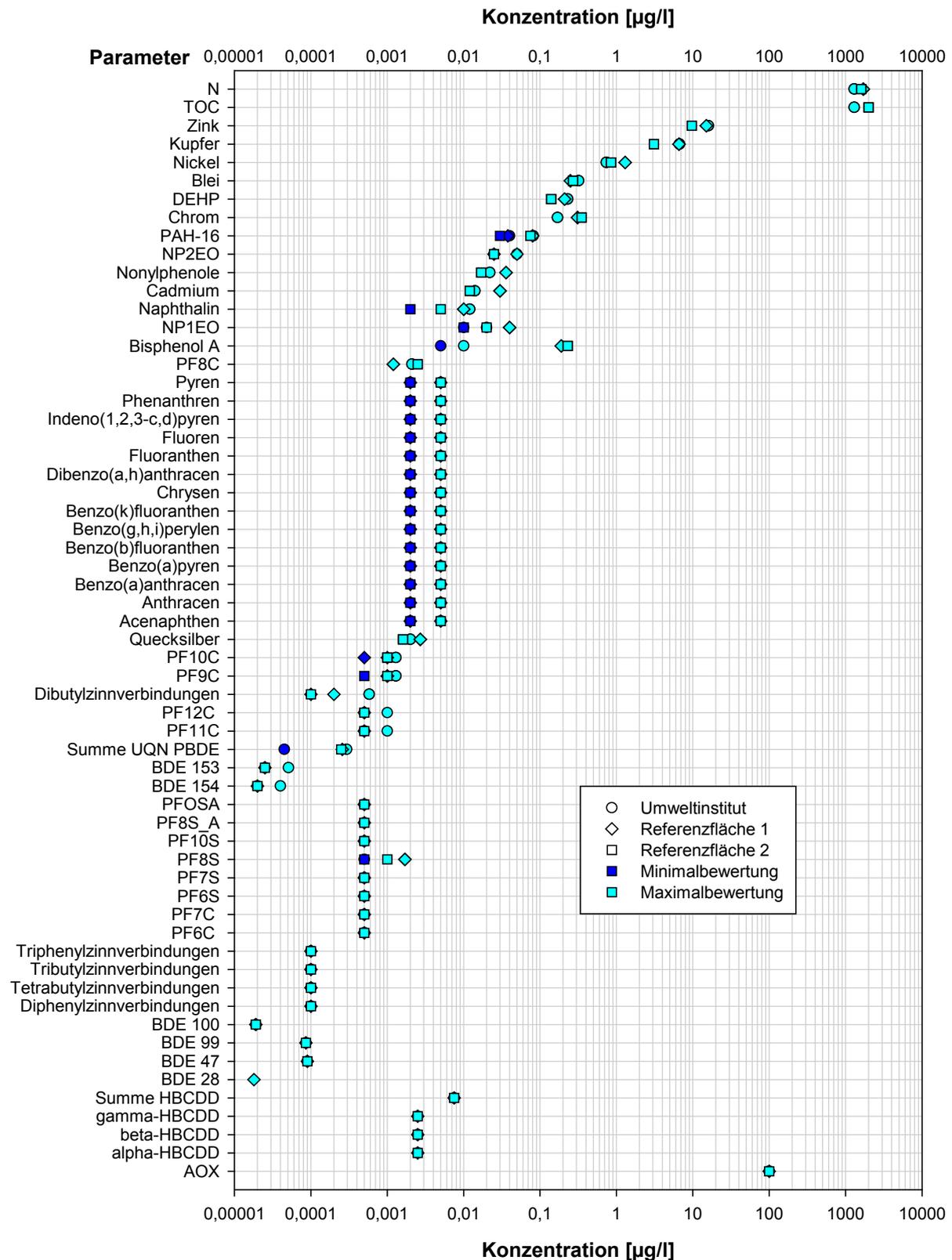


Abbildung 4: Konzentrationen [$\mu\text{g/l}$] in der Deposition an den drei Probenahmestandorten nach der Minimal- und der Maximalbewertung

Von den **polybromierten Diphenylethern** waren nur einzelne Kongenere in einzelnen Proben in Konzentrationen kleiner Bestimmungsgrenze nachweisbar. Die Summe für die sechs Kongenere BDE 28, BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153 und BDE 154 schwanken in den drei Proben zwischen 0 bis 0,000045 $\mu\text{g/l}$ in der Minimalbewertung und zwischen 0,00025

bis 0,00030 µg/l in der Maximalbewertung. Diese Werte liegen im Schwankungsbereich der Konzentrationen, die im Projekt SHTURM in den Depositionsproben aus Vorarlberg gemessen wurden (0,0000014-0,00053 µg/l in der Minimalbewertung und 0,00028-0,00055 µg/l in der Maximalberechnung).

Von den **Industriechemikalien** waren Bisphenol A (0,0050-0,23 µg/l), Nonylphenole (0,017-0,036 µg/l), Nonylphenoethoxylate (NP1EO 0,010-0,040 µg/l und NP2EO n.n.-0,050 µg/l), DEHP (Di(2-ethylhexyl)phthalat) 0,14-0,23 µg/l) und Dibutylzinnverbindungen (n.n.-0,00058 µg/l) in zumindest einer Probe nachweisbar. Für Bisphenol A, Nonylphenole, Nonylphenoethoxylate und DEHP sind keine Vergleichswerte verfügbar, weil im Projekt SHTURM diese Stoffe in den Depositionsproben aus Hofsteig/Hard in keiner Probe nachweisbar waren (Nachweisgrenze 0,10 µg/l bzw. 0,18 µg/l für DEHP). Bei Dibutylzinnverbindungen wurden im Projekt SHTURM mit Konzentrationen bis zu 0,0072 µg/l deutlich höhere Werte gemessen.

Von den untersuchten **perfluorierten Verbindungen** wurden die Carbonsäuren PF8C (PFOA), PF9C, PF10C, PF11C und PF12C sowie Perfluoroktansulfonsäure PFOS in zumindest einer Depositionsprobe nachgewiesen. PFOA, PF9C und PF10C waren in allen Proben nachweisbar und erreichten Konzentrationen von 0,0012-0,0025 µg/l für PFOA und 0,0005-0,0013 µg/l für PF9C und PF10C. PF11C und PF12C wurden nur in jeweils einer Probe nachgewiesen und diese Nachweise lagen unter der Bestimmungsgrenze von 0,001 µg/l. PFOS wurde in zwei der drei Proben nachgewiesen und diese zwei Nachweise lagen bei <0,001 und 0,0017 µg/l. Im Projekt SHTURM waren weder PFOA noch PFOS in den Vorarlberger Depositionsproben bei einer Nachweisgrenze von 0,001 µg/l) nachweisbar.

Aus diesen gemessenen Konzentrationen wird die Gesamtdeposition als flächenspezifischer Eintrag [g/ha/a] mittels eines durchschnittlichen Jahresniederschlags von rund 1.500 mm (l/m²) berechnet. Die Einträge sind in Tabelle 9 zusammengefasst und den Ergebnissen aus dem Projekt SHTURM (Clara et al., 2014a) gegenübergestellt. Die Daten sind ähnlich und die bestimmten Depositionsraten liegen im Schwankungsbereich der dokumentierten Werte.

Für einige Parameter liegen weitere Vergleichsdaten vor. Im Rahmen des „Cooperative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe“ (EMEP) wurde die atmosphärische Deposition für die prioritären Schwermetalle Cd, Hg und Pb in einem 50 x 50 km Raster für Europa modelliert. Aus den EMEP-Schwermetalldepositionen und deren relativen Häufigkeiten werden mittlere Depositionsraten von 0,16-0,19 g/ha/a für Quecksilber, mit 9-11 g/ha/a für Blei und mit 0,28-0,36 g/ha/a für Cadmium abgeleitet (Clara et al., 2014b). Während die Cadmiumwerte ähnlich sind, werden für Quecksilber und Blei geringere Depositionen berechnet. Eine Studie des Umweltbundesamtes (Umweltbundesamt, 2009c) gibt Hintergrundkonzentrationen in der atmosphärischen Deposition aus Langzeituntersuchungen von 1998 bis 2008 am Zöbelboden in Oberösterreich an. Diese Werte liegen bei 9,3 g/ha/a für Blei, bei 0,21 g/ha/a für Cadmium und bei 29 g/ha/a für Nickel. Die Autoren geben an, dass für Nickel deutlich höhere Konzentrationen gemessen wurden als an anderen Standorten.

Im Rahmen des Projektes MONARPOP (Monitoring Network in the Alpine Region for Persistent and other Organic Pollutants) wurden u.a. PAK und PBDE in der Deposition

untersucht (Offenthaler et al., 2009). Für die Summe der PAK (ohne Naphthalin) wurden Depositionen zwischen 0,033 und 2,8 g/ha/a berechnet, wobei die höchsten Werte am Sonnblick bestimmt wurden. Für polybromierte Diphenylether wurden Depositionen von rund 0,0016 g/ha/a auf der Zugspitze und von rund 0,0019 g/ha/a am Weisfluh gemessen.

Tabelle 9: Zusammenfassung der flächenspezifischen Stoffeinträge [g/ha/a] über die atmosphärische Gesamtdeposition.

Parameter	Gesamtdeposition [g/ha/a]			SCHTURM
	Mittelwert	Minimum	Maximum	
TOC	131.500	19.500	345.000	14.000-27.000
N	23.000	19.500	25.500	9.000-13.000
AOX	-	0	1500	-
Cadmium	0,28	0,18	0,45	0,032-0,75
Chrom	4,2	2,6	5,3	0-43
Kupfer	82	47	100	33-96
Quecksilber	0,032	0,024	0,041	0,064-0,40
Nickel	14	11	20	0-47
Blei	4,2	3,8	4,8	3,2-75
Zink	200	150	240	130-2.600
Summe PAK-15	0,54-1,2	0,45	1,2	0,096-0,92*
Summe PBDE	0,00027-0,0040	0	0,0044	0-0,051
Bisphenol A	2,1-2,2	0,075	3,5	0-1,3
Nonylphenole	0,38	0,26	0,54	0-11
NP1EO	0,30-0,40	0,15	0,60	-
NP2EO	0,25-0,63	0	0,75	0-0,86
DEHP	2,9	2,1	3,5	0-11
Dibutylzinnverbindungen	0,0034-0,0044	0	0,00058	0-0,0087
PF8C (PFOA)	0,029	0,018	0,038	-
PF9C	0,014-0,017	0,0075	0,020	-
PF10C	0,014-0,017	0,0075	0,020	-
PF11C	0,0025-0,010	0	0,015	-
PF12C	0,0025-0,010	0	0,015	-
PF8S (PFOS)	0,011-0,016	0	0,026	-

*...ohne Naphthalin

7.2 Klärschlamm und Klärschlammkompost

Es wurden zwei Klärschlämme und zwei Klärschlammkompostproben untersucht. In den Klärschlammproben waren alle untersuchten Parameter nachweisbar. Alle Einzelergebnisse sind im Anhang in Abschnitt 9.2.2 für Klärschlamm und in Abschnitt 9.2.3 für Klärschlammkompost angeführt.

Eine Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse und einen Vergleich mit verfügbaren Literaturdaten enthält Tabelle 10. Für die Metalle sind zahlreiche Messungen dokumentiert. Für andere Stoffgruppen, wie z.B. die perfluorierten Tenside sind nur wenige Daten verfügbar. Die Literaturdaten schwanken sehr stark und für die meisten der untersuchten Stoffe liegen die gemessenen Konzentrationen im unteren Teil dieser Schwankungsbereiche.

Die Anforderungen an die Klärschlämme für die Kompostierung werden eingehalten (vergleiche dazu Tabelle 3).

Tabelle 10: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse in den Klärschlammproben und Vergleich mit Literaturwerten

Parameter	Einheit	Konzentrationen im Klärschlamm		Literatur	
		ARA Bregenz	ARA Hofsteig	Bereich	Quellen
AOX	mg/kg TM	135	320	-	-
Blei	mg/kg TM	29	34	38-500 4,0-43 65	Umweltbundesamt (1997, 2000, 2004a, 2009b) JRC (2012) LfU (2003) (Median)
Cadmium	mg/kg TM	0,73	0,99	0,33-3,4 <0,09-5,1 1,3	Umweltbundesamt (1997, 2000, 2004a, 2009b) JRC (2012) LfU (2003) (Median)
Chrom	mg/kg TM	110	120	25-200 11-1.542 40	Umweltbundesamt (1997, 2000, 2004a, 2009b) JRC (2012) LfU (2003) (Median)
Kupfer	mg/kg TM	260	290	97-540 27-578 305	Umweltbundesamt (1997, 2000, 2004a, 2009b) JRC (2012) LfU (2003) (Median)
Nickel	mg/kg TM	14	25	14-420 8,6-310 28	Umweltbundesamt (1997, 2000, 2004a, 2009b) JRC (2012) LfU (2003) (Median)
Quecksilber	mg/kg TM	0,49	0,55	0,32-48 0,10-1,1 0,70	Umweltbundesamt (1997, 2000, 2004a, 2009b) JRC (2012) LfU (2003) (Median)
Zink	mg/kg TM	1.000	980	490-2.300 200-1.200 830	Umweltbundesamt (1997, 2000, 2004a, 2009b) JRC (2012) LfU (2003) (Median)
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	70	210	63-360	Umweltbundesamt (2000, 2009b)
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	<10	Umweltbundesamt (2000, 2009b)
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	<25-100	Umweltbundesamt (2000, 2009b)
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	10	18	<10-190	Umweltbundesamt (2000, 2009b)
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	<10	Umweltbundesamt (2000, 2009b)
DEHP	µg/kg TM	5.200	1.100	18.000-34.000 7.400-145.000	Umweltbundesamt (2000, 2009b) LfU (2003) (Median)
Bisphenol A	µg/kg TM	820	1.900	160-810 70-770	Umweltbundesamt (2000) Bolz et al. (2001)

Parameter	Einheit	Konzentrationen im Klärschlamm		Literatur	
		ARA Bregenz	ARA Hofsteig	Bereich	Quellen
Nonylphenole	µg/kg TM	3.800	6.800	2.900-57.000 3.600-93.000	Umweltbundesamt (1997, 2000) Fountoulakis et al. (2005)
NP1EO	µg/kg TM	160	72	<5.000-72.000	Umweltbundesamt (1997, 2000)
NP2EO	µg/kg TM	5,6	2,0-4,0	<2.000-69.000	Umweltbundesamt (1997, 2000)
Summe HBCDD	µg/kg TM	25	38	39-597	Kupper et al. (2008)
Summe PBDE (#28, #47, #99, #100, #153, #154)	µg/kg TM	23	54	19-89 49-248	Umweltbundesamt (2009b) Kupper et al. (2008)
Summe PAK-16	µg/kg TM	1.788-1.825	2.060-2.090	2.030-11.000 250-26.000 1.000-26.000	Umweltbundesamt (1997) JRC (2012) LfU (2003)
PCB-7 (Summe PCB28, 52, 101, 118, 138, 153, 180)	µg/kg TM	26	28	-	-
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,35	9,8	-	-
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0-0,2	0,52	-	-
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	0,68	6	1,2-48 0,08-1,21	JRC (2012) Gomez-Canela et al. (2012)
Perfluornonansäure	µg/kg TM	0-0,25	0,77	<0,3-68 0,20-6,36	JRC (2012) Gomez-Canela et al. (2012)
Perfluordecansäure	µg/kg TM	1,1	7,7	-	-
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0-0,075	2,1	-	-
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,77	2,7	-	-
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,1	0,1-0,2	-	-
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,2	0,53	0,10-1,4	Gomez-Canela et al. (2012)
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	23	30	1,7-434 0,28-4,99	JRC (2012) Gomez-Canela et al. (2012)
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,16	0,16-0,32	-	-
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonami	µg/kg TM	0-0,32	0-0,32	-	-
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0-0,11	0-0,11	-	-

Die gemessenen Konzentrationen in den Klärschlammkomposten sind in Tabelle 11 zusammengefasst. Schwermetalle in Klärschlammkomposten wurden von Dittrich und Klose (2008) untersucht. Die aktuell gemessenen Konzentrationen in den Klärschlammkomposten der ARA Bregenz und der Fa. Häusle (ARA Hofsteig) liegen für alle Metalle im unteren Bereich der Schwankungsbreite dieser Literaturwerte.

Tabelle 11: Zusammenfassung der Untersuchungsergebnisse in den Klärschlammkomposten

Parameter	Einheit	Konzentrationen im Klärschlammkompost		
		ARA Bregenz	Fa. Häusle	Dittrich und Klose (2008) Min-Max (Mittelwert)
AOX	mg/kg TM	83	170	-
Aluminium	mg/kg TM	6.300	8.300	-
Arsen	mg/kg TM	4,4	7,8	6,2-44 (20)
Blei	mg/kg TM	30	34	46-300 (121)
Cadmium	mg/kg TM	0,53	0,5	1,1-3,9 (1,7)
Chrom	mg/kg TM	66	72	27-190 (72)
Eisen	mg/kg TM	50.000	40.000	-
Kobalt	mg/kg TM	6,4	6,2	-
Kupfer	mg/kg TM	140	150	89-390 (190)
Mangan	mg/kg TM	340	490	-
Molybdän	mg/kg TM	6,8	5,2	-
Nickel	mg/kg TM	24	31	19-44 (27)
Quecksilber	mg/kg TM	0,41	0,54	0,55-1,1 (0,84)
Vanadium	mg/kg TM	16	45	-
Zink	mg/kg TM	520	500	480-1.700 (960)
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	15	22	-
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	-
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	-
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	1,8	2,4	-
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	-
DEHP	µg/kg TM	1.600	1.700	-
Bisphenol A	µg/kg TM	24	210	-
Nonylphenole	µg/kg TM	540	2.200	-
NP1EO	µg/kg TM	16	86	-
NP2EO	µg/kg TM	0-2	4,1	-
Summe HBCDD	µg/kg TM	4,3	2,5	-
Summe PBDE	µg/kg TM	10	25	-
Summe PAK-16	µg/kg TM	688-718	3.747-3.762	-
PCB-7	µg/kg TM	12-13	12-13	-
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	4,2	12	-
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	2,1	0,81	-
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	6,4	4,4	-
Perfluorononansäure	µg/kg TM	0,93	0,53	-
Perfluordecansäure	µg/kg TM	3,4	1,9	-
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0-0,05	0,37	-
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,65	0,44	-
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	1,4	0,1-0,2	-
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,2	0-0,2	-
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	18	4,7	-
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,16	0-0,16	-
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0-0,32	0-0,32	-
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0-0,11	0-0,11	-

Beim Vergleich der Konzentrationen in den Klärschlämmen der zwei Kläranlagen fällt auf, dass für die meisten Parameter im Klärschlamm aus Hofsteig höhere Konzentrationen gemessen werden als im Klärschlamm der ARA Bregenz. Am deutlichsten sind diese Unterschiede bei den perfluorierten Verbindungen. Während bei den meisten anderen Stoffen nur geringe Unterschiede zu beobachten sind, werden im Klärschlamm der ARA Hofsteig deutlich höhere PFT Konzentrationen gemessen als im Klärschlamm der ARA Bregenz. Eine Ursache für diese Beobachtung könnte der hohe industriell/gewerbliche Anteil im Einzugsgebiet der ARA Hofsteig sein. U.a. werden Deponiesickerwässer in die ARA Hofsteig eingeleitet und Untersuchungen von Deponiesickerwässern haben gezeigt, dass diese Abwässer z.T. hohe Konzentrationen an PFOS (0,019-0,84 µg/l) enthalten (Clara et al., 2016). Eine Gegenüberstellung der Konzentrationen in den zwei Klärschlämmen zeigt Abbildung 5.

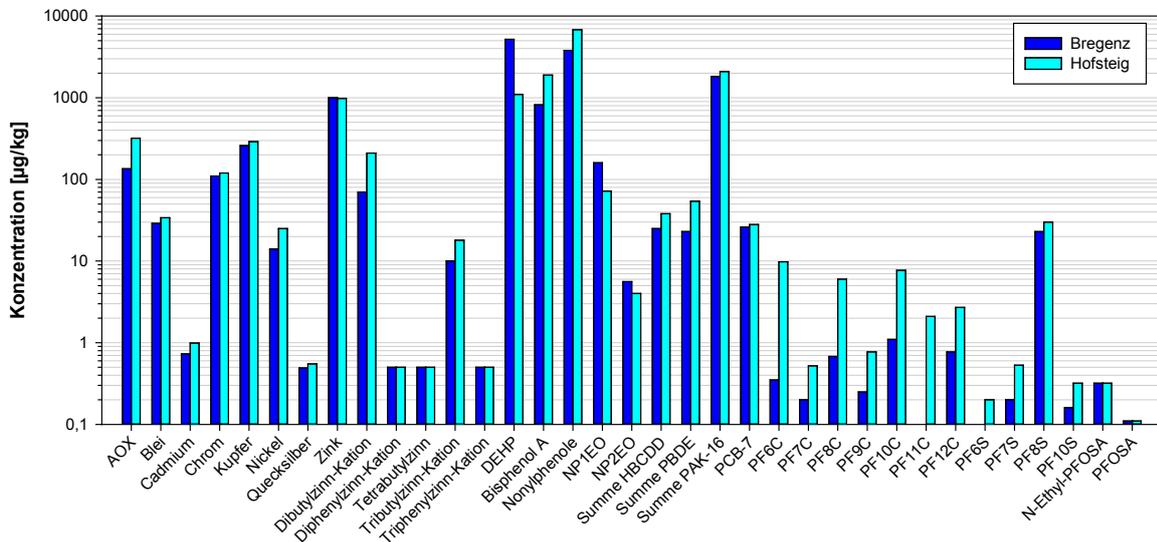


Abbildung 5: Gegenüberstellung der untersuchten Parameter in den Klärschlämmen der ARA Bregenz und der ARA Hofsteig

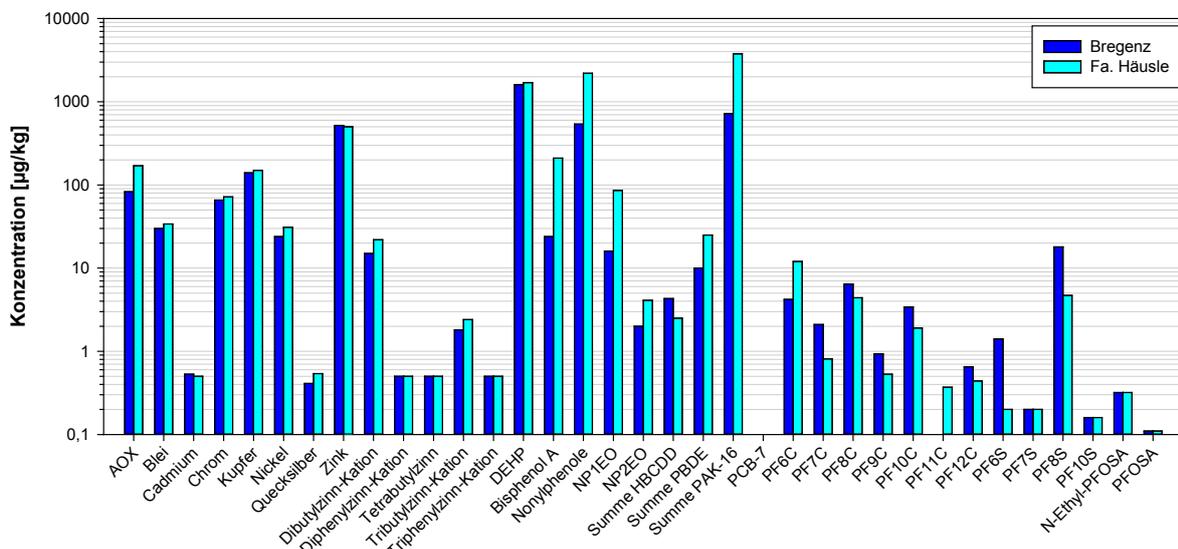


Abbildung 6: Gegenüberstellung der untersuchten Parameter in den Klärschlammkomposten der ARA Bregenz und der Fa. Häusle

Abbildung 6 zeigt eine Gegenüberstellung der gemessenen Konzentrationen in den zwei untersuchten Klärschlammkomposten. Bei den meisten Stoffen zeigen die Klärschlammkomposte eine ähnliche Stoffverteilung wie die Klärschlämme. Auffällig sind die perfluorierten Verbindungen. Im Klärschlammkompost der ARA Bregenz werden höhere PFT-Konzentrationen gemessen als im Klärschlammkompost der Fa. Häusle (Klärschlamm von der ARA Hofsteig). Zudem liegen die PFT Konzentrationen im Klärschlammkompost der ARA Bregenz bei einigen Verbindungen über den Konzentrationen im Klärschlamm.

Aus den gemessenen Konzentrationen, dem Trockenmassegehalt des Klärschlammes und einer angenommenen Dichte des Klärschlammes von 1.000 kg pro m³ wird die Stofffracht in einem Kubikmeter des Rohkompostes bestimmt. Der Anteil des Klärschlammes am Rohkompost beträgt bei den zwei Anlagen rund 38 % bzw. rund 47 % (siehe Abschnitt 6.1). Es wird zudem angenommen, dass über das Strukturmaterial (Baumschnitt, Mähgut und Siebreste) kein Stoffeintrag erfolgt. Somit wird ausgehend von der Fracht im Klärschlamm eine theoretische Konzentration im Rohkompost berechnet.

Ausgehend von den gemessenen Konzentrationen im Fertigkompost (bezogen auf die Trockenmasse) wird unter Annahme der gemessenen Trockenmassegehalte und einer spezifischen Dichte von 700 kg/m³ (BMLFUW, 2010) der Schadstoffgehalt in einem Kubikmeter Fertigkompost berechnet. Für die Fa. Häusle ist der Trockenmassegehalt mit 58 % angegeben. Dieser Wert entspricht dem mittleren Trockenmassegehalt von Komposten, der in BMLFUW (2010) mit 60 % der Feuchtmasse angegeben ist. Bei der ARA Bregenz wird im Fertigkompost ein Trockenmassegehalt von rund 40 % bestimmt. Dieser Wert ist deutlich niedriger als jener der Fa. Häusle oder der mittlere Trockenmassegehalt lt. BMLFUW (2010). Bei der ARA Bregenz könnte daher auch eine höhere spezifische Dichte angewandt werden.

Eine Darstellung der berechneten Stoffgehalte im Fertigkompost relativ zum Rohkompost zeigt Abbildung 7. Stoffe, deren Konzentrationen sowohl im Klärschlamm als auch im Kompost unter der Bestimmungsgrenze lagen, sind nicht berücksichtigt.

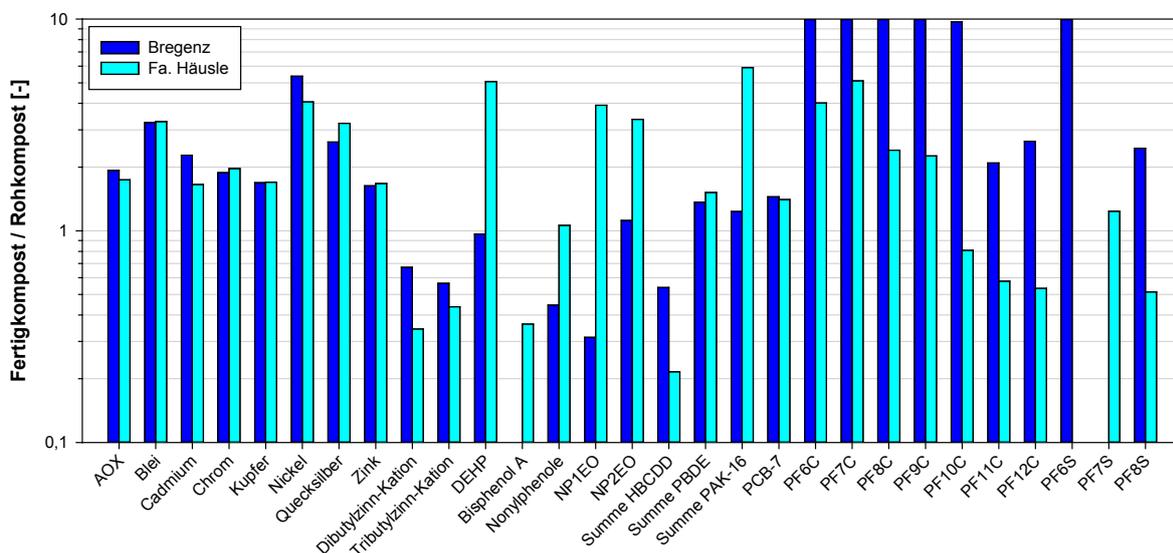


Abbildung 7: spezifische Stoffgehalte je Kubikmeter im Fertigkompost relativ zum Rohkompost

Bei den Metallen erscheinen die Ergebnisse plausibel. Eine Entfernung während der Kompostierung erfolgt nicht und ein zusätzlicher Stoffeintrag in den Kompost über das Strukturmaterial erscheint plausibel. Bei den Organozinnverbindungen ist eine Abnahme der Konzentrationen während der Kompostierung zu beobachten. Dibutyl- und Tributylzinnverbindungen sind abbaubar, weisen jedoch sehr hohe Halbwertszeiten auf. Der Haupteintrag in den Kompost scheint über den Klärschlamm zu erfolgen. Auch Bisphenol A und Nonylphenole sind aerob biologisch abbaubar.

Polybromierte Diphenylether, PAK und PCB sind schwer abbaubare Verbindungen und die Stofffrachten in einem m³ Fertigungskompost sind ähnlich den Stofffrachten in einem m³ Rohkompost. Der vorwiegende Stoffeintrag in den Kompost dürfte über den Klärschlamm erfolgen.

Auffällig ist, dass für DEHP, Nonylphenole und PAK im Klärschlammkompost der Fa. Häusle höhere Werte als im Rohkompost auftreten. Im Klärschlammkompost der ARA Bregenz ist dies für perfluorierte Verbindungen der Fall. Bei diesen Stoffen scheint zusätzlich zum Klärschlamm auch noch über einen weiteren Pfad, ein Stoffeintrag in den Kompost zu erfolgen. Bei beiden Anlagen wurde aber jeweils nur eine Probe des Klärschlammes und eine Probe des Klärschlammkompostes analysiert. Die Beobachtungen beruhen somit auf einer sehr geringen Probenanzahl und sind mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet.

7.3 Boden

Es wurden zwei Düngeflächen untersucht, auf die Klärschlammkompost der Fa. Häusle aufgebracht wird und zwei Düngeflächen, die mit Klärschlammkompost der ARA Bregenz beaufschlagt wurden. Diese Düngeflächen wurden sowohl vor als auch nach der Klärschlammausbringung beprobt. Die vier Referenzflächen liegen in räumlicher Nähe zu den untersuchten Düngeflächen und diese Flächen wurden zeitgleich mit den Düngeflächen vor Klärschlammausbringung untersucht. Die Lage der Flächen und die Zeitpunkte der Probenahme enthält Abschnitt 6.2.

Die Ergebnisse der Konzentrationen in den Bodenproben von den vier Referenzflächen sind im Detail im Anhang in Abschnitt 9.2.4 zusammengestellt. Eine Zusammenfassung der Messergebnisse enthalten Abbildung 8 und Tabelle 12.

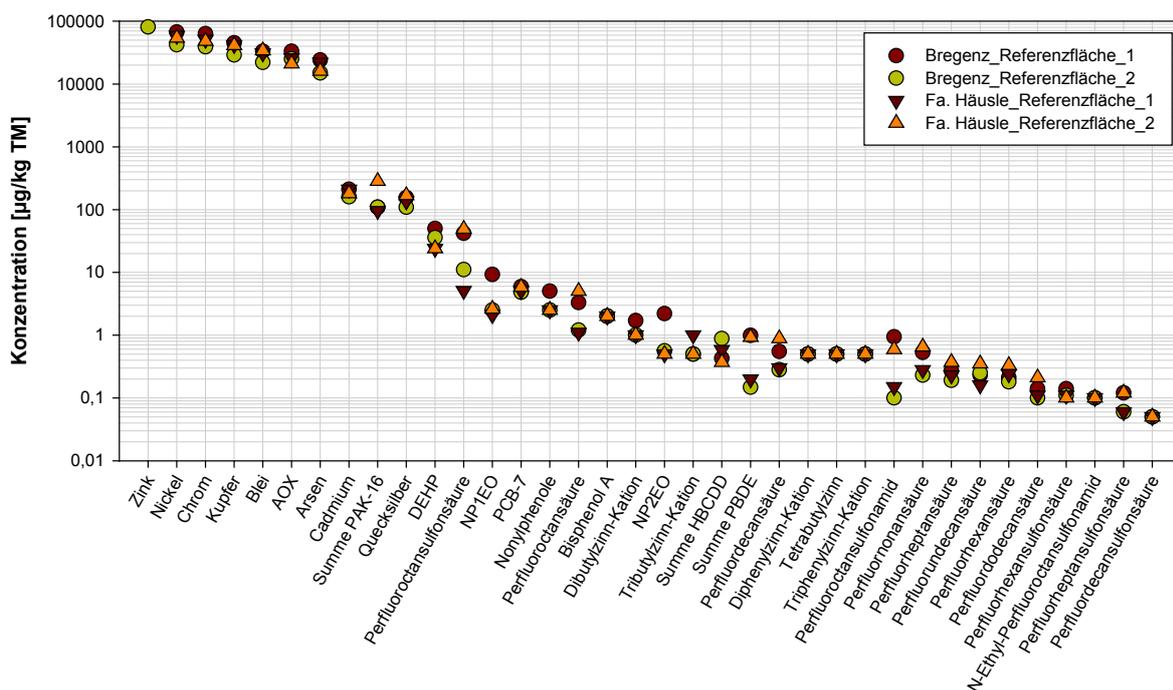


Abbildung 8: Schadstoffkonzentrationen [$\mu\text{g}/\text{kg TM}$] in den Bodenproben der Referenzflächen (dargestellt sind die Ergebnisse der Maximalbewertung).

Tabelle 12: Zusammenfassung der gemessenen Stoffkonzentrationen in den Bodenproben von den Referenzflächen

	Einheit	Mittelwert	Minimum	Maximum
TR	Gew%	66	60	69
GR	Gew%	90	88	92
pH-H ₂ O	[-]	7,7	7,7	7,8
TOC	Gew%	4	2,8	5,2
Gesamtphosphor	mg/kg TM	1.400	1.300	1.500
Gesamtstickstoff	Gew%	0,44	0,34	0,53
Calcium	mg/kg TM	40.500	18.000	52.000
Kalium	mg/kg TM	1.900	1.600	2.200
Magnesium	mg/kg TM	12.250	11.000	13.000
Natrium	mg/kg TM	240	220	260
AOX	mg/kg TM	26	21	33
Aluminium	mg/kg TM	15.250	12.000	19.000
Arsen	mg/kg TM	19	15	24
Blei	mg/kg TM	30	22	34
Cadmium	mg/kg TM	0,19	0,16	0,21
Chrom	mg/kg TM	50	39	63
Eisen	mg/kg TM	27.000	22.000	32.000
Kobalt	mg/kg TM	14	10	16
Kupfer	mg/kg TM	39	29	45
Mangan	mg/kg TM	740	660	870
Molybdän	mg/kg TM	1,8-2,7	1,3	3,1
Nickel	mg/kg TM	56	42	67
Quecksilber	mg/kg TM	0,14	0,11	0,17
Vanadium	mg/kg TM	30	25	37
Zink	mg/kg TM	110	81	130
Dibutylzinn-Kation	$\mu\text{g}/\text{kg TM}$	1,1-1,2	0,5	1,7
Diphenylzinn-Kation	$\mu\text{g}/\text{kg TM}$	-	0	0,5
Tetraäthylzinn	$\mu\text{g}/\text{kg TM}$	-	0	0,5

	Einheit	Mittelwert	Minimum	Maximum
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	-	0	0,5
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	-	0	0,5
DEHP	µg/kg TM	34	24	50
Bisphenol A	µg/kg TM	-	0	2
Nonylphenole	µg/kg TM	0,63-3,1	2,5	5,0
NP1EO	µg/kg TM	4,1	2,1	9,2
NP2EO	µg/kg TM	0,82-0,94	0,25	2,2
Summe HBCDD	µg/kg TM	0,56-0,57	0,35	0,88
Summe PBDE	µg/kg TM	0,55-0,56	0,14	0,99
Summe PAK-16	µg/kg TM	110-150	66	283
Summe PCB-7	µg/kg TM	5,0-5,4	4,2	5,9
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,24	0,18	0,33
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0,27	0,19	0,37
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	2,7	1,1	5
Perfluornonansäure	µg/kg TM	0,42	0,23	0,65
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,50	0,28	0,88
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,25	0,16	0,35
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,14	0,1	0,21
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0,10-0,12	0,05	0,14
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0,030-0,090	0	0,12
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	27	5,1	49
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	-	0	0,05
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	-	0	0,1
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,45	0,1	0,94

Die Konzentrationen in den Bodenproben von den Referenzflächen sind für die meisten Parameter sehr ähnlich und weisen nur einen geringen Schwankungsbereich auf. Eine Ausnahme bilden PFOA, PFOS, PFOSA und PBDE (Summe), deren Konzentrationen über eine Zehnerpotenz schwanken. Die höchsten Konzentrationen werden für die Metalle und die geringsten Konzentrationen werden für einige perfluorierte Verbindungen gemessen. Nichtsdestotrotz waren alle angeführten Schadstoffe zumindest in einer Bodenprobe von den Referenzflächen nachweisbar.

Die mit Klärschlamm gedüngten Flächen wurden vor und nach der Klärschlammausbringung beprobt. Die Ergebnisse der Messungen (Minimal- und Maximalbewertung) für diese Flächen sind in Tabelle 13 zusammengefasst und den Konzentrationen auf den Referenzflächen (Minimum aus der Minimalbewertung und Maximum aus der Maximalbewertung) gegenübergestellt.

Tabelle 13: Schadstoffkonzentrationen in den beprobten Düngeflächen vor und nach der Klärschlammausbringung

	Einheit	Bregenz (vor)	Bregenz (nach)	Häusle (vor)	Häusle (nach)	Referenzflächen (min-max)
AOX	mg/kg TM	32	32	18	19	21-33
Arsen	mg/kg TM	18	23	18	18	15-24
Blei	mg/kg TM	40	41	23	24	22-34
Cadmium	mg/kg TM	0,37	0,41	0,14	0,19	0,16-0,21
Chrom	mg/kg TM	60	60	42	43	39-63
Kupfer	mg/kg TM	47	51	37	40	29-45
Nickel	mg/kg TM	70	67	51	53	42-67
Quecksilber	mg/kg TM	0,14	0,15	0,089	0,082	0,11-0,17
Zink	mg/kg TM	130	150	92	100	81-130
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	1,4-1,7	0,9-1,2	0,25-0,75	0-0,50	0,50-1,7
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
DEHP	µg/kg TM	29	56	16	20	24-50
Bisphenol A	µg/kg TM	1,0-3,0	0-2,0	0-2,0	0-2,0	0-2,0
Nonylphenole	µg/kg TM	3,0-4,2	2,5-5,0	0-2,5	4,5-5,7	0-5,0
NP1EO	µg/kg TM	2,7	6,7	1,7	4,1	2,1-9,2
NP2EO	µg/kg TM	0,25-0,50	0,92	0-0,25	0,49-0,62	0,25-2,2
Summe HBCDD	µg/kg TM	0,17-0,21	0,60	0,25-0,27	0,27-0,29	0,35-0,88
Summe PBDE	µg/kg TM	0,42-0,43	0,67-0,69	0,14-0,17	0,18-0,29	0,14-0,99
Summe PAK-16	µg/kg TM	110-130	170-190	58-88	76-110	66-283
PCB-7	µg/kg TM	5,4-5,9	3,0-3,6	4,6-5,0	1,8-2,4	4,2-5,9
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,28	0,25	0,19	0,22	0,18-0,33
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	2,2	0,25	0,16	0,21	0,19-0,37
Perfluorooctansäure	µg/kg TM	2,1	1,9	0,7	0,91	1,1-5,0
Perfluorononansäure	µg/kg TM	0,38	0,35	0,21	0,22	0,23-0,65
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,31	0,36	0,24	0,36	0,28-0,88
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,050-0,075	0,12	0,18	0,22	0,16-0,35
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,025-0,075	0,075-0,10	0,085-0,11	0,13	0,10-0,21
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0,025-0,075	0,05-0,10	0-0,050	0-0,050	0,05-0,14
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,065	0,035-0,11	0-0,065	0-0,070	0-0,12
Perfluorooctansulfonsäure	µg/kg TM	20	15	1,0	1,3	5,1-49
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,050	0-0,050	0-0,050	0-0,050	0-0,05
N-Ethyl-Perfluorooctansulfonamid	µg/kg TM	0-0,085	0-0,070	0-0,085	0-0,070	0-0,10
Perfluorooctansulfonamid	µg/kg TM	0,5-0,53	0,77	0,42	0,94	0,10-0,94

In Bodenproben sind Vergleichswerte für polybromierte Diphenylether, perfluorierte Verbindungen, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, DEHP, Bisphenol A, Alkylphenole, Organozinnverbindungen und Metalle verfügbar. Für 20 Bodenproben liegen zudem Messwerte für HBCDD aus einer unveröffentlichten Studie vor.

Polybromierte Diphenylether (Summe der Kongenere BDE 28, BDE 47, BDE 99, BDE 100, BDE 153 und BDE 154) wurden in Grünlandböden in der Tiefenstufe von 0-5 cm in Konzentrationen von 0,0052 bis 1,3 µg/kg Trockenmasse und in der Tiefenstufe von 5-10 cm in Konzentrationen von 0,0067 bis 0,96 µg/kg TM nachgewiesen (Umweltbundesamt, 2008, 2010). Die vorliegenden Messergebnisse liegen innerhalb dieses Schwankungsbereiches und vor allem die Maximalwerte zeigen eine gute Übereinstimmung.

Die **polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe** (16 EPA PAKs) wurden in Grünlandböden in der Tiefenstufe von 0-5 cm in Konzentrationen von 4,6 bis 1.900 µg/kg Trockenmasse und in der Tiefenstufe von 5-10 cm in Konzentrationen von 22 bis 410 µg/kg TM nachgewiesen (Umweltbundesamt, 2008, 2010). Für die Tiefenstufe von 5-10 cm liegen aber nur Daten aus Umweltbundesamt (2008) vor. Die höchsten Konzentrationen sind für Phenanthren (700 µg/kg TM), Fluoranthren (540 µg/kg TM) und Pyren (270 µg/kg TM) in Umweltbundesamt (2010) dokumentiert. Wie für PBDE gilt auch für PAK, dass die Messergebnisse aus Vorarlberg im Schwankungsbereich der Konzentrationen aus Umweltbundesamt (2008, 2010) liegen und vor allem die Maximalwerte eine gute Übereinstimmung zeigen.

Für **DEHP** schwanken die Konzentrationen in Grünlandböden in der Tiefenstufe von 0-5 cm zwischen 20 und 100 µg/kg Trockenmasse und in der Tiefenstufe von 5-10 cm zwischen 15 und 94 µg/kg TM (Umweltbundesamt, 2008). Die vorliegenden Messwerte sind niedriger aber diesen dokumentierten Konzentrationen ähnlich (16-56 µg/kg TM).

Für **Bisphenol A** schwanken die Konzentrationen in Grünlandböden in der Tiefenstufe von 0-5 cm zwischen <0,5 und 2,3 µg/kg Trockenmasse und in der Tiefenstufe von 5-10 cm zwischen <0,5 und <5,0 µg/kg TM (Umweltbundesamt, 2008). Die vorliegenden Messwerte sind diesen dokumentierten Konzentrationen ähnlich. Bisphenol A war nur in einer der untersuchten Bodenproben nachweisbar und die Konzentration lag unter der Bestimmungsgrenze von <4,0 µg/kg TM.

Für **Nonylphenole** schwanken die Konzentrationen in Grünlandböden in der Tiefenstufe von 0-5 cm zwischen <0,5 und 13 µg/kg Trockenmasse und in der Tiefenstufe von 5-10 cm zwischen <0,5 und 31 µg/kg TM (Umweltbundesamt, 2008). Bei den Untersuchungen in Vorarlberg lagen die Messwerte zumeist unter der Bestimmungsgrenze und eine Maximalkonzentration von 6,4 µg/kg TM wurde gemessen. Diese Messwerte liegen im Schwankungsbereich aber im unteren Konzentrationsbereich der Untersuchungsergebnisse aus Umweltbundesamt (2008).

In Umweltbundesamt (2008) lagen alle Messwerte für die **Organozinnverbindungen** unter der Nachweisgrenze von 2,0 µg/kg TM. Bei den vorliegenden Untersuchungen wurde eine empfindlichere Methode angewandt, aber weder Di- noch Triphenyl- oder Tetrabutylzinnverbindungen waren bei einer Nachweisgrenze von 0,5 µg/kg TM nachweisbar. Häufig gemessen wurden Di- und Tributylzinnverbindungen, aber mit einer

Ausnahme lagen alle Messwerte unter der Nachweisgrenze aus Umweltbundesamt (2008) und sind somit konsistent.

Für **perfluorierte Tenside** sind Ergebnisse von Untersuchungen von Grünlandböden (Umweltbundesamt, 2010 und nicht publizierte Ergebnisse aus Organische Spurenstoffe in Grünlandböden, Teil 4) verfügbar. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in Tabelle 13 zusammengefasst. Beim Vergleich dieser Ergebnisse ist festzustellen, dass die nicht publizierten Ergebnisse aus Teil 4 der Untersuchungen zu organischen Spurenstoffen in Grünlandböden zumeist niedriger sind als die Konzentrationen in Umweltbundesamt (2010) und die Konzentrationen in den Bodenproben aus Vorarlberg zeigen eine gute Übereinstimmung mit diesen Werten. Eine Ausnahme bildet PFOS (Perfluorooctansulfonsäure). Für PFOS wurden bei den vorliegenden Messungen erheblich höhere Konzentrationen gemessen. Bei Grünlandbodenuntersuchungen lagen die PFOS Konzentrationen immer unter 1,6 µg/l. In den Referenzbodenproben erreichten die PFOS Konzentrationen bis zu 49 µg/kg TM und in den Bodenproben betragen die Konzentrationen 1,0 bis 20 µg/kg TM.

Tabelle 14: Perfluorierte Tenside (PFT) in Grünlandböden; Werte aus 10 österreichischen Standorten (Quellen: Umweltbundesamt, REP-0268, 2010; Organische Schadstoffe in Grünlandböden, Teil 4, unpubliziert)

Parameter	cm	Dim.	Min.–Max. [REP-268]	Min.–Max. [unpubliziert]
Perfluorhexansäure	0-5	µg/kg TM	n.n. (0,085) – 1,5	n.n. (0,085) – 0,41
	5-10	µg/kg TM	n.n. (0,085) – 1,3	n.n. (0,085) – 0,40
Perfluorhexansulfonsäure	0-5	µg/kg TM	-	n.n. (0,25)
	5-10	µg/kg TM	-	n.n. (0,25)
Perfluorheptansäure	0-5	µg/kg TM	0,48 – 2,1	n.n. (0,13) <BG (0,30)
	5-10	µg/kg TM	0,23 – 1,2	n.n. (0,13) – 0,36
Perfluorheptansulfonsäure	0-5	µg/kg TM		n.n. (0,25)
	5-10	µg/kg TM		n.n. (0,25)
Perfluorooctansäure	0-5	µg/kg TM	0,75 – 3,7	n.n. (0,10) – 1,9
	5-10	µg/kg TM	0,58 – 4,3	n.n. (0,10) – 1,6
Perfluorooctansulfonsäure	0-5	µg/kg TM	n.n. (0,25) – 1,3	n.n. (0,25) – 0,83
	5-10	µg/kg TM	n.n. (0,25) – 1,6	n.n. (0,25) – 1,6
Perfluornonansäure	0-5	µg/kg TM	0,64 – 3,0	n.n. (0,12) – 0,44
	5-10	µg/kg TM	n.n. (0,12) – 0,84	n.n. (0,12) – 0,37
Perfluorooctansulfonamid	0-5	µg/kg TM	-	n.n. (0,25)
	5-10	µg/kg TM	-	n.n. (0,25)
Perfluordecansäure	0-5	µg/kg TM	n.n. (0,13) – 1,1	-
	5-10	µg/kg TM	n.n. (0,13) – 0,23	-
Perfluordecansulfonsäure	0-5	µg/kg TM	-	n.n. (0,25)
	5-10	µg/kg TM	-	n.n. (0,25)
Perfluorundecansäure	0-5	µg/kg TM	n.n. (0,082) – 1,1	n.n. (0,082) – <BG (0,30)
	5-10	µg/kg TM	n.n. (0,082)–0,33	n.n. (0,082)
Perfluorundecansäure	0-5	µg/kg TM	n.n. (0,11) – 0,22	n.n. (0,11)
	5-10	µg/kg TM	n.n. (0,11)	n.n. (0,11)

Für **Metalle** sind umfangreiche Vergleichsdaten verfügbar. Die mittleren Schwermetallgehalte in Oberböden liegen aus Erhebungen im Rahmen des Bodeninformationssystem BORIS für ganz Österreich vor. Diese Daten wurden ausgewertet und Referenzwerte für Schwermetalle in Oberböden abgeleitet (Umweltbundesamt, 2004). Die angegebenen Werte stammen aus der Bodenzustandserhebung für Vorarlberg (Quelle: Umweltbundesamt (2004): Auswertungen aus BORIS – Bodeninformationssystem des Umweltbundesamtes, Amt der Vorarlberger Landesregierung (1986): Lebensraum

Vorarlberg, Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986, Bregenz.). An vier Standorten in Vorarlberg wurden 2010 im Zuge von Arzneimitteluntersuchungen auch Schwermetalle in den Bodenproben gemessen (Clara et al., 2013). Die angegebenen Konzentrationen beziehen sich auf die Ackerproben, die vor der Klärschlammkompostaufbringung gezogen wurden und berücksichtigen sowohl bisher unbeaufschlagte als auch bereits über einen längeren Zeitraum mit Klärschlammkompost gedüngte Flächen. Eine Gegenüberstellung zeigt Tabelle 15.

Tabelle 15: Schwermetallgehalte [mg/kg] in Oberböden

Parameter	BORIS*			Clara et al. (2013)	Messergebnisse
	Acker	Grünland	Wald	Acker	Grünland
	n=17	n=107	n=63	n=4	n=8
Cadmium	0,40	0,40	0,40	0,48-0,69	0,14-0,41
Blei	28	30	37	31-41	22-41
Nickel	44	38	30	41-51	42-70
Chrom	44	43	40	50-59	39-63
Kupfer	31	26	15	41-52	29-51
Zink	75	89	100	120-150	81-150
Quecksilber	0,10	0,10	0,16	0,059-0,18	0,082-0,17

*...Quelle: Umweltbundesamt (2004): Auswertungen aus BORIS – Bodeninformationssystem des Umweltbundesamtes, Amt der Vorarlberger Landesregierung (1986): Lebensraum Vorarlberg, Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986, Bregenz.

Der Vergleich der gemessenen Bodenkonzentrationen auf den Düngeflächen vor und nach der Ausbringung von Klärschlammkomposten zeigt bei den meisten Stoffen keine deutlichen Unterschiede. Die Konzentrationen vor und nach der Düngung sind für die meisten Schadstoffe ähnlich. Eine Gegenüberstellung der Schadstoffkonzentrationen [$\mu\text{g}/\text{kg TM}$] auf den untersuchten Düngeflächen vor und nach der Klärschlammaufbringung (dargestellt sind die Ergebnisse der Maximalbewertung) zeigt Abbildung 9. Dargestellt sind zudem die Mittelwerte der Untersuchungsergebnisse der Referenzflächen.

Bei einigen Stoffen liegen die Schadstoffkonzentrationen in den Düngeflächen z.T. unter den Konzentrationen in den Referenzböden. Dies würde zum Schluss führen, dass durch die Klärschlammkompostausbringung eine Verdünnung der Schadstoffkonzentration erfolgt. Für diese Stoffe müsste somit der Haupteintrag auf die Fläche über die atmosphärische Deposition erfolgen.

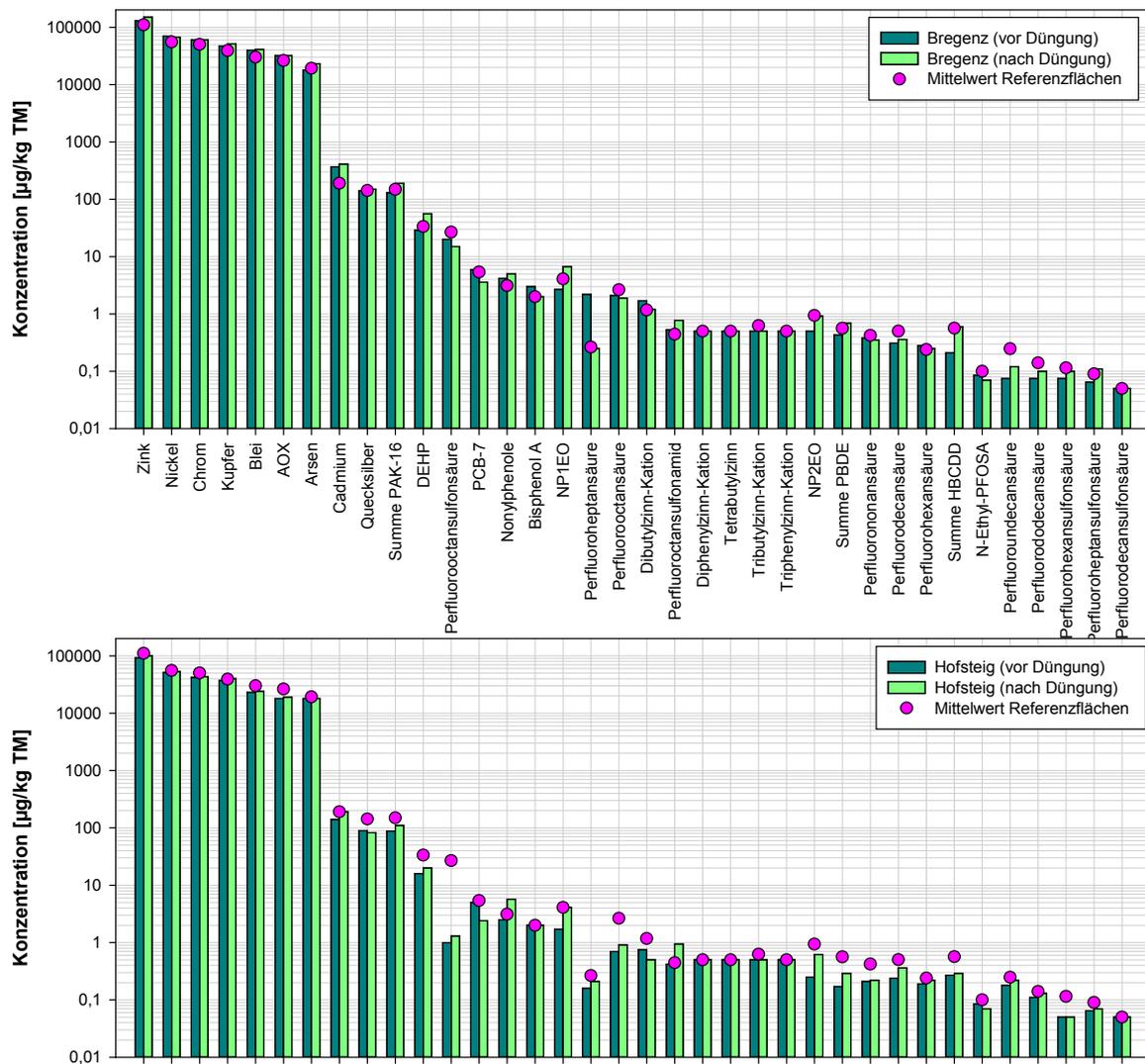


Abbildung 9: Gegenüberstellung der Schadstoffkonzentrationen [µg/kg TM] der untersuchten Düngeflächen vor und nach der Klärschlammaufbringung (dargestellt sind die Ergebnisse der Maximalbewertung).

Untersuchungen in Baden-Württemberg kommen für PAK zu einem ähnlichen Ergebnis. Einige Messergebnisse deuten auf einen Zusammenhang der Bodengehalte mit der Klärschlamm Düngung hin. Diese Ergebnisse konnten aber wegen der erhöhten Gehalte auf den Referenzflächen anderer Standorte nicht verifiziert werden, weshalb die Autoren schließen, dass offensichtlich bei den PAK andere, insbesondere atmosphärische Eintragsquellen relevant sind (LfU, 2003).

Bei den Organozinnverbindungen wurden in Baden-Württemberg auf allen klärschlammbeaufschlagten Flächen deutlich höhere Konzentrationen gemessen als auf den Referenzflächen (LfU, 2003). Diese Beobachtung wurde bei den aktuellen Untersuchungen nicht gemacht. Vielmehr liegen die Konzentrationen in den Referenzflächen, die in räumlicher Nähe zu den Düngeflächen liegen, zumeist über den Konzentrationen auf den Düngeflächen.

Auch bei den Metallen dokumentiert LfU (2003) signifikant höhere Konzentrationen auf den klärschlammgedüngten Böden im Vergleich zu den Referenzflächen, vor allem für Kupfer

und Zink. Bei den aktuellen Untersuchungen ist dieser Einfluss nicht so deutlich. Zwar werden bei Zink nach der Klärschlammaufbringung auf einer der untersuchten Flächen höhere Konzentrationen gemessen, jedoch kann diese Zunahme nicht ausschließlich durch die Düngung erklärt werden. Auf der zweiten Fläche ist diese Zunahme weniger stark ausgeprägt. Nichtsdestotrotz betätigen die aktuellen Untersuchungen, dass der Haupteintrag von Schwermetallen über die Klärschlammaufbringung erfolgt.

Die relative Änderung der Konzentrationen in den Düngeflächen zeigt Abbildung 10. Dargestellt ist die relative Konzentrationsveränderung in Bezug zur gemessenen Konzentration vor der Klärschlammkompostbeaufschlagung. Es wurden nur Schadstoffe ausgewertet, die in allen Proben der Düngeflächen in Konzentrationen größer Bestimmungsgrenze gemessen wurden. Damit werden keine Schwankungsbereiche angegeben. Die Angaben links der Stoffbeschriftung (blauen Punkte) wurden aus den gemessenen Konzentrationen vor und nach der Klärschlammbeaufschlagung berechnet. Die Angaben rechts der Stoffbeschriftung (magentafarbene Punkte) stammen aus der theoretischen Abschätzung der Aufstockung über den Klärschlammkompost, deren Umrechnung auf eine Konzentration und Vergleich dieser theoretischen Änderung mit der Ausgangskonzentration vor der Klärschlammausbringung.

Für diesen Vergleich wurden theoretische Abschätzungen durchgeführt. Auf alle Düngeflächen wurden jeweils 18 m^3 Klärschlammkompost aufgebracht. Ausgehend von den gemessenen Konzentrationen (Ergebnisse der Maximalbewertung) im Fertigungskompost (bezogen auf die Trockenmasse) wurde unter Annahme der gemessenen Trockenmassegehalte von 40 % und 58 % und einer angenommenen spezifischen Dichte von 700 kg/m^3 (BMLFUW, 2010) der Schadstoffgehalt in einem Kubikmeter Fertigungskompost berechnet. Aus diesen Schadstoffgehalten und den Aufbringungsmengen wird der Stoffeintrag über die Klärschlammkompostaufbringung berechnet. Diese Stoffeinträge wurden anschließend in eine theoretische Aufstockung umgelegt. Laut Fiedler (2001) beträgt die Trockenrohdichte von Mineralböden in Abhängigkeit vom Humusgehalt zwischen $1,0$ und $1,8 \text{ g/cm}^3$ und die Trockenrohdichte der Ackerkrume liegt bei $1,35$ - $1,5 \text{ g/cm}^3$. Aus den aufbrachten Stofffrachten pro Fläche wurde ausgehend von der Konzentration vor der Düngung und der Annahme einer Trockenrohdichte von rund $1,5 \text{ g/cm}^3$ (1500 kg/m^3) sowie einer Bodenkörpertiefe von rund 15 cm (Einstichtiefe der Probenahme), einer homogenen Verteilung und keiner Verluste die theoretische Konzentrationszunahme im Boden infolge der Klärschlammkompostaufbringung berechnet.

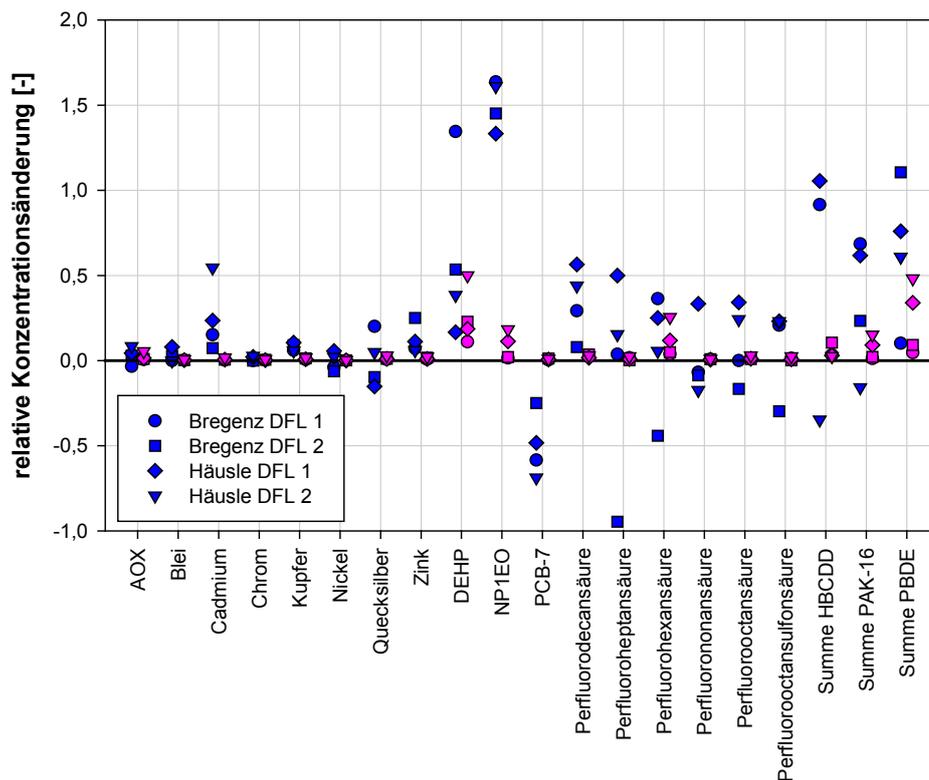


Abbildung 10: relative Änderung der Schadstoffkonzentration nach Klärschlammkompostaufbringung, bezogen auf die Konzentration vor der Düngung (blaue Punkte aus Messung, magentafarbene Punkte aus theoretischer Abschätzung).

Ausgehend von den Messwerten vor und nach der Klärschlammdüngung ist eine höhere Konzentration nach der Klärschlammkompostbeaufschlagung für Cadmium, die Alkylphenole (Nonylphenoethoxylate), DEHP, die Summe der polybromierten Diphenylether, Hexabromcyclohexan (auf den Flächen, die mit Schlamm der ARA Bregenz gedüngt werden) und in geringerem Maße auch für die Summe der PAK sowie für Vertreter der perfluorierten Tenside zu beobachten.

Bei einigen dieser Stoffe zeigt auch die theoretische Abschätzung der zu erwartenden Konzentrationen eine Zunahme der Belastung im Boden. Ähnliche Änderungen werden für DEHP, Perfluorhexansäure oder die Summe der PBDE bestimmt. Bei anderen Stoffen (z.B. Cadmium, Nonylphenolmonoethoxylate, Summe PAK, u.a.m.) werden nach der Klärschlammkompostausbringung deutlich höhere Konzentrationen im Boden gemessen, als aufgrund der Klärschlammausbringung zu erwarten wären. Bei diesen Stoffen könnte ein Stoffeintrag auch über zusätzliche Pfade (z.B. Ausbringung von Hof- oder Mineräldünger, Deposition) erfolgen.

Ähnliche Ergebnisse zeigt eine zweite theoretische Abschätzung. Aus dem Stoffeintrag über die Klärschlammkompostausbringung wurde wie zuvor beschrieben, die theoretische Konzentrationsaufstockung berechnet. Aus dieser Aufstockung und der Ausgangskonzentration im Boden vor der Klärschlammkompostdüngung wurde die zu erwartende Konzentration nach der Düngung bestimmt. Diese theoretische Konzentration wird mit der gemessenen Konzentration in Relation gesetzt und dieses Verhältnis ist in Abbildung 11 dargestellt. Liegt der dargestellte Wert bei „1“ entspricht die berechnete theoretische Konzentration der gemessenen Konzentration. Verhältnisse kleiner eins werden

berechnet, wenn die theoretische Konzentration kleiner ist als die gemessene Konzentration nach der Klärschlammkompostaufbringung. In diesen Fällen sind zusätzliche Einträge über andere Eintragspfade eine mögliche Erklärung für diese Beobachtung. Dies trifft auf Cadmium, Nonylphenoethoxylate, HBCDD, PAK-16, Summe PBDE oder einzelne Vertreter der perfluorierten Tenside zu. Dies sind aber auch die Stoffe, für die ein deutlicher Unterschied bei den Messungen vor und nach der Klärschlammkompostdüngung beobachtet wurde. Die Ausbringung trägt zur Konzentrationserhöhung bei, erklärt aber nicht den gesamten Umfang dieser Zunahme. Verhältnisse größer eins werden berechnet, wenn die theoretische Konzentration größer ist als die gemessene Konzentration nach der Klärschlammkompostaufbringung. Dies trifft auf einzelne Stoffe auf einzelnen Flächen zu wie z.B. auf DEHP. Eine Begründung für diese Beobachtung ist ein möglicher Ab- bzw. Umbau im Boden, der zu einer Konzentrationsabnahme führen kann.

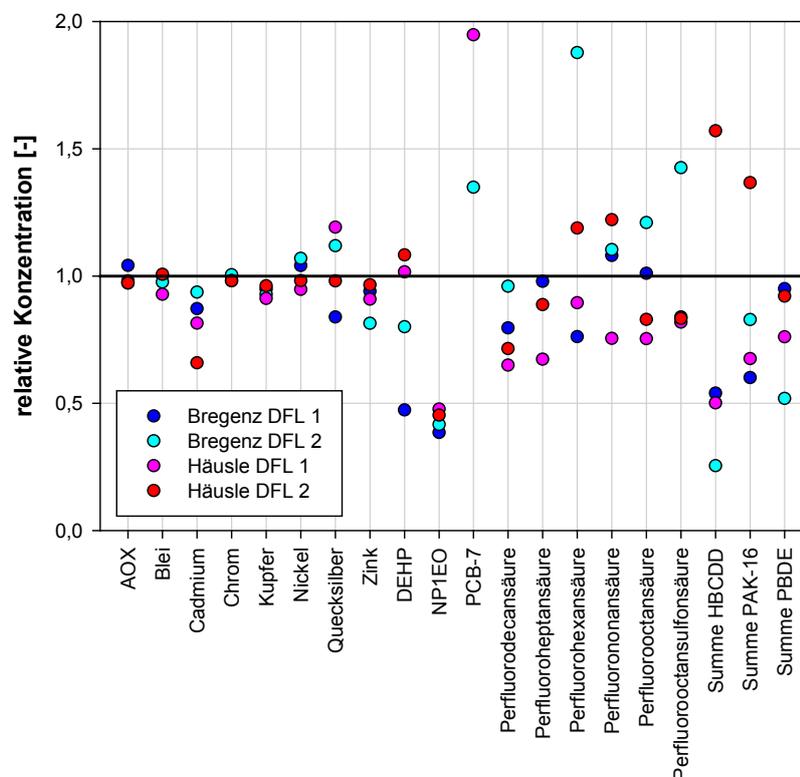


Abbildung 11: Verhältnis der theoretisch berechneten Bodenkonzentration nach der Düngung in Relation zur gemessenen Konzentration.

Die gemessenen Konzentrationen vor und nach der Klärschlammkompostaufbringung liegen zumeist unterhalb der Konzentrationen, die auf den Referenzflächen gemessen wurden, die nicht mit Klärschlammkompost beaufschlagt wurden. Dies gilt insbesondere für die Flächen, die mit Klärschlammkompost der Fa. Häusle gedüngt werden. Die Flächen, die mit Klärschlammkompost der ARA Bregenz beaufschlagt werden, weisen generell höhere Konzentrationen auf. Die Referenzflächen wurden in räumlicher Nähe der Düngeflächen gewählt und der Stoffeintrag über die Deposition sollte ähnlich sein. Ein eindeutiger Einfluss der Düngung mit Klärschlammkompost auf die Bodenkonzentrationen der untersuchten Schadstoffe ist somit nicht festzustellen, weil die Konzentrationen im Bereich der Werte der Referenzflächen und somit im Erwartungsbereich liegen.

Zur Abschätzung des Einflusses der Klärschlammkompostdüngung im Vergleich zur Schadstoffeintrag über die Deposition werden die Frachten, die über den

Klärschlammkompost auf die gedüngten Flächen aufgebracht werden, dem Stoffeintrag über die Deposition gegenübergestellt. Der Stoffeintrag aus der Deposition wird aus den Ergebnissen der Maximalbewertung, einer durchschnittlichen Jahresniederschlagssumme von rund 1.500 mm und den Flächen der beprobten Grundstücke (siehe Tabelle 7) bestimmt. Es wird davon ausgegangen, dass die Klärschlammkompostausbringung einmal jährlich erfolgt, womit jährliche Stoffeinträge über die Kompostdüngung und die Deposition verglichen werden. Die Ergebnisse dieser Gegenüberstellung der maximal zu erwartenden jährlichen Stoffeinträge über die Deposition und über die Klärschlammaufbringung sind in Abbildung 12 zusammengefasst.

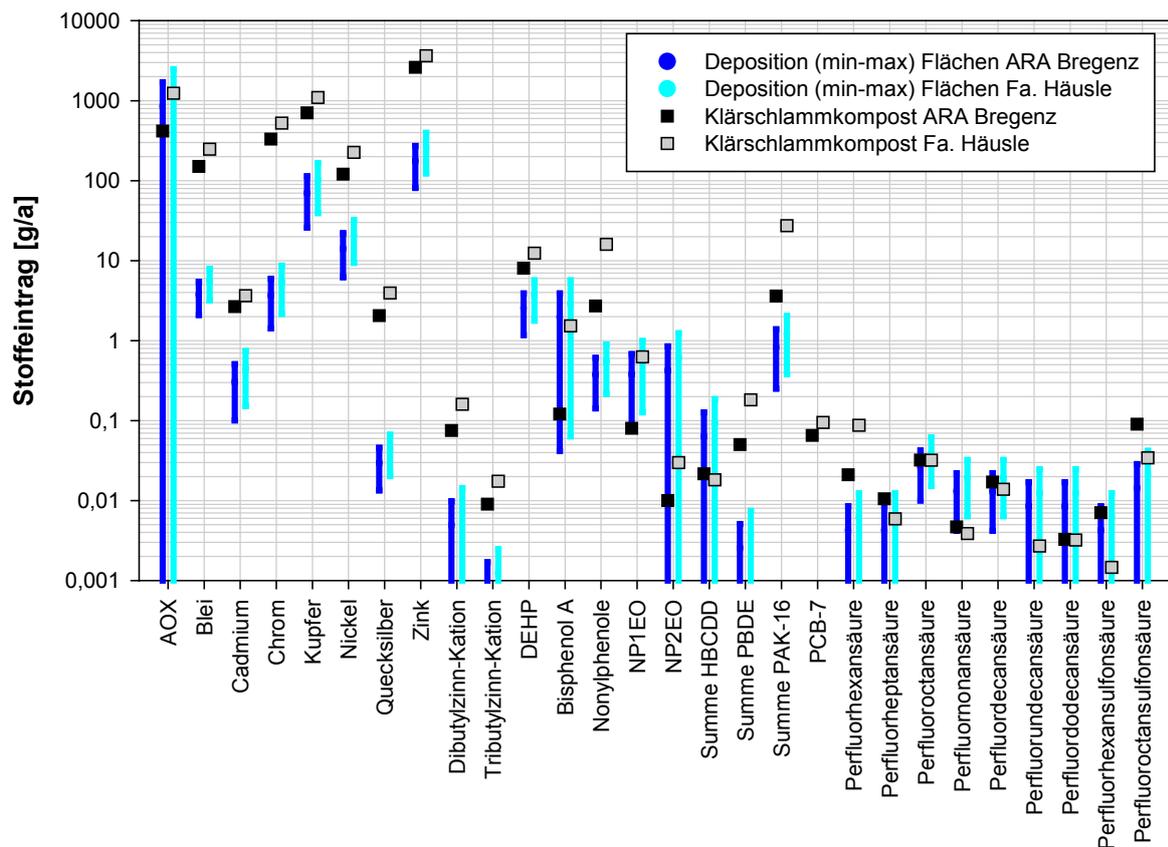


Abbildung 12: Gegenüberstellung der Stoffeinträge [g/a] über die Klärschlammausbringung und die Deposition auf die beprobten Bodenflächen

Bei Metallen, Organozinnverbindungen, Nonylphenolen und den polybromierten Diphenylethern werden über den Klärschlammkompost höhere Frachten auf die untersuchten Flächen ausgebracht, als über die Deposition eingetragen werden. Auch bei DEHP, PAK, Perfluorhexansäure und Perfluoroktansulfonsäure ist der Stoffeintrag über den Klärschlammkompost auf die untersuchten Flächen tendenziell höher als über die Deposition.

Für AOX, Bisphenol A, Nonylphenoethoxyate, HBCDD sowie einige Vertreter der perfluorierten Tenside erfolgt ein ähnlicher Stoffeintrag über die Klärschlammkompostausbringung wie über die Deposition. Dazu ist aber anzumerken, dass die Darstellung den Schwankungsbereich der Minimal- und der Maximalfracht angibt und dieser Schwankungsbereich z.T. erheblich ist. Nichtsdestotrotz liegen die berechneten Stoffeinträge über den Klärschlammkompost innerhalb dieser Schwankungsbereiche.

Die Frachteinträge über die Deposition und über die Klärschlammkompostaufbringung sind sehr unterschiedlich. Bei der Deposition ist die Grundstücksfläche von Einfluss. Beim Klärschlammkompost werden laut den verfügbaren Informationen in Abhängigkeit vom Kompostierer und unabhängig von der Grundstücksgröße immer die gleichen Mengen ausgebracht. Aus diesen Stoffeinträgen und zur Berücksichtigung der unterschiedlichen Flächengrößen werden daher flächenspezifische Frachten in Gramm pro Hektar und Jahr abgeleitet und gegenübergestellt. Die Ergebnisse dieses Vergleiches enthält Abbildung 13. Die Aussage zur Verteilung der Haupteinträge bleibt unverändert.

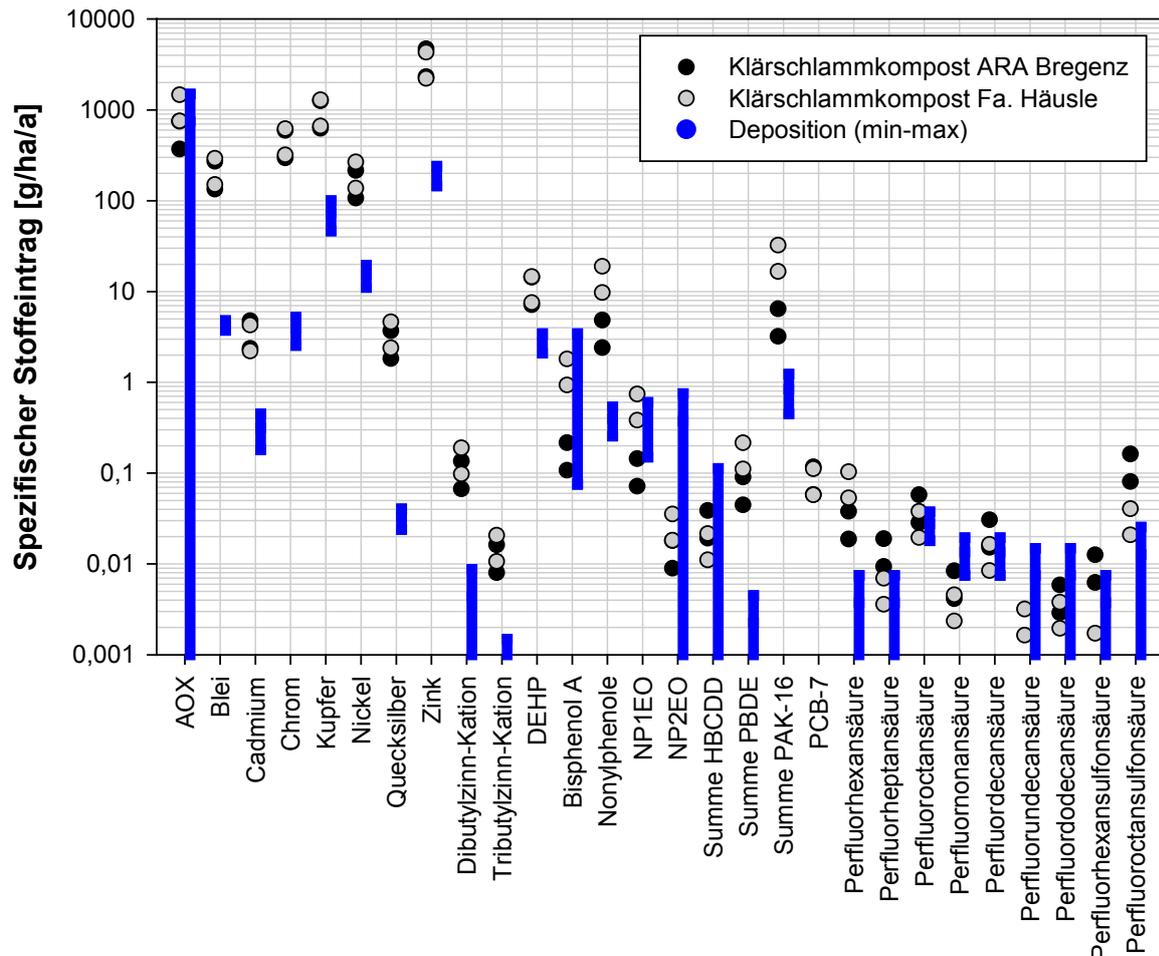


Abbildung 13: flächenspezifische Stoffeinträge [g/ha/a] über die Deposition und über die Klärschlammkompostausbringung.

7.4 Gras

Grasproben wurden sowohl von den Referenz- als auch von den Düngeflächen gezogen. Es wurden fünf Grasproben untersucht. In keiner der untersuchten Grasproben waren Bisphenol A, die Nonylphenolethoxylate, HCBDD sowie die perfluorierten Verbindungen mit Ausnahme von PFOA und PFOS nachweisbar. PFOA wurde nur in einer Probe in einer Konzentration kleiner der Bestimmungsgrenze gemessen. Die analysierten PAK und PCB waren in allen Grasproben nachweisbar aber alle Messergebnisse lagen unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze. Die Bestimmungsgrenze betrug für PAK 25 µg/kg TM und für PCB 1,0 µg/kg TM. Die Nachweisgrenzen lagen bei rund 13 µg/kg TM für PAK und bei 0,30 µg/kg TM für PCB.

Die Ergebnisse der Schadstoffe, die in zumindest einer der untersuchten Grasproben nachweisbar waren sind in Tabelle 16 zusammengefasst. Die detaillierten Ergebnisse sind im Anhang in Abschnitt 9.2.7 dargestellt. Bei Blei, Kobalt Vanadium, PAK und PCB lagen alle Messwerte unter der jeweiligen Bestimmungsgrenze, weshalb der Schwankungsbereich des Mittelwerts aus der Minimal- und der Maximalauswertung sowie Minimum und Maximum ident sind.

Tabelle 16: Zusammenfassung der Analysenergebnisse der Grasproben

Parameter	Anzahl (n=3)			Ergebnisse [$\mu\text{g}/\text{kg TM}$]		
	n.n.	<BG	>BG	Mittelwert	Minimum	Maximum
Arsen	-	5	-	2.500-5.000	2.500	5.000
Blei	-	5	-	1.300-2.500	1.300	2.500
Cadmium	-	5	-	120-250	100	250
Chrom	-	-	5	850	590	1.000
Kobalt	-	5	-	1.300-2.500	1.300	2.500
Kupfer	-	-	5	7.300	4.100	11.000
Mangan	-	-	5	58.000	32.000	93.000
Molybdän	-	-	5	3.100	820	5.900
Nickel	-	-	5	1.100	870	1.300
Quecksilber	-	-	5	32	27	37
Vanadium	-	5	-	2.500-5.000	2.500	5.000
Zink	-	-	5	28.000	18.000	43.000
DEHP	-	-	5	62	45	95
BDE 100	3	2	-	0,00090-0,0069	0	0,0086
BDE 154	3	2	-	0,00050-0,0039	0	0,0049
BDE 28	1	2	2	0,0019-0,0034	0	0,0052
BDE 47	3	2	-	0,0070-0,054	0	0,067
BDE 99	3	2	-	0,0040-0,031	0	0,039
Summe PBDE				0,014-0,12	0	0,15
Summe PAK-16				200-400	200	400
Summe PCB-7				2,1-7,0	2,1	7,0
Perfluorooctansäure	4	1	-	0,048-0,41	0	0,48
Perfluorooctansulfonsäure	2	-	3	0,75-0,87	0	2,2

Die gemessenen Schadstoffkonzentrationen (Minimum-Maximum) in den Grasproben von den Düngeflächen und von den Referenzflächen sind in Abbildung 14 gegenübergestellt. Bei den meisten Schadstoffen schwanken die gemessenen Konzentrationen in einem ähnlichen Bereich. Bei Kupfer, Zink und DEHP wurden in den Grasproben von den Referenzflächen geringere Konzentrationen gemessen als in den Proben von den Düngeflächen. Bei Chrom und Mangan hingegen, wurden in den Grasproben von den Referenzflächen höhere Konzentrationen gefunden als in den Proben von den Düngeflächen.

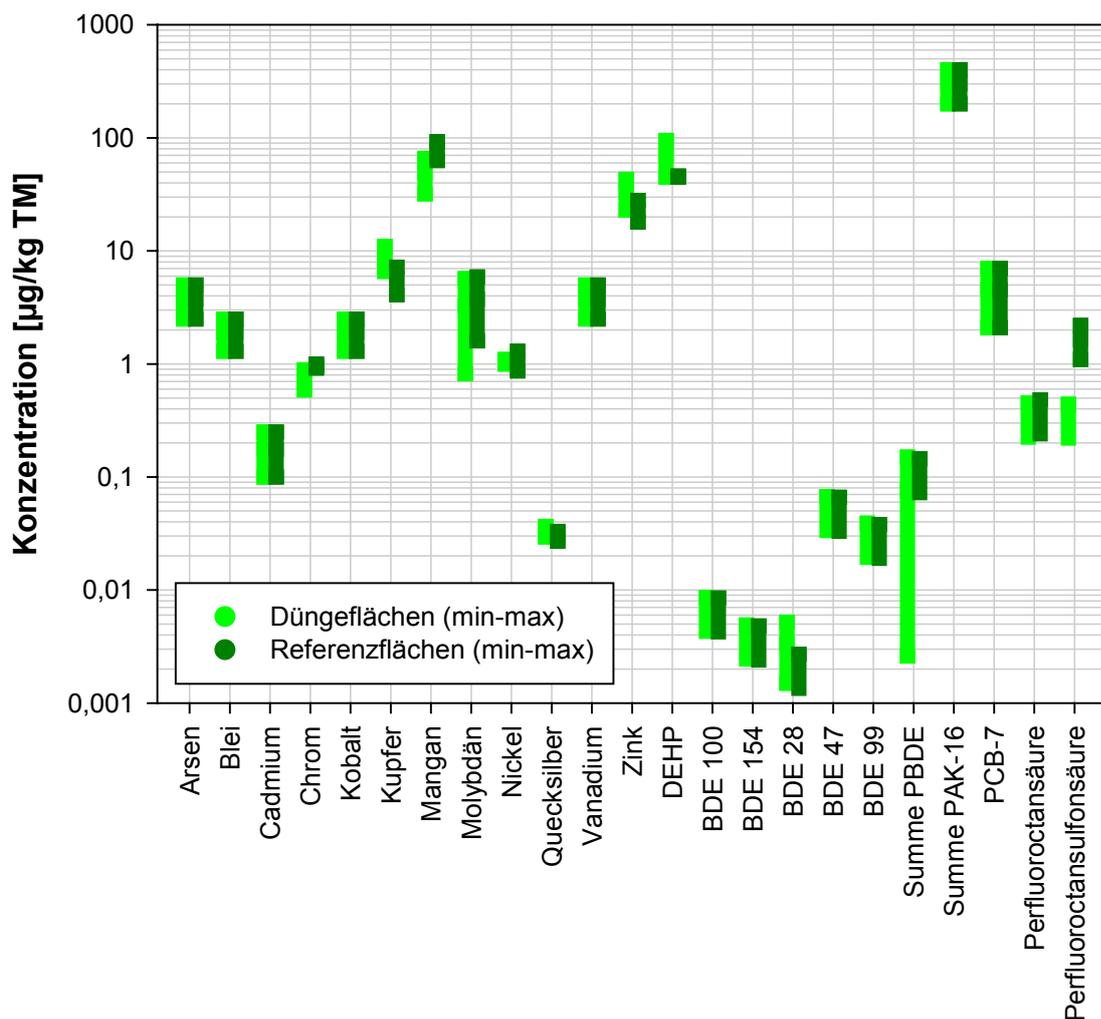


Abbildung 14: Schadstoffkonzentrationen (Minimum-Maximum) in den Grasproben der Düngeflächen und der Referenzflächen.

Die **Metalle** waren in allen Grasproben nachweisbar. Viele dieser Schwermetalle sind Spurenelemente und liegen üblicherweise in sehr geringen Konzentrationen vor. Einige Schwermetalle, wie Kupfer, Chrom oder Zink gehören zu den essentiellen Spurenelementen und sind für Pflanzen, Tier und Mensch physiologisch unentbehrlich. Cadmium und Blei sind keine essentiellen Spurenelemente. Kupfer wurde in Konzentrationen von 4,1 bis 11 mg/kg TM gemessen und für Zink schwanken die Konzentrationen zwischen 18 und 43 mg/kg TM. Ähnliche Konzentrationen berichten Reutimann (2006) und Fischer (2011). Reutimann dokumentiert mittlere Konzentrationen im Gras (Wiese, Weide) für Kupfer von rund 8 mg/kg TM und für Zink von rund 30 mg/kg TM. Laut Fischer (2011) schwanken die Kupfergehalte im Grünfutter in Abhängigkeit von der Düngung zwischen 8,2 und 9,2 mg/kg TM und die Zinkgehalte im Mittel zwischen 46 und 57 mg/kg TM. Auch für Cadmium und Blei zeigen die Auswertungen von Fischer (2011) (Cadmium 0,16-0,21 mg/kg TM, Blei 1,4-2,5 mg/kg TM) eine gute Übereinstimmung mit den vorliegenden Messwerten (Cadmium 0,10-0,25 mg/kg TM, Blei 1,3-2,5 mg/kg TM). Für Quecksilber dokumentiert Fischer (2011) Konzentrationen im Grünfutter von 0,05-0,10 mg/kg TM. Diese Werte liegen etwas über den gemessenen Konzentrationen in den untersuchten Grasproben, die zwischen 0,027 und 0,037 mg/kg TM schwanken. Für Chrom und Nickel gibt Fischer (2011) Konzentrationen im Grünfutter zwischen 3,1 und 5,4 mg/kg TM bzw. rund 3,0-3,7 mg/kg TM an. Diese Werte liegen deutlich

über den gemessenen Werten (0,59-1,0 mg/kg TM für Chrom und 0,87-1,3 mg/kg TM für Nickel).

Für **DEHP** gibt die Risikobewertung der Europäischen Chemikalienagentur Konzentrationen in Pflanzen an. Diese Werte stammen aber zumeist aus den Jahren 1980 bis 1990 und sind somit nicht aktuell. Die Konzentrationen liegen im Bereich von rund 1,2 bis 11 mg/kg TM (ECB, 2008a). Die aktuell gemessenen Werte sind deutlich niedriger. LfU (2003) dokumentiert, dass DEHP im aeroben Bodenbereich vollständig mineralisiert wird und eine Anreicherung von DEHP aus dem Boden in die Pflanzen nicht nachgewiesen werden konnte. Die Aufnahme in Pflanzen findet bevorzugt über den Luftpfad statt (LfU, 2003).

Perfluorierte Tenside in Grasproben wurden in Bayern in der Nähe von Eintragsquellen untersucht. Dabei wurden Perfluorhexansäure (PF6C), Perfluorhexansulfonat (PF6S), Perfluoroctansäure (PFOA) und Perfluoroctansulfonsäure (PFOS) bestimmt. PFOS und PF6S wurden in keiner der drei untersuchten Proben gefunden. Die Gehalte für PFHxA lagen in zwei Proben unterhalb der Nachweisgrenze und in einer Probe im Bereich der Nachweisgrenze von 1,0 µg/kg TM. In zwei der drei Proben wurde PFOA nachgewiesen (5,3 und 7,5 µg/kg TM) (LfGL, 2008). Bei den aktuellen Untersuchungen wurde PFOA nur in einer Probe unter der Bestimmungsgrenze von 0,50 µg/kg TM gemessen. PFOS war in drei von fünf Proben nachweisbar und die maximale Konzentration erreichte 2,2 µg/kg TM.

7.5 Gärrückstände

Die Fa. Häusle verwertet neben Klärschlammkompost auch Bioabfälle. Die Gärrückstände aus dieser Bioabfallverwertung werden auch in der Landwirtschaft genutzt. Aus diesen Gärrückständen wurden zwei Proben untersucht. Die Ergebnisse ausgewählter Schadstoffe sind in Tabelle 17 zusammengefasst. Alle Messergebnisse enthält Abschnitt 9.2.8 in Anhang 2. Der Schadstoffgehalt der Gärrückstände ist sehr stark abhängig von der Zusammensetzung des Ausgangsmaterials.

Tabelle 17: Konzentrationen ausgewählter Schadstoffe in den untersuchten Gärrückständen

Parameter	Einheit	BG	NG	Probe 1	Probe 2
AOX	mg/kg TM			110	250
Blei	mg/kg TM			13	14
Cadmium	mg/kg TM			0,28	0,31
Chrom	mg/kg TM			18	19
Kobalt	mg/kg TM			12	7,3
Kupfer	mg/kg TM			44	37
Molybdän	mg/kg TM			12	5,4
Nickel	mg/kg TM			22	19
Quecksilber	mg/kg TM			0,11	0,11
Vanadium	mg/kg TM			7,5	6,1
Zink	mg/kg TM			190	230
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	26	19
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	0-0,5	0-0,5
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	1	0,5	0-0,5	0-0,5
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	2,7	1,1
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	0-0,5	0-0,5
DEHP	µg/kg TM	10	5	2.400	3.700
Bisphenol A	µg/kg TM	10	5	2.200	3.900
Nonylphenole	µg/kg TM	20	10	1.800	560

Parameter	Einheit	BG	NG	Probe 1	Probe 2
NP1EO	µg/kg TM	8	4	73	60
NP2EO	µg/kg TM	4	2	6,4	<4.0
Summe HBCDD	µg/kg TM	-	-	1,2	0,87
Summe PBDE	µg/kg TM	-	-	3,5	2,2
Summe PAK-16	µg/kg TM	-	-	650-760	250-430
Summe PCB-7	µg/kg TM	-	-	2,1-7,0	3,8-7,3
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,2	0,1	3,0	0,31
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0,18	0,09	0,56	0-0,09
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	0,4	0,2	2,9	<0.40
Perfluornonansäure	µg/kg TM	0,2	0,1	0,41	0-0,10
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,12	0,06	1,8	<0.12
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,19	0,085	0,81	0-0,085
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,1	0,05	0,55	0-0,050
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0,2	0,1	0-0,10	0-0,10
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0,35	0,18	0-0,18	0-0,18
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	0,2	0,1	2,9	0,38
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0,26	0,13	0-0,13	0-0,13
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,36	0,18	0-0,18	0-0,18
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,22	0,11	1,3	2,6

Dittrich und Klose (2008) haben Schwermetalle in Gärrückständen aus Biogasanlagen untersucht. Dabei wurden für die Kofermentation vorwiegend Rinder- und Schweinegülle, Festmist, Bioabfall aus der getrennten Sammlung privater Haushalte, Küchen- und Kantinenabfälle, Fett- und Fettrückstände sowie überlagerte Lebens-, Genuss- und Futtermittel eingesetzt. Die dokumentierten Konzentrationen sind ähnlich den aktuell gemessenen Konzentrationen. So lagen die Konzentrationen (angegeben sind Minimal- und Maximalkonzentration sowie in Klammer der jeweilige Mittelwert) bei Blei zwischen 0,010 und 13 mg/kg TM (4,9 mg/kg TM), bei Cadmium zwischen 0,040 und 0,90 mg/kg TM (0,41mg/kg TM), bei Chrom zwischen 0,76 und 29 mg/kg TM (11 mg/kg TM), bei Nickel zwischen 0,010 und 17 mg/kg TM (5,7 mg/kg TM), bei Quecksilber zwischen 0,020 und 0,14 mg/kg TM (0,080 mg/kg TM), bei Kupfer zwischen 22 und 220 mg/kg TM (99 mg/kg TM) und bei Zink zwischen 100 und 650 mg/kg TM (310 mg/kg TM) (Dittrich und Klose (2008).

Das Bayerische Landesamt für Umwelt hat 2006 neben Bioabfall- und Grüngutkomposten auch Gärrückstände aus der Bioabfallvergärung (Gärrückstände nach der Nachrotte) auf Schwermetalle und organische Schadstoffe untersucht (LfU, 2007). Die Ergebnisse sind in der folgenden Tabelle 18 zusammengefasst. Zusätzlich zu den angeführten Schadstoffen wurden auch die perfluorierten Tenside PFOA und PFOS analysiert. In den Gärrückständen waren diese zwei Schadstoffe bei Nachweisgrenzen zwischen 15-23 µg/kg TM nicht nachweisbar (LfU, 2007). Die aktuellen Messergebnisse der Gärrückstände der Fa. Häusle liegen innerhalb des Schwankungsbereiches der bayerischen Untersuchungen.

Tabelle 18: Zusammenfassung der Schadstoffkonzentrationen in Gärrückständen aus der Bioabfallvergärung (LfU, 2007)

Parameter	Einheit	Mittelwert	Minim-Maximum
Blei	mg/kg TM	23	4,8-34
Cadmium	mg/kg TM	0,35	0,15-0,48
Chrom	mg/kg TM	25	17-36
Kupfer	mg/kg TM	71	25-112
Nickel	mg/kg TM	13	9,5-19
Quecksilber	mg/kg TM	0,086	0,030-0,12

Parameter	Einheit	Mittelwert	Minim-Maximum
Zink	mg/kg TM	170	88-218
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	-	<1-10
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	-	<1-12
DEHP	µg/kg TM	2.300	290-4.800
Bisphenol A	µg/kg TM	1.193	23-2.860
Nonylphenole	µg/kg TM	-	<50-420
Summe PBDE	µg/kg TM	28	18-41
Summe PAK-16	µg/kg TM	250	340-3.900
Summe PCB-7	µg/kg TM	31	4,6-67

7.6 Vergleich der gemessenen Konzentrationen in den verschiedenen Medien

Tabelle 19 enthält eine Zusammenfassung der Messergebnisse in den unterschiedlichen Medien. Es sind die Minima der Minimalbewertung (nicht nachweisbare Stoffe gleich null und Ergebnisse kleiner Bestimmungsgrenze gleich der Nachweisgrenze) und die Maxima der Maximalbewertung (nicht nachweisbare Stoffe gleich der Nachweisgrenze und Ergebnisse kleiner Bestimmungsgrenze gleich der Bestimmungsgrenze) angegeben.

Für nahezu alle untersuchten Schadstoffe wurden die höchsten Konzentrationen in den Klärschlammproben gemessen. In den Klärschlammkompostproben sind die Konzentrationen niedriger und diese Abnahme ist im Wesentlichen auf eine „Verdünnung“ zurückzuführen. Bei einigen Stoffen ist diese Abnahme aber nur sehr gering (z.B. Quecksilber oder PFOA), was darauf hindeutet, dass auch über das Strukturmaterial ein Stoffeintrag in den Kompost erfolgt.

Vor allem bei den organischen Schadstoffen wurden in den Gärrückständen aus der Bioabfallvergärung ähnliche Konzentrationen wie in den Klärschlammkomposten beobachtet. Die Schwermetallgehalte der Gärrückstände waren zumeist geringer als die Konzentrationen in den Komposten.

Die gemessenen Schadstoffkonzentrationen in den Bodenproben sind nochmals zumeist deutlich niedriger als die Konzentrationen in den Komposten. Bei einigen Stoffen (z.B. DEHP oder HCBDD) werden nach der Aufbringung von Klärschlammkompost höhere Konzentrationen in den Bodenproben von den Düngeflächen gemessen als vor der Düngung. Ein eindeutiger Einfluss der Düngung mit Klärschlammkompost auf die Bodenkonzentrationen der untersuchten Schadstoffe ist aber nicht festzustellen. Vielmehr weisen theoretische Abschätzungen darauf hin, dass bei einigen Schadstoffen von weiteren Stoffeinträgen auszugehen ist. Auch liegen die gemessenen Konzentrationen in den Düngeflächen im Bereich der Schwankungsbereiche der Messwerte von den Referenzflächen und somit im Erwartungsbereich.

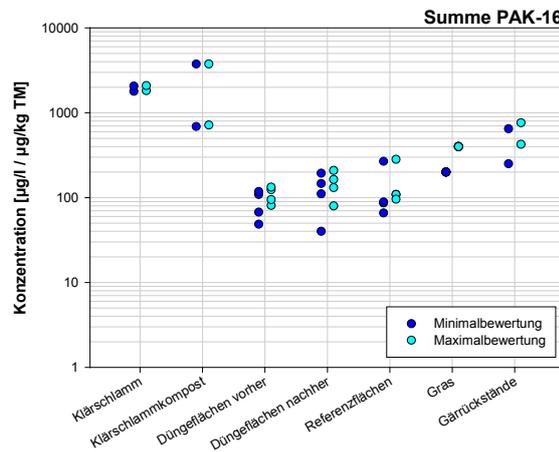
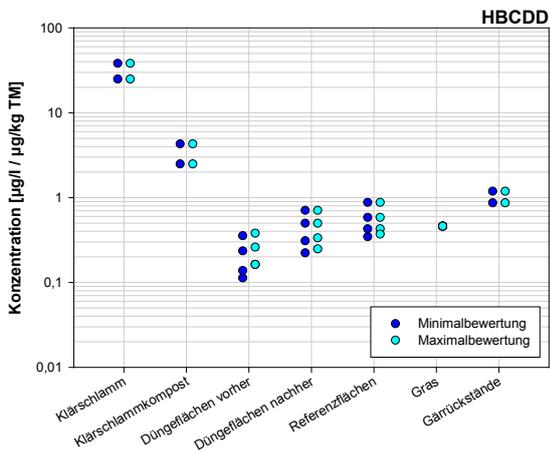
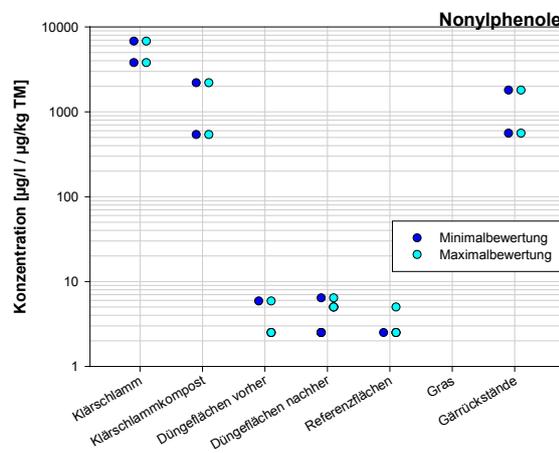
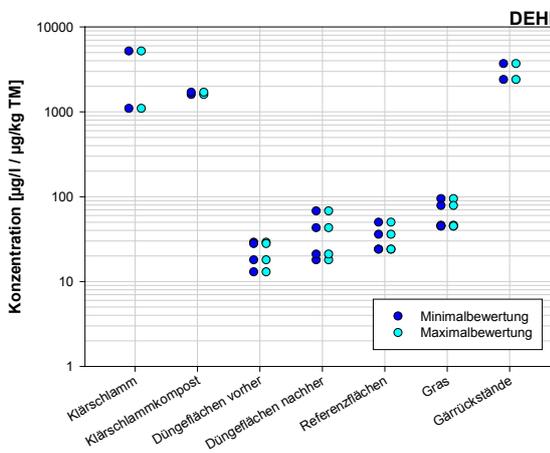
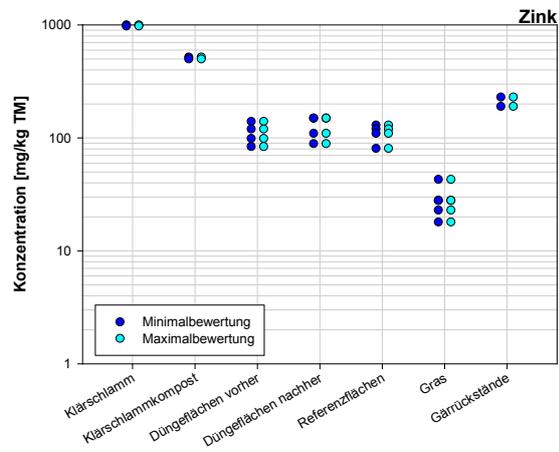
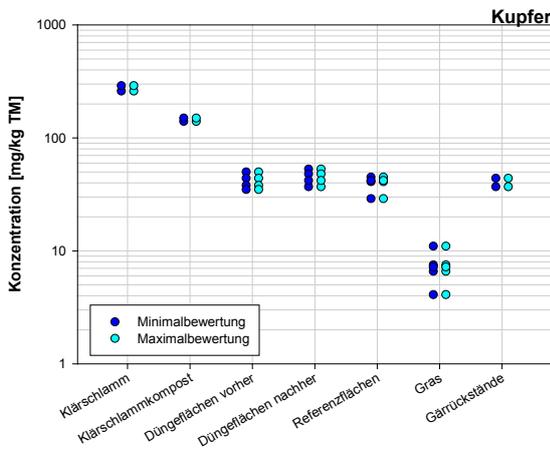
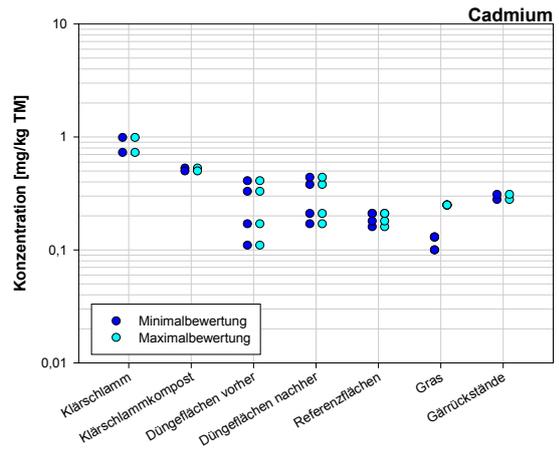
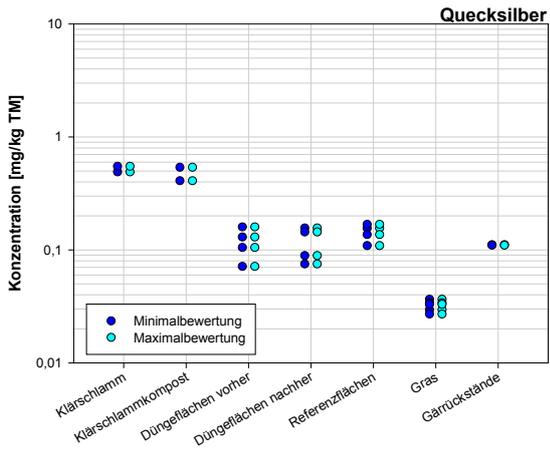
In den untersuchten Grasproben wurden zumeist die niedrigsten Konzentrationen aller analysierter Feststoffproben gemessen. Eine Ausnahme bildet DEHP. Dieser Weichmacher wurde in den Grasproben in höheren Konzentrationen nachgewiesen als in den Bodenproben. Während vom Vorkommen der Metalle in den Grasproben auszugehen ist, da einige der Metalle essentielle Spurenelemente sind (z.B. Kupfer und Zink), trifft dies auf organische Schadstoffe nicht zu. Wenn auch nur in geringen Konzentrationen waren zusätzlich zu DEHP auch einige organische Schadstoffe wie PCB, polybromierte Diphenylether oder Vertreter der perfluorierten Tenside in den Grasproben nachweisbar.

Eine graphische Darstellung des Vergleichs der gemessenen Konzentrationen ausgewählter Schadstoffe in den untersuchten Feststoffproben zeigt Abbildung 15. In Abschnitt 9.3 im Anhang sind diese Vergleiche für alle untersuchten Schadstoffe zusammengestellt.

Tabelle 19: Vergleich der gemessenen Schadstoffkonzentrationen (Minima aus der Minimal- und Maxima aus der Maximalbewertung) in den untersuchten Depositions- [$\mu\text{g/l}$] und Feststoffproben [mg/kg TM bzw. $\mu\text{g/kg TM}$]

Parameter	Deposition	Klärschlamm	Klärschlammkompos.	Düngefläche vorher	Düngefläche nachher	Referenzfläche	Gras	Gärrückstand
Einheit	[$\mu\text{g/l}$]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]	[mg/kg TM]
TOC	1.300-23.000	32-33	23-25	0,59-6,3	0,86-6,8	2,8-5,2	-	28-29
Gesamtphosphor	-	28.300-32.200	17.400-21.300	1.300-1.600	1.400-2.000	1.300-1.500	2.700-5.900	5.600-6.600
Gesamtstickstoff	1.300-1.700	4,2-4,2	2,1-2,3	0-0,61	1,6-2,0	0,34-0,53	1,4-4,0	3,3-3,7
AOX	0-100	135-320	83-170	12-34	13-35	21-33	-	110-250
Arsen	-	-	4,4-7,8	16-20	17-27	15-24	2,5-5	2,5-5,0
Blei	0,25-0,32	29-34	30-34	20-44	20-44	22-34	1,3-2,5	13-14
Cadmium	0,012-0,03	0,73-0,99	0,50-0,53	0,11-0,41	0,17-0,44	0,16-0,21	0,10-0,25	0,28-0,31
Chrom	0,17-0,35	110-120	66-72	38-68	39-68	39-63	0,59-1	18-19
Kupfer	3,1-6,7	260-290	140-150	35-50	37-53	29-45	4,1-11	37-44
Molybdän	-	-	5,2-6,8	1,3-3,7	1,7-2,3	1,3-3,1	0,82-5,9	5,4-12
Nickel	0,74-1,3	14-25	24-31	48-77	49-74	42-67	0,87-1,3	19-22
Quecksilber	0,0016-0,0027	0,49-0,55	0,41-0,54	0,072-0,16	0,075-0,16	0,11-0,17	0,027-0,037	0,11
Zink	9,7-16	980-1.000	500-520	84-140	89-150	81-130	18-43	190-230
Einheit	[$\mu\text{g/l}$]	[$\mu\text{g/kg TM}$]						
DEHP	0,14-0,23	1.100-5.200	1.600-1.700	13-29	18-68	24-50	45-95	2.400-3.700
Bisphenol A	0,0050-0,23	820-1.900	24-210	0-4,0	0-2,0	0-2,0	0-4,0	2.200-3.900
Nonylphenole	0,017-0,036	3.800-6.800	540-2.200	0-5,9	2,5-6,4	0-5,0	-	560-1.800
NP1EO	0,010-0,04	72-160	16-86	1,5-3,1	3,5-7,6	2,1-9,2	0-6,0	60-73
NP2EO	0-0,050	2,0-5,6	0-4,1	0-0,50	0,25-1,1	0,25-2,2	0-3,0	2,0-6,4
Summe HBCDD	0-0,0075	25-38	2,5-4,3	0,11-0,38	0,22-0,71	0,35-0,88	0-0,46	0,87-1,19
Summe PBDE	0-0,00030	23-54	9,9-25	0,084-0,43	0,13-0,91	0,14-0,99	0-0,15	2,2-3,5
Summe PAK-16	0,03-0,082	1.800-2.100	690-3.800	48,5-133	40-210	66-280	200-400	250-760
PCB-7	-	26-28	12-13	3,9-7,0	1,6-3,7	4,2-5,9	2,1-7,0	2,1-7,3
Perfluorhexansäure	0-0,00050	0,35-9,8	4,2-12	0,18-0,34	0,19-0,3	0,18-0,33	0-0,14	0,31-3
Perfluorheptansäure	0-0,00050	0-0,52	0,81-2,1	0,13-4,1	0,15-0,28	0,19-0,37	0-0,19	0-0,56
Perfluoroctansäure	0,0012-0,0025	0,68-6	4,4-6,4	0,58-3	0,72-2,5	1,1-5	0-0,48	0,2-2,9
Perfluornonansäure	0,0005-0,0013	0-0,77	0,53-0,93	0,18-0,46	0,19-0,42	0,23-0,65	0-0,18	0-0,41
Perfluordecansäure	0,0005-0,0013	1,1-7,7	1,9-3,4	0,23-0,38	0,31-0,41	0,28-0,88	0-0,080	0,060-1,8
Perfluorundecansäure	0-0,0010	0-2,1	0-0,37	0-0,22	0,11-0,26	0,16-0,35	0-0,095	0-0,81
Perfluordodecansäure	0-0,0010	0,77-2,7	0,44-0,65	0-0,12	0,05-0,15	0,10-0,21	0-0,050	0-0,55

Parameter	Deposition	Klärschlamm	Klärschlammkompos	Düngefläche vorher	Düngefläche nachher	Referenzfläche	Gras	Gärrückstand
Perfluorhexansulfonsäure	0-0,00050	0-0,20	0,10-1,4	0-0,10	0-0,10	0,05-0,14	0-0,15	0-0,10
Perfluorheptansulfonsäure	0-0,00050	0-0,53	0-0,20	0-0,070	0-0,14	0-0,12	0-0,30	0-0,18
Perfluoroctansulfonsäure	0-0,0017	23-30	4,7-18	0,74-37	0,91-26	5,1-49	0-2,2	0,38-2,9
Perfluoroctansulfonamid	0-0,00050	0-0,11	0-0,11	0-1,0	0,28-1,6	0,10-0,94	0-0,11	1,3-2,6
Dibutylzinn-Kation	0-0,00058	70-210	15-22	0-2,3	0-1,3	0,50-1,7	-	19-26
Tributylzinn-Kation	0-0,00010	10-18	1,8-2,4	0-0,50	0-0,50	0-1,0	-	1,1-2,7



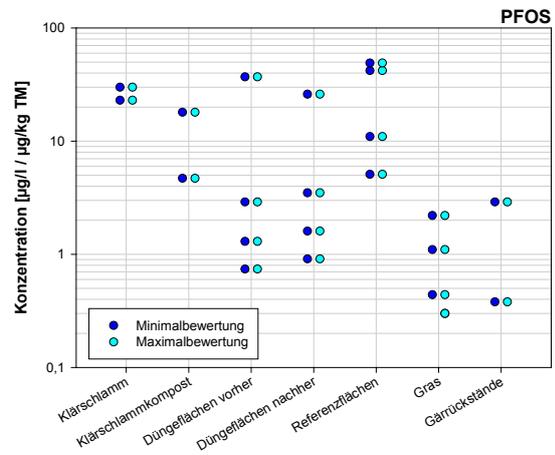
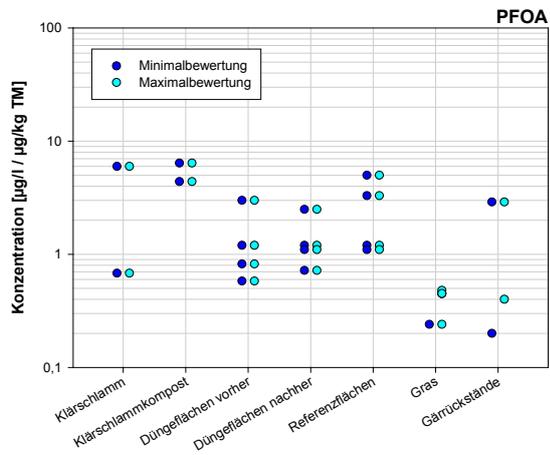
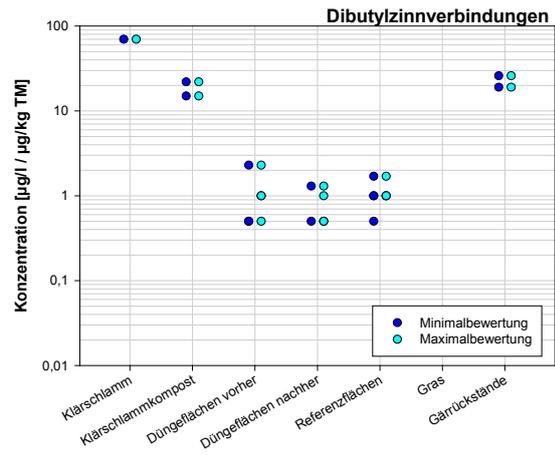
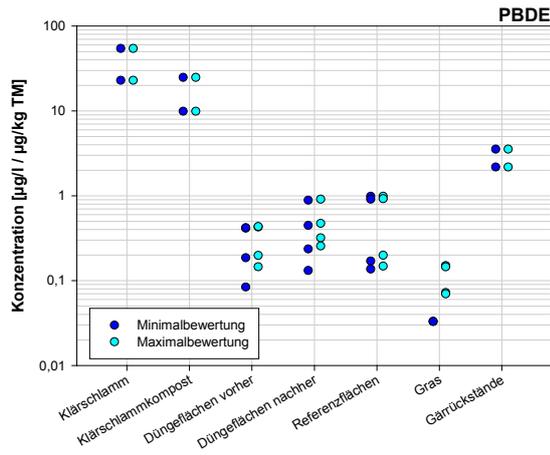


Abbildung 15: Vergleich der gemessenen Konzentrationen ($\mu\text{g/l}$ für die Deposition und mg/kg TM bzw. $\mu\text{g/kg}$ TM für die Feststoffproben) ausgewählter Schadstoffe in den untersuchten Matrices.

8 Referenzen

8.1 Literatur

ATSDR (Agency For Toxic Substances And Disease Registry) (2004). Public Health Statement Copper. <http://www.atsdr.cdc.gov/ToxProfiles/tp132-c1-b.pdf>

BMLFUW (Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft) (2010). Richtlinie für die Anwendung von Kompost aus biogenen Abfällen in der Landwirtschaft. Fachbeirat für Bodenfruchtbarkeit und Bodenschutz beim Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft. Wien, 2010.
https://www.bmlfuw.gv.at/service/publikationen/umwelt/richtlinie_fuer_die_anwendung_von_kompost_aus_biogenen_abfaellen_in_der_landwirtschaft.html.

Bolz, U., Hagenmaier, H., Korner, W. (2001). Phenolic xenoestrogens in surface water, sediments and sewage sludge from Baden-Württemberg, south-west Germany. Environmental Pollution 115, 291-301.

Clara, M., Gans, O., Weiss, S., Sanz-Escribano, D., Scharf, S., Scheffknecht, C. (2009). Perfluorinated alkylated substances in the aquatic environment: An Austrian case study. Water Research 43, 4760-4768.

Clara, M., Windhofer, G., Weilgony, P., Gans, O., Denner, M., Chovanec, A., Zessner, M. (2012). Identification of relevant micropollutants in Austrian municipal wastewater and their behaviour during wastewater treatment. Chemosphere 87, 1265-1272.

Clara, M., Scheffknecht, C., Weiß, S. (2013). Eintrag von Arzneimittelwirkstoffen in die Umwelt. Bericht UBA/UI-02/2013, Amt der Vorarlberger Landesregierung, Umweltinstitut des Landes Vorarlberg, Bregenz. <http://www.vorarlberg.at/pdf/arszneimittel.pdf>.

Clara, M., Ertl, T., Giselbrecht, G., Gruber, G., Hofer, T., Humer, F., Kretschmer, F., Kolla, L., Scheffknecht, C., Weiß, S. und Windhofer, G. (2014a). Spurenstoffemissionen aus Siedlungsgebieten und von Verkehrsflächen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft. Wien, Österreich.
<http://www.bmlfuw.gv.at/publikationen/wasser/abwasser/Spurenstoffemissionen-aus-Siedlungsgebieten-und-von-Verkehrsflaechen.html>

Clara, M., Hochedlinger, G., Weiß, S., Windhofer, G., Hanefeld, W., Scheffknecht, C., Zessner, M., (2014b). Emissionsmodellierung ausgewählter organischer und anorganischer Parameter im Einzugsgebiet der Dornbirner Ach. Projektbericht. Im Auftrag der Vorarlberger Landesregierung, Wien und Bregenz, Juni 2014.
http://www.vorarlberg.at/vorarlberg/umwelt_zukunft/umwelt/umweltundlebensmittel/weitereinformationen/abwasser_abfall_schadstoff/spurenstoffe.htm

Clara, M., Döberl, G., Jahn, L., Lampert, C., Spira, Y., Svardal, K. (2016). Deponiesickerwasser: Untersuchungen zu Zusammenstzung, Abbaubarkeit und Hemmwirkung in biologischen Kläranlagen. Studie im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft und finanziert durch das BMLFUW und alle Bundesländer. Wien, Juni 2016.

Corrales, J., Kristofco, L.A., Steele, W.B., Yates, B.S., Breed, C.S., Williams, E.S., Brooks, B.W. (2015). Global Assessment of Bisphenol A in the Environment. Review and Analysis of Its Occurrence and Bioaccumulation. Dose-Response Int J 2015, 1-29.

Dittrich, B., Klose, R. (2008). Schwermetalle in Düngemitteln: Bestimmung und Bewertung von Schwermetallen in Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen und Kultursubstraten. Schriftenreihe der Sächsischen Landesanstalt für Landwirtschaft, Heft 3/2008. Dresden. <http://www.landwirtschaft.sachsen.de/lfl/>.

EC (Europäische Kommission) (2013). Regulation (EC) No 1907/2006 of the European Parliament and of the Council of 18 December 2006 concerning the Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals (REACH), establishing a European Chemicals Agency, amending Directive 1999/45/EC and repealing Council Regulation (EEC) No 793/93 and Commission Regulation (EC) No 1488/94 as well as Council Directive 76/769/EEC and Commission Directives 91/155/EEC, 93/67/EEC, 93/105/EC and 2000/21/EC.

ECB (Europäisches Chemikalienbüro) (2008a). European Union Risk Assessment Report bis(2-ethylhexyl)phthalate (DEHP). Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg, 2008.

ECB (Europäisches Chemikalienbüro) (2008b). Risk Assessment Hxabromocyclododecane. <http://echa.europa.eu/documents/10162/661bff17-dc0a-4475-9758-40bdd6198f82>

ECB (Europäisches Chemikalienbüro) (2008c). European Union Risk Assessment Report Nickel. Office for Official Publications of the European Communities, Luxemburg, 2008. <http://echa.europa.eu/documents/10162/cefd8bc-2952-4c11-885f-342aacf769b3>

ECHA (Europäische Chemikalienagentur) (2015). Einstufungs- und Kennzeichnungsverzeichnis: Datenbank des C&L-Verzeichnisses. <http://echa.europa.eu/de/information-on-chemicals/cl-inventory-database> (ECHA, 2015).

ECHA (Europäische Chemikalienagentur) (n.b.). TC NES Subgroup on Identification of PBT and vPvB Substances: Results of the Evaluation of the PBT/vPvB properties of Phenol, 4-nonyl-, branched (NP); Nonylphenol. PBT Working Group – PBT List No. 69 and 70. <http://echa.europa.eu/documents/10162/95de3cca-5fb2-4e1f-b4b5-cb495553e465>

EFSA (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit) (2011a). Scientific Opinion on Hexabromocyclododecanes (HBCDDs) in Food. EFSA Journal 9(7):2296, 1-118.

EFSA (Europäische Behörde für Lebensmittelsicherheit) (2011b). Scientific Opinion on Polybrominated Diphenyl Ethers (PBDEs) in Food. EFSA Journal 9(5):2156, 1-274.

Fent, K. (2007). Ökotoxikologie. 3. Auflage, Georg Thieme Verlag, Stuttgart, Deutschland, 2007.

Fiedler, H.J. (2001). Böden und Bodenfunktionen: In Ökosystemen, Landschaften und Ballungsgebieten. Renningen-Malsheim, expert Verlag 2001, S. 196.

Fischer, M. (2011). Langjähriger Einfluss von Bio- und Klärschlammkompost auf Boden, Pflanze und Lebensmittel im Hinblick auf Schwermetalle und Spurenelemente. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur. Universität für Bodenkultur, Wien.
<http://epub.boku.ac.at/obvbkhs/content/pageview/1180337>.

Fountoulakis, M., Drillia, P., Pakou, C., Kampioti, A., Stamatelatou, K., Lyberatos, G. (2005). Analysis of nonylphenol and nonylphenol ethoxylates in sewage sludge by high performance liquid chromatography following microwave-assisted extraction. Journal of Chromatography A 1089, 45-51.

Gomez-Canela, C., Barth, J.A.C., Lacorte S. (2012). Occurrence and fate of perfluorinated compounds in sewage sludge from Spain and Germany. Environmental Science Pollution Research 19, 4109-4119.

Hartmann, C. (2012). Bisphenol A: Environmental Fate and Behaviour, Human Health Effects – Implications for EU-chemical policy. Masterarbeit an der FH Technikum Wien.

JRC (Joint Research Centre) (2012). Tavazzi, S., Locoro, G., Comero, S., Sobiecka, E., Loos, R., Gans, O., Ghiani, M., Umlauf, G., Suurkuusk, G., Paracchini, B., Cristache, C., Fissiaux, I., Ruiz, A.A., Gawlik, B.M. Occurrence and levels of selected compounds in European Sewage Sludge samples. JRC scientific and policy reports. European Union, 2012.

Kupper, T., de Alencastro, L.F., Gatsigazi, R., Furrer, R., Grandjean, D., Tarradellas, I. (2008). Concentrations and specific loads of brominated flame retardants in sewage sludge. Chemosphere 71, 1173-1180.

LfU (2003). Schadstoffe in klärschlammgedüngten Ackerböden Baden-Württembergs. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg. 1. Auflage, Karlsruhe 2003.

LfU (Bayrisches Landesamt für Umwelt) (2007). Schadstoffgehalte von Komposten und Vergärungsrückständen. Bayerisches Landesamt für Umwelt, Augsburg. <http://d-nb.info/987936824/34>.

LfGL (Bayrisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit) (2008). Perfluorierte Tenside (PFT) in Futtermitteln. Bayerisches Landesamt für Gesundheit und Lebensmittelsicherheit. 12.9.2016.

http://www.lgl.bayern.de/tiergesundheit/futtermittel/futtermittelsicherheit/perfluorierte_tenside/.

Offenthaler, I., Bassan, R., Belis, C., Garo-Stach, I., Ganz, S., Iozza, S., Jakobi, G., Kaiser, A., Kirchner, M., Knoth, W., Kräuchi, N., Levy, W., Moche, W., Nurmi-Legat, J., Raccanelli, S., Schramm, K.-W., Schröder, P., Sedivy, I., Simoncic, P., Staudinger, M., Thanner, G., Uhl, U., Vilhar, U. und Weiss, P. (2009). MONARPOP - Monitoring Network in the Alpine Region for Persistent and other Organic Pollutants. Überarbeiteter Bericht, BMLFUW, Juni 2009.

Reutimann, J. (2006). Kupfer- und Zink-Einträge durch Rindvieh- und Schweinefutter in landwirtschaftliche Systeme: Berechnungen mit Fütterungsszenarien. Technik-Semesterarbeit. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.

UBA (Umweltbundesamt Deutschland) (2014). Hexabromcyclododecan (HBCD) Antworten auf häufig gestellte Fragen. Fachgebiet IV 1.1 – Internationales Chemikalienmanagement, Dessau-Roßlau, Deutschland.

UBA (Umweltbundesamt Deutschland) (2015). Metalle.

<http://www.umweltprobenbank.de/de/documents/profiles/analytes/10039>

UNEP (United Nations Environment Programme) (2013). C.N.934.2013.Treaties-XXVII.15 (Depositary Notification) Stockholm convention on persistent organic pollutants. Amendment to Annex A.

UNEP (United Nations Environment Programme) (2014). Listing of POPs in the Stockholm Convention. Secretariat of the Stockholm Convention, Châtelaine, Switzerland.

<http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/ListingofPOPs/tabid/2509/Default.aspx>

UNIDO (United Nations Environment Programme) (2012). Guidance for the inventory of polybrominated diphenyl ethers (PBDEs) listed under the Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants.

http://www.unido.org/fileadmin/user_media/Services/Environmental_Management/Stockholm_Convention/Guidance_Docs/UNEP-POPS-GUID-NIP-2012-PBDEs-Inventory.En.pdf

Umweltbundesamt (n.b.). Fact Sheet Organozinnverbindungen.

http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/leistungen/Umweltanalytik/Fact_SheetOZ_V_01.pdf

Umweltbundesamt (1997). Situation der Verwertung und Entsorgung des kommunalen Klärschlammes in Österreich. Scharf, S., Schneider, S., Zethner, G.: Monographie M-095, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 1997.

Umweltbundesamt (2000). Abwasser- und Klärschlammuntersuchungen in der Pilotkläranlage Entsorgungsbetriebe Simmering (EbS). Hohenblum, P., Sattelberger, R., Scharf, S.: Monographie M-121, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2000.

Umweltbundesamt (2001). Hormonell wirksame Substanzen in Klärschlämmen. Gangl, M., Sattelberger, R., Scharf, S., Kreuzinger, N.: Monographie M-136, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2001.

Umweltbundesamt (2002). Organozinnverbindungen in der aquatischen Umwelt. Sattelberger, R.: Bericht BE-214, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2002.

Umweltbundesamt (2004a). Grundwassergängigkeit und Verhalten von Tensiden und deren Abbauprodukten bei der Klärschlammaufbringung bzw. Klärschlammkompostierung. Gans, O., Scharf, S., Sattelberger, R., Uhl, M., Haberbauer, G., Krenn, A., Jakusch, M., Bursch, W.: Monographie M-166, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2004.

Umweltbundesamt (2004b). Umweltsituation in Österreich - Siebenter Umweltkontrollbericht des Umweltministers an den Nationalrat. Umweltbundesamt GmbH Wien. 2004.

Umweltbundesamt (2008). Organische Schadstoffe in Grünlandböden. Freudenschuß, A., Obersteiner, E., Uhl, M.: Report REP-0158, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2008.

Umweltbundesamt (2009a). RUSCH Ressourcenpotential und Umweltbelastung der Schwermetalle Cadmium, Blei und Quecksilber in Österreich. Reisinger, H., Schöllner, G., Müller, B., Obersteiner, E.: Report REP-0229, Umweltbundesamt GmbH Wien/Klagenfurt, 2009.

Umweltbundesamt (2009b). Emissionen organischer und anorganischer Stoffe aus kommunalen Kläranlagen. Clara, M., Denner, M., Gans, O., Scharf, S., Windhofer, G., Zessner, M.: Report REP-247, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2009

Umweltbundesamt (2009c). Long-term deposition of trace metals at the integrated monitoring site Zöbelboden. Offenthaler, I., Dirnböck, T., Grabner, M.-T., Kobler, J., Mirtl, M., Riemer, S. Report REP-0246. Umweltbundesamt, Wien.

<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0246.pdf>.

Umweltbundesamt (2010). Organische Schadstoffe in Grünlandböden (Teil 3). Freudenschuß, A., Offenthaler, I.: Report REP-0268, Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2010.

Umweltministerium Baden-Württemberg (2007). Perfluorierte Tenside (PFT) im Klärschlamm in Baden-Württemberg. Hintergründe, Ergebnisse, Perspektiven. http://www.baden-wuerttemberg.de/fileadmin/redaktion/dateien/Altdateien/202/Anlage_Klaerschlamm.pdf

8.2 Rechtliche Regelungen

8.2.1 Europäische Regelungen

Richtlinie 86/278/EWG des Rates vom 12. Juni 1986 über den Schutz der Umwelt und insbesondere der Böden bei der Verwendung von Klärschlamm in der Landwirtschaft. ABl. L 181 vom 4.7.1986. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/?uri=celex%3A31986L0278>.

Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik. ABl. L 327 vom 22.12.2000. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02000L0060-20141120&qid=1462537160559&from=EN>.

Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 29. April 2004 über persistente organische Schadstoffe. ABl. L 158 vom 30.4.2004. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02004R0850-20160322&qid=1462536004676&from=EN>.

Richtlinie 2008/105/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 2008 über Umweltqualitätsnormen im Bereich der Wasserpolitik. ABl. L 348 vom 24.12.2008. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:02008L0105-20130913&qid=1462537052609&from=EN>.

Kosmetik-Verordnung. Verordnung (EG) Nr. 1223/2009 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 30. November 2009 über kosmetische Mittel. Amtsblatt L 342 vom 22.12.2009. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:342:0059:0209:de:PDF>.

Verordnung (EU) 2016/460 der Kommission vom 30. März 2016 zur Änderung der Anhänge IV und V der Verordnung (EG) Nr. 850/2004 des Europäischen Parlaments und des Rates über persistente organische Schadstoffe. Amtsblatt L 80 vom 31.3.2016. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R0460&from=DE>.

REACH-Verordnung. Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 18. Dezember 2006 zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH), zur Schaffung einer Europäischen Agentur für chemische Stoffe, zur Änderung der Richtlinie 1999/45/EG und zur Aufhebung der Verordnung (EWG) Nr. 793/93 des Rates, der Verordnung (EG) Nr. 1488/94 der Kommission, der Richtlinie 76/769/EWG des Rates sowie der der Richtlinien 91/155/EWG, 93/67/EWG, 93/105/EG und 2000/21/EG der Kommission. Amtsblatt L 136 vom 29.5.2007. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2007:136:0003:0280:de:PDF>.

Verordnung (EG) Nr. 552/2009 der Kommission vom 22. Juni 2009 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH)

hinsichtlich Anhang XVII. Amtsblatt L 164 vom 26.6.2009. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:164:0007:0031:de:PDF>.

Verordnung (EU) Nr. 276/2010 der Kommission vom 31. März 2010 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) in Bezug auf Anhang XVII (Dichlormethan, Lampenöle und flüssige Grillanzünder sowie zinnorganische Verbindungen). Amtsblatt L 86 vom 1.4.2010. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32010R0276&from=DE>.

Verordnung (EU) Nr. 836/2012 der Kommission vom 18. September 2012 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich Blei. Amtsblatt L 252 vom 19.9.2012. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012R0836&from=de>.

Verordnung (EU) Nr. 847/2012 der Kommission vom 19. September 2012 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich Quecksilber. Amtsblatt L 253 vom 20.9.2012. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:253:0001:0004:DE:PDF>.

Verordnung (EU) Nr. 1272/2013 der Kommission vom 6. Dezember 2013 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich polyzyklischer aromatischer Kohlenwasserstoffe. Amtsblatt L 328 vom 7.12.2013. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2013:328:0069:0071:DE:PDF>.

Verordnung (EU) Nr. 317/2014 der Kommission vom 27. März 2014 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) in Bezug auf Anhang XVII (CMR-Stoffe). Amtsblatt L 93 vom 28.3.2014. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32014R0317&from=de>.

Verordnung (EU) 2015/628 der Kommission vom 22. April 2015 zur Änderung von Anhang XVII der Verordnung (EG) Nr. 1907/2006 des Europäischen Parlaments und des Rates zur Registrierung, Bewertung, Zulassung und Beschränkung chemischer Stoffe (REACH) hinsichtlich Blei und seiner Verbindungen. Amtsblatt L 104 vom 23.4.2015. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R0628&from=DE>.

Verordnung (EU) Nr. 10/2011 der Kommission vom 14. Januar 2011 über Materialien und Gegenstände aus Kunststoff, die dazu bestimmt sind, mit Lebensmitteln in Berührung zu kommen. Amtsblatt L 12 vom 15.1.2011. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:012:0001:0089:DE:PDF>.

Richtlinie 2011/8/EU der Kommission vom 28. Januar 2011 zur Änderung der Richtlinie 2002/72/EG hinsichtlich der Beschränkung der Verwendung von Bisphenol A in

Säuglingsflaschen aus Kunststoff. Amtsblatt L 26 vom 29.1.2011. <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:026:0011:0014:DE:PDF>.

Verordnung (EU) 2016/1179 der Kommission vom 19. Juli 2016 zur Änderung der Verordnung (EG) Nr. 1272/2008 des Europäischen Parlaments und des Rates über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung von Stoffen und Gemischen zwecks Anpassung an den technischen und wissenschaftlichen Fortschritt. Amtsblatt L 195 vom 20.7.2016. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/DE/TXT/PDF/?uri=CELEX:32016R1179&from=DE>

8.2.2 Österreichische Regelungen

Bundesgesetz vom 3. Juli 1975, mit dem das Forstwesen geregelt wird (Forstgesetz 1975). BGBl. Nr. 440/1975 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/>.

Bundesgesetz über den Verkehr mit Düngemitteln, Bodenhilfsstoffen, Kultursubstraten und Pflanzenhilfsmitteln (Düngemittelgesetz 1994 - DMG 1994). BGBl. Nr. 513/1994 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/>.

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Qualitätsanforderungen an Komposte aus Abfällen (Kompostverordnung). BGBl. II Nr. 292/2001 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/>.

Bundesgesetz über eine nachhaltige Abfallwirtschaft (Abfallwirtschaftsgesetz 2002 - AWG 2002). BGBl. I Nr. 102/2002 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/>.

Chemikalien-Verbotsverordnung 2003. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über weitere Verbote und Beschränkungen bestimmter gefährlicher Stoffe, Zubereitungen und Fertigwaren (Chem-VerbotsV 2003). BGBl. II Nr. 477/2003 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/>.

Düngemittelverordnung 2004. Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, mit der Bestimmungen zur Durchführung des Düngemittelgesetzes 1994 erlassen werden. BGBl. II Nr. 100/2004 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/>.

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (DVO 2008). BGBl. II Nr. 39/2008 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/>.

Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über das Aktionsprogramm 2012 zum Schutz der Gewässer vor Verunreinigung durch Nitrat aus landwirtschaftlichen Quellen (Aktionsprogramm Nitrat 2012). https://www.bmlfuw.gv.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserrecht_national/recht_gewaesserschutz/APNitrat2012.html.

Burgenländisches Bodenschutzgesetz. Gesetz über den Schutz landwirtschaftlicher Böden. LGBl. Nr. 87/1990 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/>.

Burgenländische Klärschlamm- und Müllkompostverordnung. Verordnung der Burgenländischen Landesregierung über die Aufbringung von Klärschlamm und Müllkompost auf landwirtschaftlichen Böden. LGBl. Nr. 82/1991 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/>.

Kärntner Klärschlamm- und Kompostverordnung. Verordnung der Kärntner Landesregierung über die Aufbringung von behandeltem Klärschlamm, Bioabfall und Grünabfall auf landwirtschaftlich genutzte Böden. LGBl. Nr. 74/2000 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Niederösterreichisches Bodenschutzgesetz. Gesetz über den Schutz landwirtschaftlicher Böden. LGBl. Nr. 58/1988 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Niederösterreichische Klärschlammverordnung. Verordnung der Niederösterreichischen Landesregierung über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftliche Böden. LGBl. Nr. 80/1994 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Oberösterreichische Bodengrenzwerteverordnung. Verordnung der Oberösterreichischen Landesregierung betreffend Bodengrenzwerte. LGBl. Nr. 50/2006 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Oberösterreichisches Bodenschutzgesetz. Landesgesetz über die Erhaltung und den Schutz des Bodens vor schädlichen Einflüssen sowie über die Verwendung von Pflanzenschutzmitteln. LGBl. Nr. 115/1991 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Oberösterreichische Klärschlammverordnung. Verordnung der Oberösterreichischen Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm auf Böden. LGBl. Nr. 62/2006. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Salzburger Bodenschutzgesetz. Gesetz zum Schutz der Böden vor schädlichen Einflüssen. LGBl. Nr. 80/2001. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Salzburger Klärschlamm-Bodenschutzverordnung. Verordnung der Salzburger Landesregierung zum Schutz des Bodens bei der Verwendung von Klärschlamm und klärschlammhaltigen Materialien. LGBl. Nr. 85/2002. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Steiermärkische Klärschlammverordnung. Verordnung der Steiermärkischen Landesregierung über die Aufbringung von Klärschlamm auf landwirtschaftlichen Böden. LGBl. Nr. 89/1987 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Steiermärkisches landwirtschaftliches Bodenschutzgesetz. Gesetz zum Schutz landwirtschaftlicher Böden. LGBl. Nr. 66/1987 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Tiroler Feldschutzgesetz. Gesetz vom 5. Juli 2000 über den Schutz des Feldgutes und die Ausbringung von Klärschlamm. LGBl. Nr. 58/2000 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Vorarlberger Klärschlammgesetz. Gesetz über die Ausbringung von Klärschlamm. LGBl. Nr. 41/1985 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Vorarlberger Klärschlammverordnung. Verordnung der Vorarlberger Landesregierung über die Ausbringung von Klärschlamm. LGBl. Nr. 75/1997 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

Wiener Klärschlammgesetz. Gesetz über das Verbot der Ausbringung von Klärschlamm. LGBl.
Nr. 08/2000 idgF. <https://www.ris.bka.gv.at/Land/>.

9 Anhang

9.1 Anhang 1: Gefahrenklassen und Gefahrenhinweise

9.1.1 Übersicht über die Gefahrenklassen nach CLP-Verordnung

Physikalische Gefahren	1. Gefahrenklasse	Explosive Stoffe/Gemische und Erzeugnisse mit Explosivstoff.
	2. Gefahrenklasse	Entzündbare Gase
	3. Gefahrenklasse	Entzündbare Aerosole
	4. Gefahrenklasse	Entzündend (oxidierend) wirkende Gase
	5. Gefahrenklasse	Unter Druck stehende Gase
	6. Gefahrenklasse	Entzündbare Flüssigkeiten
	7. Gefahrenklasse	Entzündbare Feststoffe
	8. Gefahrenklasse	Selbsterzetzliche Stoffe oder Gemische
	9. Gefahrenklasse	Selbstentzündliche (pyrophore) Flüssigkeiten
	10. Gefahrenklasse	Selbstentzündliche (pyrophore) Feststoffe
	11. Gefahrenklasse	Selbsterhitzungsfähige Stoffe oder Gemische
	12. Gefahrenklasse	Stoffe oder Gemische, die in Berührung mit Wasser entzündbare Gase entwickeln
	13. Gefahrenklasse	Entzündend (oxidierend) wirkende Flüssigkeiten
	14. Gefahrenklasse	Entzündend (oxidierend) wirkende Feststoffe
	15. Gefahrenklasse	Organische Peroxide
	Gesundheitsgefahren	16. Gefahrenklasse
17. Gefahrenklasse		akute Toxizität (oral, dermal, inhalativ)
18. Gefahrenklasse		Ätzung/Reizung der Haut
19. Gefahrenklasse		Schwere Augenschädigung/Augenreizung
20. Gefahrenklasse		Sensibilisierung von Atemwegen oder der Haut
21. Gefahrenklasse		Keimzell-Mutagenität
22. Gefahrenklasse		Karzinogenität
23. Gefahrenklasse		Reproduktionstoxizität
24. Gefahrenklasse		Spezifische Zielorgan-Toxizität (einmalige Exposition)
25. Gefahrenklasse		Zielorgan-Toxizität (wiederholte Exposition)
Umweltgefahren	26. Gefahrenklasse	Aspirationsgefahr
Zusätzlich	27. Gefahrenklasse	Gewässergefährdend
Zusätzlich	28. Gefahrenklasse	Ozonschichtschädigung

9.1.2 Gefahrenhinweise (H-Sätze) für Gesundheits- und Umweltgefahren

Gesundheitsgefahren	
H300	Lebensgefahr bei Verschlucken.
H301	Giftig bei Verschlucken.
H302	Gesundheitsschädlich bei Verschlucken.
H304	Kann bei Verschlucken und Eindringen in die Atemwege tödlich sein.
H310	Lebensgefahr bei Hautkontakt.
H311	Giftig bei Hautkontakt.
H312	Gesundheitsschädlich bei Hautkontakt.
H314	Verursacht schwere Verätzungen der Haut und schwere Augenschäden.
H315	Verursacht Hautreizungen.
H317	Kann allergische Hautreaktionen verursachen.
H318	Verursacht schwere Augenschäden.
H319	Verursacht schwere Augenreizung.
H330	Lebensgefahr bei Einatmen.
H331	Giftig bei Einatmen.
H332	Gesundheitsschädlich bei Einatmen.
H334	Kann bei Einatmen Allergie, asthmaartige Symptome oder Atembeschwerden verursachen.
H335	Kann die Atemwege reizen.
H336	Kann Schläfrigkeit und Benommenheit verursachen.
H340	Kann genetische Defekte verursachen (Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
H341	Kann vermutlich genetische Defekte verursachen (Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
H350	Kann Krebs erzeugen (Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
H350i	Kann bei Einatmen Krebs erzeugen.
H351	Kann vermutlich Krebs erzeugen (Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
H360	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen (konkrete Wirkung angeben, sofern bekannt) (Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass die Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
H360F	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H360D	Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
H360FD	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann das Kind im Mutterleib schädigen.
H360Fd	Kann die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H360Df	Kann das Kind im Mutterleib schädigen. Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H361	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen oder das Kind im Mutterleib schädigen (konkrete Wirkung angeben, sofern bekannt) (Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass die Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
H361f	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen.
H361d	Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H361fd	Kann vermutlich die Fruchtbarkeit beeinträchtigen. Kann vermutlich das Kind im Mutterleib schädigen.
H362	Kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen.
H370	Schädigt die Organe (oder alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt) (Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).

Gesundheitsgefahren	
H371	Kann die Organe schädigen (oder alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt) (Expositionsweg angeben, sofern schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
H372	Schädigt die Organe (alle betroffenen Organe nennen) bei längerer oder wiederholter Exposition (Expositionsweg angeben, wenn schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
H373	Kann die Organe schädigen (alle betroffenen Organe nennen, sofern bekannt) bei längerer oder wiederholter Exposition (Expositionsweg angeben, wenn schlüssig belegt ist, dass diese Gefahr bei keinem anderen Expositionsweg besteht).
Umweltgefahren	
H400	Sehr giftig für Wasserorganismen.
H410	Sehr giftig für Wasserorganismen mit langfristiger Wirkung.
H411	Giftig für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.
H412	Schädlich für Wasserorganismen, mit langfristiger Wirkung.
H413	Kann für Wasserorganismen schädlich sein, mit langfristiger Wirkung.

9.2 Anhang 2: Analyseergebnisse

9.2.1 Deposition

Parameter	Einheit			Dep_UI	Dep_BR1_Ref	Dep_BR2_Ref
		BG	NG	00008902016-1	00009002016-1	00009002016-2
				1512 07498	1512 07499	1512 07500
TOC	µg/l	-	-	1.300	23.000	2.000
N	µg/l	-	-	1.300	1.700	1.600
AOX	µg/l	100		<BG	<BG	<BG
Cadmium	µg/l	0,01	0,002	0,014	0,030	0,012
Chrom	µg/l	0,1	0,06	0,17	0,31	0,35
Kupfer	µg/l	1	0,04	6,7	6,6	3,1
Quecksilber	µg/l	0,001	0,0005	0,002	0,0027	0,0016
Nickel	µg/l	0,1	0,006	0,74	1,3	0,85
Blei	µg/l	0,1	0,02	0,32	0,25	0,27
Zink	µg/l	1	0,08	16	15	9,7
Acenaphthen	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Anthracen	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Benzo(a)anthracen	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Benzo(a)pyren	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Benzo(b)fluoranthren	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Benzo(g,h,i)perylen	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Benzo(k)fluoranthren	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Chrysen	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Dibenzo(a,h)anthracen	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Fluoranthren	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Fluoren	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Naphthalin	µg/l	0,005	0,002	0,012	0,010	<BG
Phenanthren	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
Pyren	µg/l	0,005	0,002	<BG	<BG	<BG
alpha-HBCDD	µg/l	0,005	0,0025	n.n.	n.n.	n.n.
beta-HBCDD	µg/l	0,005	0,0025	n.n.	n.n.	n.n.
gamma-HBCDD	µg/l	0,005	0,0025	n.n.	n.n.	n.n.
BDE 28	µg/l	0,000018	0,000009	n.n.	<BG	n.n.
BDE 47	µg/l	0,00018	0,00009	n.n.	n.n.	n.n.
BDE 99	µg/l	0,00017	0,000086	n.n.	n.n.	n.n.
BDE 100	µg/l	0,000038	0,000019	n.n.	n.n.	n.n.
BDE 153	µg/l	0,000051	0,000025	<BG	n.n.	n.n.
BDE 154	µg/l	0,00004	0,00002	<BG	n.n.	n.n.
Bisphenol A	µg/l	0,01	0,005	<BG	0,19	0,23
Nonylphenole	µg/l	0,012	0,006	0,022	0,036	0,017
NP1EO	µg/l	0,02	0,01	<BG	0,040	<BG
NP2EO	µg/l	0,05	0,025	<BG	<BG	n.n.
DEHP	µg/l	0,05	0,025	0,23	0,21	0,14
Dibutylzinnverbindungen	µg/l	0,0002	0,0001	0,00058	<BG	n.n.
Diphenylzinnverbindungen	µg/l	0,0002	0,0001	n.n.	n.n.	n.n.
Tetrabutylzinnverbindungen	µg/l	0,0002	0,0001	n.n.	n.n.	n.n.
Tributylzinnverbindungen	µg/l	0,0002	0,0001	n.n.	n.n.	n.n.
Triphenylzinnverbindungen	µg/l	0,0002	0,0001	n.n.	n.n.	n.n.
Perfluorhexansäure	µg/l	0,001	0,0005	n.n.	n.n.	n.n.
Perfluorheptansäure	µg/l	0,001	0,0005	n.n.	n.n.	n.n.
Perfluoroctansäure	µg/l	0,001	0,0005	0,0021	0,0012	0,0025
Perfluorononansäure	µg/l	0,001	0,0005	0,0013	0,0010	<BG
Perfluordecansäure	µg/l	0,001	0,0005	0,0013	<BG	0,0010
Perfluorundecansäure	µg/l	0,001	0,0005	<BG	n.n.	n.n.
Perfluordodecansäure	µg/l	0,001	0,0005	<BG	n.n.	n.n.
Perfluorhexansulfonsäure	µg/l	0,001	0,0005	n.n.	n.n.	n.n.
Perfluorheptansulfonsäure	µg/l	0,001	0,0005	n.n.	n.n.	n.n.
Perfluoroctansulfonsäure	µg/l	0,001	0,0005	n.n.	0,0017	<BG
Perfluordecansulfonsäure	µg/l	0,001	0,0005	n.n.	n.n.	n.n.
Perfluoroctansulfonamid	µg/l	0,001	0,0005	n.n.	n.n.	n.n.
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/l	0,001	0,0005	n.n.	n.n.	n.n.

9.2.2 Klärschlamm

Parameter	Einheit			KS ARA Bregenz	KS ARA Hofsteig
		BG	NG	00032502015_1	00022212015_1
TR	Gew%	-	-	23,8	26,3
GR	Gew%	-	-	40,9	39,1
TOC	Gew%	-	-	32	33
Gesamtphosphor	mg/kg TM	-	-	32.200	28.300
Gesamtstickstoff	Gew%	-	-	4,2	4,2
AOX	mg/kg TM	-	-	135	320
Blei	mg/kg TM	-	-	29	34
Cadmium	mg/kg TM	-	-	0,73	0,99
Chrom	mg/kg TM	-	-	110	120
Kupfer	mg/kg TM	-	-	260	290
Nickel	mg/kg TM	-	-	14	25
Quecksilber	mg/kg TM	-	-	0,49	0,55
Zink	mg/kg TM	-	-	1.000	980
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	70	210
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	n.n.	n.n.
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	1	0,5	n.n.	n.n.
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	10	18
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	n.n.	n.n.
DEHP	µg/kg TM	10	5	5.200	1.100
Bisphenol A	µg/kg TM	10	5	820	1.900
Nonylphenole	µg/kg TM	20	10	3.800	6.800
NP1EO	µg/kg TM	8	4	160	72
NP2EO	µg/kg TM	4	2	5,6	<BG
alpha-HBCDD	µg/kg TM	1	0,5	6,1	11
beta-HBCDD	µg/kg TM	0,5	0,25	1,9	3,2
gamma-HBCDD	µg/kg TM	0,5	0,25	17	24
BDE 100	µg/kg TM	0,024	0,00022-0,00049	2,4	5,6
BDE 153	µg/kg TM	0,013	0,00029-0,0004	1,1	2
BDE 154	µg/kg TM	0,0062	0,00028-0,00042	0,7	1,6
BDE 28	µg/kg TM	0,014	0,00013	0,16	0,29
BDE 47	µg/kg TM	0,12	0,00016-0,00022	8,9	23
BDE 99	µg/kg TM	0,078	0,00035-0,00049	9,7	22
Acenaphthen	µg/kg TM	25	12,5	<BG	35
Acenaphthylen	µg/kg TM	25	12,5	<BG	64
Anthracen	µg/kg TM	25	12,5	110	54
Benzo(a)anthracen	µg/kg TM	25	12,5	66	100
Benzo(a)pyren	µg/kg TM	25	12,5	56	77
Benzo(b)fluoranthen	µg/kg TM	25	12,5	78	97
Benzo(g,h,i)perylen	µg/kg TM	25	12,5	74	74
Benzo(k)fluoranthen	µg/kg TM	25	12,5	34	43
Chrysen	µg/kg TM	25	12,5	210	210
Dibenzo(a,h)anthracen	µg/kg TM	25	12,5	<BG	<BG
Fluoranthen	µg/kg TM	25	12,5	200	310
Fluoren	µg/kg TM	25	12,5	37	160
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/kg TM	25	12,5	35	56
Naphthalin	µg/kg TM	25	12,5	420	<BG
Phenantren	µg/kg TM	25	12,5	230	450
Pyren	µg/kg TM	25	12,5	200	310
PCB101	µg/kg TM	0,5	0,2	2,1	2,4
PCB118	µg/kg TM	0,5	0,2	1,6	1,6
PCB138	µg/kg TM	0,5	0,2	7,9	8,2
PCB153	µg/kg TM	0,5	0,2	7,4	8
PCB180	µg/kg TM	0,5	0,2	5	5,5
PCB28	µg/kg TM	0,5	0,2	0,75	1
PCB52	µg/kg TM	0,5	0,2	0,95	1,4
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,2	0,1	0,35	9,8
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0,4	0,2	n.n.	0,52
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	0,6	0,3	0,68	6
Perfluorononansäure	µg/kg TM	0,5	0,25	n.n.	0,77
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,15	0,075	1,1	7,7
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,15	0,075	n.n.	2,1
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,1	0,05	0,77	2,7
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0,2	0,1	n.n.	<BG
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0,4	0,2	n.n.	0,53

Parameter	Einheit			KS ARA Bregenz	KS ARA Hofsteig
		BG	NG	00032502015_1	00022212015_1
Perfluorooctansulfonsäure	µg/kg TM	0,5	0,25	23	30
Perfluorodecansulfonsäure	µg/kg TM	0,32	0,16	n.n.	<BG
Perfluorooctansulfonamid	µg/kg TM	0,64	0,32	n.n.	n.n.
N-Ethyl-Perfluorooctansulfonamid	µg/kg TM	0,22	0,11	n.n.	n.n.

9.2.3 Klärschlammkompost

Parameter	Einheit			Klärschlammkompost	Klärschlammkompost
		BG	NG	ARA Bregenz	Fa. Häusle
				00062402015_1	00046802015-1
TR	Gew%	-	-	1505 03338	1505 03339
GR	Gew%	-	-	40	58
pH-H2O	[-]	-	-	67	60
TOC	Gew%	-	-	7,5	7,7
Gesamtphosphor	mg/kg TM	-	-	25	23
Gesamtstickstoff	Gew%	-	-	21.300	17.400
Calcium	mg/kg TM	-	-	2,1	2,3
Kalium	mg/kg TM	-	-	55.000	51.000
Magnesium	mg/kg TM	-	-	7.400	7.100
Natrium	mg/kg TM	-	-	5.700	7.500
AOX	mg/kg TM	-	-	840	910
Aluminium	mg/kg TM	-	-	83	170
Arsen	mg/kg TM	-	-	6.300	8.300
Blei	mg/kg TM	-	-	4,4	7,8
Cadmium	mg/kg TM	-	-	30	34
Chrom	mg/kg TM	-	-	0,53	0,5
Eisen	mg/kg TM	-	-	66	72
Kobalt	mg/kg TM	-	-	50.000	40.000
Kupfer	mg/kg TM	-	-	6,4	6,2
Mangan	mg/kg TM	-	-	140	150
Molybdän	mg/kg TM	-	-	340	490
Nickel	mg/kg TM	-	-	6,8	5,2
Quecksilber	mg/kg TM	-	-	24	31
Vanadium	mg/kg TM	-	-	0,41	0,54
Zink	mg/kg TM	-	-	16	45
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	520	500
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	15	22
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	1	0,5	n.n.	n.n.
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	n.n.	n.n.
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	n.n.	n.n.
DEHP	µg/kg TM	10	5	1.600	1.700
Bisphenol A	µg/kg TM	10	5	24	210
Nonylphenole	µg/kg TM	20	10	540	2.200
NP1EO	µg/kg TM	8	4	16	86
NP2EO	µg/kg TM	4	2	n.n.	4,1
alpha-HBCDD	µg/kg TM	0,3	0,15	1,5	0,83
beta-HBCDD	µg/kg TM	0,07	0,035	0,3	0,17
gamma-HBCDD	µg/kg TM	0,05	0,025	2,5	1,5
BDE 100	µg/kg TM	0,0092	0,0046	0,74	2,2
BDE 153	µg/kg TM	0,027	0,013	0,45	1,1
BDE 154	µg/kg TM	0,0053	0,0026	0,35	0,88
BDE 28	µg/kg TM	0,0028	0,0014	0,058	0,15
BDE 47	µg/kg TM	0,072	0,036	4,3	9,5
BDE 99	µg/kg TM	0,042	0,021	4	11
Acenaphthen	µg/kg TM	10	5	<BG	100
Acenaphthylen	µg/kg TM	10	5	<BG	180
Anthracen	µg/kg TM	10	5	<BG	<BG
Benzo(a)anthracen	µg/kg TM	10	5	53	160
Benzo(a)pyren	µg/kg TM	10	5	63	54
Benzo(b)fluoranthen	µg/kg TM	10	5	82	97
Benzo(g,h,i)perylene	µg/kg TM	10	5	62	60
Benzo(k)fluoranthen	µg/kg TM	10	5	38	44
Chrysen	µg/kg TM	10	5	49	310
Dibenzo(a,h)anthracen	µg/kg TM	10	5	<BG	<BG

Parameter	Einheit			Klärschlammkompost	Klärschlammkompost
				ARA Bregenz	Fa. Häusle
				00062402015_1	00046802015-1
		BG	NG	1505 03338	1505 03339
Fluoranthren	µg/kg TM	10	5	130	<BG
Fluoren	µg/kg TM	10	5	<BG	200
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/kg TM	10	5	41	35
Naphthalin	µg/kg TM	10	5	<BG	92
Phenanthren	µg/kg TM	10	5	50	1.200
Pyren	µg/kg TM	10	5	90	1.200
PCB101	µg/kg TM	0,5	0,2	0,93	1,1
PCB118	µg/kg TM	0,5	0,2	0,81	0,75
PCB138	µg/kg TM	0,5	0,2	3,8	3,7
PCB153	µg/kg TM	0,5	0,2	3,6	3,7
PCB180	µg/kg TM	0,5	0,2	2,6	2,6
PCB28	µg/kg TM	0,5	0,2	<BG	<BG
PCB52	µg/kg TM	0,5	0,2	<BG	<BG
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,12	0,06	4,2	12
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0,14	0,07	2,1	0,81
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	0,32	0,16	6,4	4,4
Perfluorononansäure	µg/kg TM	0,2	0,1	0,93	0,53
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,1	0,05	3,4	1,9
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,1	0,05	n.n.	0,37
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,11	0,055	0,65	0,44
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0,2	0,1	1,4	<BG
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0,4	0,2	n.n.	n.n.
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	0,5	0,25	18	4,7
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0,32	0,16	n.n.	n.n.
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,64	0,32	n.n.	n.n.
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,22	0,11	n.n.	n.n.

9.2.4 Boden – Referenzflächen

Referenzflächen	Einheit	Bregenz_REF_1	Bregenz_REF_2	Häusle_REF_1	Häusle_REF_2	Mittelwert	Minimum	Maximum
TR	Gew%	69	60	68	66	66	60	69
GR	Gew%	92	88	90	90	90	88	92
pH-H2O	[-]	7,7	7,7	7,7	7,8	7,7	7,7	7,8
TOC	Gew%	2,8	5,2	4,4	3,6	4	2,8	5,2
Gesamtphosphor	mg/kg TM	1400	1300	1.300	1.500	1.400	1.300	1.500
Gesamtstickstoff	Gew%	0,34	0,5	0,53	0,39	0,44	0,34	0,53
Calcium	mg/kg TM	49.000	18.000	52.000	43.000	40.500	18.000	52.000
Kalium	mg/kg TM	1.800	2.000	2.200	1.600	1.900	1.600	2.200
Magnesium	mg/kg TM	12.000	11.000	13.000	13.000	12.250	11.000	13.000
Natrium	mg/kg TM	220	240	260	220	240	220	260
AOX	mg/kg TM	25	33	26	21	26	21	33
Aluminium	mg/kg TM	12.000	19.000	16.000	14.000	15.250	12.000	19.000
Arsen	mg/kg TM	15	24	22	16	19	15	24
Blei	mg/kg TM	22	33	31	34	30	22	34
Cadmium	mg/kg TM	0,16	0,21	0,21	0,18	0,19	0,16	0,21
Chrom	mg/kg TM	39	63	51	48	50	39	63
Eisen	mg/kg TM	22.000	32.000	29.000	26.000	27.000	22.000	32.000
Kobalt	mg/kg TM	10	16	16	13	14	10	16
Kupfer	mg/kg TM	29	45	42	41	39	29	45
Mangan	mg/kg TM	660	740	870	690	740	660	870
Molybdän	mg/kg TM	1,3-2,5	3,1	1,3-2,6	1,3-2,5	1,8-2,7	1,3	3,1
Nickel	mg/kg TM	42	67	59	54	56	42	67
Quecksilber	mg/kg TM	0,11	0,16	0,14	0,17	0,14	0,11	0,17
Vanadium	mg/kg TM	27	37	30	25	30	25	37
Zink	mg/kg TM	81	130	110	120	110	81	130
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	0,5-1	1,7	1	1	1,1-1,2	0,5	1,7
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	0-0,5	0-0,5	-	0	0,5
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	0-0,5	0-0,5	-	0	0,5
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	0,5-1	0-0,5	-	0	0,5
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,5	0-0,5	0-0,5	-	0	0,5
DEHP	µg/kg TM	36	50	24	24	33,5	24	50
Bisphenol A	µg/kg TM	0-2	0-2	0-2	0-2	-	0	2
Nonylphenole	µg/kg TM	0-2,5	2,5-5	0-2,5	0-2,5	-	0	2,5
NP1EO	µg/kg TM	2,5	9,2	2,1	2,6	4,1	2,1	9,2
NP2EO	µg/kg TM	0,56	2,2	0,25-0,5	0,25-0,5	0,82-0,94	0,25	2,2
alpha-HBCDD	µg/kg TM	0,51	0,22	0,16	0,18	0,27	0,16	0,51
beta-HBCDD	µg/kg TM	0,098	0,058	0,064	0,025-0,05	0,061-0,068	0,025	0,098
gamma-HBCDD	µg/kg TM	0,27	0,15	0,36	0,14	0,23	0,14	0,36
Summe HBCDD	µg/kg TM	0,88	0,43	0,58	0,35-0,37	0,56-0,57	0,35	0,88
BDE 100	µg/kg TM	0,023	0,14	0,029	0,092	0,071	0,023	0,14
BDE 153	µg/kg TM	0-0,0098	0,032	0,047	0,011-0,023	0,023-0,028	0	0,047

Referenzflächen	Einheit	Bregenz_REF_1	Bregenz_REF_2	Häusle_REF_1	Häusle_REF_2	Mittelwert	Minimum	Maximum
BDE 154	µg/kg TM	0,013	0,072	0,028	0,037	0,038	0,013	0,072
BDE 28	µg/kg TM	0-0,001	0,002	0-0,0011	0,0012-0,0024	0,0008-0,0016	0	0,0024
BDE 47	µg/kg TM	0,057	0,42	0,027-0,055	0,40	0,23	0,027	0,42
BDE 99	µg/kg TM	0,044	0,32	0,039	0,37	0,19	0,039	0,37
Summe PBDE	µg/kg TM	0,14-0,15	0,99	0,17-0,20	0,91-0,92	0,55-0,56	0,14	0,99
Acenaphthen	µg/kg TM	2,5-5	2,5-5	2,5-5	2,5-5	-	2,5	5
Acenaphthylen	µg/kg TM	2,5-5	2,5-5	2,5-5	2,5-5	-	2,5	5
Anthracen	µg/kg TM	2,5-5	2,5-5	2,5-5	2,5-5	-	2,5	5
Benzo(a)anthracen	µg/kg TM	6	6	2,5-5	21	8,9-9,5	2,5	21
Benzo(a)pyren	µg/kg TM	7	7	2,5-5	29	11-12	2,5	29
Benzo(b)fluoranthen	µg/kg TM	9	11	8	36	16	8	36
Benzo(g,h,i)perylen	µg/kg TM	8	9	2,5-5	32	13-14	2,5	32
Benzo(k)fluoranthen	µg/kg TM	2,5-5	2,5-5	2,5-5	15	5,6-7,5	2,5	15
Chrysen	µg/kg TM	8	7	9	22	12	7	22
Dibenzo(a,h)anthracen	µg/kg TM	2,5-5	2,5-5	2,5-5	2,5-5	-	2,5	5
Fluoranthen	µg/kg TM	14	13	10	36	18	10	36
Fluoren	µg/kg TM	2,5-5	2,5-5	2,5-5	2,5-5	-	2,5	5
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/kg TM	2,5-5	5	2,5-5	22	8-9	2,5	22
Naphthalin	µg/kg TM	2,5-5	2,5-5	2,5-5	2,5-5	-	2,5	5
Phenantren	µg/kg TM	2,5-5	2,5-5	2,5-5	9	4,1-6,0	2,5	9
Pyren	µg/kg TM	12	11	9	31	16	9	31
Summe PAK-16	µg/kg TM	87-110	89-110	66-96	268-283	110-150	66	283
PCB101	µg/kg TM	0,1-0,25	0,54	0,49	0,42	0,39-0,43	0,10	0,54
PCB118	µg/kg TM	0,1-0,25	0,4	0,1-0,25	0,31	0,23-0,30	0,10	0,4
PCB138	µg/kg TM	1,6	1,8	1,6	1,9	1,7	1,6	1,9
PCB153	µg/kg TM	1,4	1,8	1,5	1,7	1,6	1,4	1,8
PCB180	µg/kg TM	0,82	0,88	0,72	1	0,86	0,72	1
PCB28	µg/kg TM	0,1-0,25	0,1-0,25	0,1-0,25	0,1-0,25	-	0,1	0,25
PCB52	µg/kg TM	0,1-0,25	0,1-0,25	0,1-0,25	0,1-0,25	-	0,1	0,25
PCB-7	µg/kg TM	5,6-5,9	4,2-4,8	4,6-5,1	5,5-5,8	5,0-5,4	4,2	5,9
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,18	0,21	0,24	0,33	0,24	0,18	0,33
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0,19	0,27	0,23	0,37	0,27	0,19	0,37
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	1,2	3,3	1,1	5	2,7	1,1	5
Perfluornonansäure	µg/kg TM	0,23	0,53	0,28	0,65	0,42	0,23	0,65
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,28	0,55	0,3	0,88	0,50	0,28	0,88
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,25	0,23	0,16	0,35	0,25	0,16	0,35
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,1	0,14	0,11	0,21	0,14	0,1	0,21
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0,11	0,14	0,11	0,05-0,1	0,10-0,12	0,05	0,14
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,06	0,06-0,12	0-0,06	0,06-0,12	0,030-0,090	0	0,12
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	11	42	5,1	49	27	5,1	49
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,05	0-0,05	0-0,05	0-0,05	-	0	0,05
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0-0,1	0-0,1	0-0,1	0-0,1	-	0	0,1
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,1	0,94	0,15	0,59	0,45	0,1	0,94

9.2.5 Boden – Düngeflächen Bregenz

Düngeflächen vor Aufbringung	Einheit	Bregenz_DFL_1 (vor)	Bregenz_DFL_2 (vor)	Mittelwert	Bregenz_DFL_1 (nach)	Bregenz_DFL_2 (nach)	Mittelwert
TR	Gew%	62	59	60	65	62	63
GR	Gew%	89	88	88	91	89	90
pH-H ₂ O	[-]	7,5	7,6	7,6	7,7	7,8	7,8
TOC	Gew%	5,3	6,3	5,8	6,1	6,8	6,5
Gesamtphosphor	mg/kg TM	1.400	1.500	1.450	1.700	2.000	1.850
Gesamtstickstoff	Gew%	0,58	0,61	0,60	1,6	2,0	1,8
Calcium	mg/kg TM	8.400	35.000	21.700	10.000	37.000	24.000
Kalium	mg/kg TM	2.200	1.500	1.850	2.600	1.700	2.200
Magnesium	mg/kg TM	10.000	12.000	11.000	11.000	13.000	12.000
Natrium	mg/kg TM	260	260	260	320	320	320
AOX	mg/kg TM	29	34	32	28	35	32
Aluminium	mg/kg TM	22.000	16.000	19.000	23.000	17.000	20.000
Arsen	mg/kg TM	16	20	18	27	19	23
Blei	mg/kg TM	44	36	40	44	37	41
Cadmium	mg/kg TM	0,33	0,41	0,37	0,38	0,44	0,41
Chrom	mg/kg TM	68	52	60	68	52	60
Eisen	mg/kg TM	36.000	30.000	33.000	38.000	170.000	104.000
Kobalt	mg/kg TM	18	15	16,5	19	15	17
Kupfer	mg/kg TM	50	44	47	53	48	51
Mangan	mg/kg TM	860	750	810	950	780	870
Molybdän	mg/kg TM	3,7	2,9	3,3	2,3	2,3	2,3
Nickel	mg/kg TM	77	63	70	74	59	67
Quecksilber	mg/kg TM	0,13	0,16	0,14	0,16	0,14	0,15
Vanadium	mg/kg TM	52	31	42	59	59	59
Zink	mg/kg TM	140	120	130	150	150	150
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	2,3	0,5-1,0	1,4-1,7	1,3	0,5-10	0,9-1,2
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	0-0,5	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,5	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
DEHP	µg/kg TM	29	28	29	68	43	56
Bisphenol A	µg/kg TM	0-2,0	2,0-4,0	1,0-3,0	0-2,0	0-2,0	0-2,0
Nonylphenole	µg/kg TM	0-2,5	5,9	3,0-4,2	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
NP1EO	µg/kg TM	2,2	3,1	2,7	5,8	7,6	6,7
NP2EO	µg/kg TM	0,25-0,50	0,25-0,50	0,25-0,50	0,75	1,1	0,92
alpha-HBCDD	µg/kg TM	0,13	0,088	0,11	0,25	0,37	0,31
beta-HBCDD	µg/kg TM	0,025-0,050	0-0,025	0,013-0,038	0,058	0,088	0,073
gamma-HBCDD	µg/kg TM	0,080	0,025-0,050	0,053-0,065	0,19	0,25	0,22
Summe HBCDD	µg/kg TM	0,24-0,26	0,11-0,16	0,17-0,21	0,50	0,71	0,60
BDE 100	µg/kg TM	0,074	0,073	0,074	0,094	0,10	0,097-0,097
BDE 153	µg/kg TM	0,012-0,024	0,011-0,023	0,012-0,024	0-0,023	0,023-0,046	0,012-0,035

Düngeflächen vor Aufbringung	Einheit	Bregenz_DFL_1 (vor)	Bregenz_DFL_2 (vor)	Mittelwert	Bregenz_DFL_1 (nach)	Bregenz_DFL_2 (nach)	Mittelwert
BDE 154	µg/kg TM	0,048	0,045	0,047	0,050	0,052	0,051-0,051
BDE 28	µg/kg TM	0,0012-0,0025	0,0012-0,0024	0,0012-0,0025	0,0024-0,0048	0,0024-0,0048	0,0024-0,0048
BDE 47	µg/kg TM	0,16	0,17	0,17	0,14	0,35	0,25
BDE 99	µg/kg TM	0,12	0,12	0,12	0,16	0,36	0,26
Summe PBDE	µg/kg TM	0,42-0,43	0,42-0,43	0,42-0,43	0,45-0,47	0,89-0,91	0,67-0,69
Acenaphthen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Acenaphthylen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Anthracen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Benzo(a)anthracen	µg/kg TM	7,0	6,0	6,5	12	8,0	10
Benzo(a)pyren	µg/kg TM	8,0	9,0	8,5	16	13	15
Benzo(b)fluoranthen	µg/kg TM	16	16	16	22	23	23
Benzo(g,h,i)perylen	µg/kg TM	10	11	11	13	12	13
Benzo(k)fluoranthen	µg/kg TM	5,0	6,0	5,5	9,0	8,0	8,5
Chrysen	µg/kg TM	8,0	10	9,0	19	11	15
Dibenzo(a,h)anthracen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Fluoranthen	µg/kg TM	14	18	16	37	27	32-32
Fluoren	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/kg TM	6,0	6,0	6,0	9,0	9,0	9,0
Naphthalin	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Phenantren	µg/kg TM	6,0	7,0	6,5	17	2,5-5,0	9,8-11
Pyren	µg/kg TM	14	14	14	25	18	22
Summe PAK-16	µg/kg TM	110-124	120-130	110-130	190-210	150-164	170-190
PCB101	µg/kg TM	0,32	0,10-0,25	0,21-0,29	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25
PCB118	µg/kg TM	0,3	0,10-0,25	0,20-0,28	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25
PCB138	µg/kg TM	2,4	1,5	2,0	0,94	1,1	1,0
PCB153	µg/kg TM	2,3	1,4	1,9	0,9	0,92	0,91
PCB180	µg/kg TM	1,2	0,87	1,0	0,55	0,71	0,63
PCB28	µg/kg TM	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25
PCB52	µg/kg TM	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25
PCB-7	µg/kg TM	6,7-7,0	4,2-4,8	5,4-5,9	2,8-3,4	3,1-3,7	3,0-3,6
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,22	0,34	0,28	0,30	0,19	0,25
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0,27	4,1	2,2	0,28	0,22	0,25
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	1,2	3,0	2,1	1,2	2,5	1,9
Perfluornonansäure	µg/kg TM	0,29	0,46	0,38	0,27	0,42	0,35
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,24	0,38	0,31	0,31	0,41	0,36
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,10	0-0,050	0,050-0,075	0,12	0,11	0,12
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,050-0,10	0-0,050	0,025-0,075	0,10	0,05-0,10	0,075-0,10
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0,050-0,10	0-0,050	0,025-0,075	0,05-0,10	0,05-0,10	0,05-0,10
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,060	0-0,070	0-0,065	0-0,070	0,07-0,14	0,035-0,11
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	2,9	37	20	3,5	26	15
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,050	0-0,050	0-0,050	0-0,050	0-0,050	0-0,050
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0-0,10	0-0,070	0-0,085	0-0,070	0-0,070	0-0,070
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0-0,050	1,0	0,5-0,53	1,0	0,54	0,77

9.2.6 Boden – Düngeflächen Fa. Häusle

Düngeflächen	Einheit	Häusle_DFL_1 (vor)	Häusle_DFL_2 (vor)	Mittelwert	Häusle_DFL_1 (nach)	Häusle_DFL_2 (nach)	Mittelwert
TR	Gew%	65	76	71	67	78	72
GR	Gew%	90	95	93	91	96	93
pH-H ₂ O	[-]	7,8	7,9	7,9	8,0	8,2	8,1
TOC	Gew%	3,8	0,59	2,2	4,5	0,86	2,7
Gesamtphosphor	mg/kg TM	1.600	1.300	1.450	1.800	1.400	1.600
Gesamtstickstoff	Gew%	0,46	-	0,23	2,0	2,0	2,0
Calcium	mg/kg TM	56.000	77.000	67.000	54.000	76.000	65.000
Kalium	mg/kg TM	1.500	1.400	1.450	1.700	1.600	1.700
Magnesium	mg/kg TM	13.000	12.000	13.000	13.000	13.000	13.000
Natrium	mg/kg TM	220	200	210	300	260	280
AOX	mg/kg TM	23	12	18	24	13	19
Aluminium	mg/kg TM	15.000	12.000	14.000	16.000	13.000	15.000
Arsen	mg/kg TM	18	17	18	19	17	18
Blei	mg/kg TM	25	20	23	27	20	24
Cadmium	mg/kg TM	0,17	0,11	0,14	0,21	0,17	0,19
Chrom	mg/kg TM	46	38	42	47	39	43
Eisen	mg/kg TM	27.000	2.5000	26.000	28.000	25.000	27.000
Kobalt	mg/kg TM	13	13	13	14	12	13
Kupfer	mg/kg TM	38	35	37	42	37	40
Mangan	mg/kg TM	820	780	800	830	800	820
Molybdän	mg/kg TM	1,3-2,6	1,3-2,5	1,3-2,6	2,0	1,7	1,9
Nickel	mg/kg TM	53	48	51	56	49	53
Quecksilber	mg/kg TM	0,11	0,072	0,089	0,089	0,075	0,082
Vanadium	mg/kg TM	34	24	29	36	25	31
Zink	mg/kg TM	99	84	92	110	89	100
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	0,5-1,0	0-0,50	0,25-0,75	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50	0-0,50
DEHP	µg/kg TM	18	13	16	21	18	20
Bisphenol A	µg/kg TM	0-2,0	0-2,0	0-2,0	0-2,0	0-2,0	0-2,0
Nonylphenole	µg/kg TM	0-2,5	0-2,5	0-2,5	6,4	2,5-5,0	4,5-5,7
NP1EO	µg/kg TM	1,5	1,8	1,7	3,5	4,7	4,1
NP2EO	µg/kg TM	0-0,25	0-0,25	0-0,25	0,73	0,25-0,50	0,49-0,62
alpha-HBCDD	µg/kg TM	0,077	0,17	0,12	0,11	0,093	0,10
beta-HBCDD	µg/kg TM	0-0,025	0,025-0,050	0,013-0,038	0-0,025	0-0,025	0-0,025
gamma-HBCDD	µg/kg TM	0,061	0,16	0,11	0,20	0,13	0,17
Summe HBCDD	µg/kg TM	0,14-0,16	0,36-0,38	0,25-0,27	0,31-0,34	0,22-0,25	0,27-0,29
BDE 100	µg/kg TM	0,022	0,026	0,024	0,029	0,029	0,029
BDE 153	µg/kg TM	0-0,011	0-0,011	0-0,011	0-0,023	0-0,023	0-0,023

Düngeflächen	Einheit	Häusle_DFL_1 (vor)	Häusle_DFL_2 (vor)	Mittelwert	Häusle_DFL_1 (nach)	Häusle_DFL_2 (nach)	Mittelwert
BDE 154	µg/kg TM	0,013	0,014	0,014	0,0046-0,0092	0,012	0,0083-0,011
BDE 28	µg/kg TM	0-0,0012	0-0,0011	0-0,0012	0-0,0024	0,0024-0,0048	0,0012-0,0036
BDE 47	µg/kg TM	0,031-0,062	0,071	0,051-0,067	0,062-0,12	0,062-0,12	0,062-0,12
BDE 99	µg/kg TM	0,018-0,036	0,075	0,047-0,056	0,036-0,072	0,13	0,083-0,10
Summe PBDE	µg/kg TM	0,084-0,15	0,19-0,20	0,14-0,17	0,13-0,26	0,24-0,32	0,18-0,29
Acenaphthen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Acenaphthylen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Anthracen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Benzo(a)anthracen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	5,0	2,5-5,0	3,8-5,0
Benzo(a)pyren	µg/kg TM	2,5-5,0	5,0	3,8-5,0	7,0	2,5-5,0	4,8-6,0
Benzo(b)fluoranthen	µg/kg TM	5,0	9,0	7,0	11	2,5-5,0	6,8-8,0
Benzo(g,h,i)perylen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	7,0	2,5-5,0	4,8-6,0
Benzo(k)fluoranthen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Chrysen	µg/kg TM	2,5-5,0	5,0	3,8-5,0	6,0	2,5-5,0	4,3-5,5
Dibenzo(a,h)anthracen	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Fluoranthen	µg/kg TM	5,0	11	8,0	29	2,5-5,0	16-17
Fluoren	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Naphthalin	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0
Phenantren	µg/kg TM	2,5-5,0	2,5-5,0	2,5-5,0	9,0	2,5-5,0	5,8-7,0
Pyren	µg/kg TM	6,0	10	8,0	17	2,5-5,0	9,8-11
Summe PAK-16	µg/kg TM	49-81	68-95	58-88	110-130	40-80	76-110
PCB101	µg/kg TM	0,46	0,52	0,49	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25
PCB118	µg/kg TM	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25
PCB138	µg/kg TM	1,3	1,9	1,6	0,67	0,52	0,60
PCB153	µg/kg TM	1,2	1,7	1,5	0,53	0,41	0,47
PCB180	µg/kg TM	0,61	0,84	0,73	0,40	0,31	0,36
PCB28	µg/kg TM	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25
PCB52	µg/kg TM	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25	0,10-0,25
PCB-7	µg/kg TM	3,9-4,3	5,3-5,7	4,6-5,0	2,0-2,6	1,6-2,2	1,8-2,4
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,20	0,18	0,19	0,25	0,19	0,22
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0,18	0,13	0,16	0,27	0,15	0,21
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	0,82	0,58	0,7	1,1	0,72	0,91
Perfluornonansäure	µg/kg TM	0,18	0,23	0,21	0,24	0,19	0,22
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,23	0,25	0,24	0,36	0,36	0,36
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,22	0,14	0,18	0,26	0,17	0,22
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,12	0,05-0,10	0,085-0,11	0,15	0,11	0,13
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,050	0-0,050	0-0,050	0-0,050	0-0,050	0-0,050
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,060	0-0,070	0-0,065	0-0,070	0-0,070	0-0,070
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	1,3	0,74	1,0	1,6	0,91	1,3
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0-0,050	0-0,05	0-0,050	0-0,050	0-0,050	0-0,050
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0-0,10	0-0,07	0-0,085	0-0,070	0-0,070	0-0,070
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,51	0,32	0,42	0,28	1,6	0,94

9.2.7 Grasproben

Parameter	Einheit	BG	NG	Bregenz Düngefläche	Bregenz Düngefläche	Bregenz Referenzfläche	BG	NG	Häusle Düngefläche	Häusle Referenzfläche
TC	Gew%	-	-	44	42	41			43	42
Gesamtphosphor	mg/kg TM	-	-	5.900	3.700	2.700			4.000	4.000
Gesamtstickstoff	Gew%	-	-	4	2,4	1,4			2,6	2,6
Calcium	mg/kg TM	-	-	5.700	6.400	6.600			4.400	8.300
Kalium	mg/kg TM	-	-	35.000	24.000	19.000			33.000	23.000
Magnesium	mg/kg TM	-	-	2.300	1.500	1.000			1.100	1.600
Natrium	mg/kg TM	-	-	2.300	2.200	900			1.800	220
Aluminium	mg/kg TM	-	-	96	48	82			57	230
Arsen	mg/kg TM	5	2,5	<5,0	<5,0	<5,0	5	2,5	<5,0	<5,0
Blei	mg/kg TM	2,5	1,3	<2,5	<2,5	<2,5	2,5	1,3	<2,5	<2,5
Cadmium	mg/kg TM	0,25	0,13	<0,25	<0,25	<0,25	0,25	0,13	<0,25	<0,25
Chrom	mg/kg TM	-	-	0,59	0,89	0,92			0,84	1,0
Eisen	mg/kg TM	-	-	150	80	81			89	220
Kobalt	mg/kg TM	2,5	1,3	<2,5	<2,5	<2,5	2,5	1,3	<2,5	<2,5
Kupfer	mg/kg TM	-	-	11	7,5	4,1			6,6	7,2
Mangan	mg/kg TM	-	-	66	36	63			32	93
Molybdän	mg/kg TM	-	-	5,7	1,7	1,6			0,82	5,9
Nickel	mg/kg TM	-	-	1,1	1,0	0,87			1,0	1,3
Quecksilber	mg/kg TM	-	-	0,0365	0,0295	0,027			0,034	0,033
Vanadium	mg/kg TM	5	2,5	<5,0	<5,0	<5,0	5	2,5	<5,0	<5,0
Zink	mg/kg TM	-	-	43	28	18			23	28
DEHP	µg/kg TM	10	5	79	95	45	10	5	45	46
Bisphenol A	µg/kg TM	8	4	n.n.	n.n.	n.n.	8	4	n.n.	n.n.
Nonylphenole	µg/kg TM	-	-	n.a.	n.a.	n.a.			n.a.	n.a.
NP1EO	µg/kg TM	12	6	n.n.	n.n.	n.n.	12	6	n.n.	n.n.
NP2EO	µg/kg TM	6	3	n.n.	n.n.	n.n.	6	3	n.n.	n.n.
alpha-HBCDD	µg/kg TM	0,5	0,25	n.n.	n.n.	n.n.	0,5	0,25	n.n.	n.n.
beta-HBCDD	µg/kg TM	0,3	0,15	n.n.	n.n.	n.n.	0,3	0,15	n.n.	n.n.
gamma-HBCDD	µg/kg TM	0,12	0,06	n.n.	n.n.	n.n.	0,12	0,06	n.n.	n.n.
BDE 100	µg/kg TM	0,017	0,0086	n.n.	n.n.	n.n.	0,0046	0,0023	<0.0046	<0.0044
BDE 153	µg/kg TM	0,05	0,025	n.n.	n.n.	n.n.	0,013	0,0066	n.n.	n.n.
BDE 154	µg/kg TM	0,0098	0,0049	n.n.	n.n.	n.n.	0,0026	0,0013	<0.0026	<0.0025
BDE 28	µg/kg TM	0,0052	0,0026	<0.0052	<0.0052	n.n.	0,0014	0,00068	0,0015	0,0027
BDE 47	µg/kg TM	0,13	0,067	n.n.	n.n.	n.n.	0,036	0,018	<0.036	<0.034
BDE 99	µg/kg TM	0,078	0,039	n.n.	n.n.	n.n.	0,021	0,01	<0.021	<0.020
Acenaphthen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Acenaphthylen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Anthracen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Benzo(a)anthracen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Benzo(a)pyren	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Benzo(b)fluoranthen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25

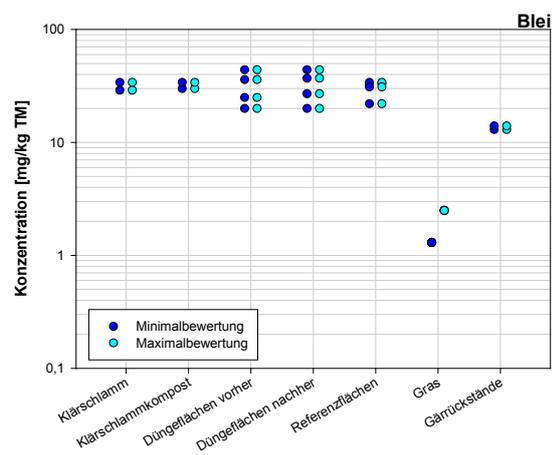
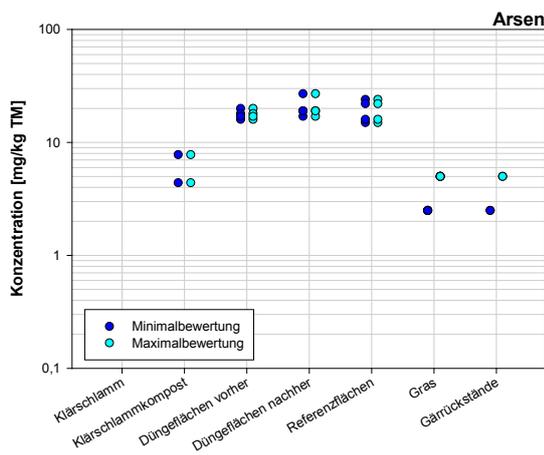
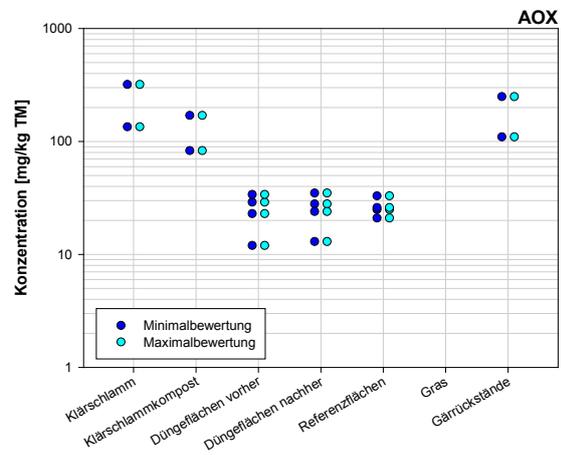
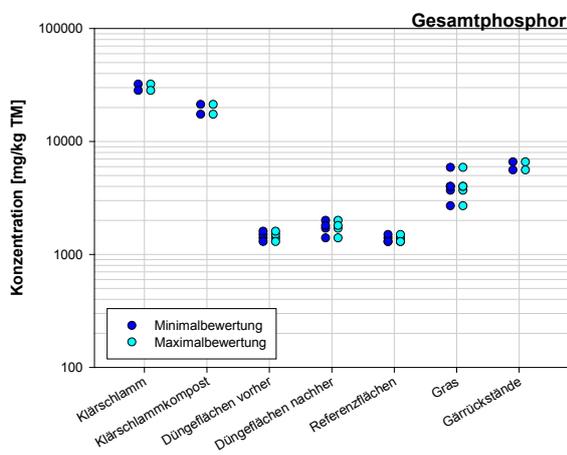
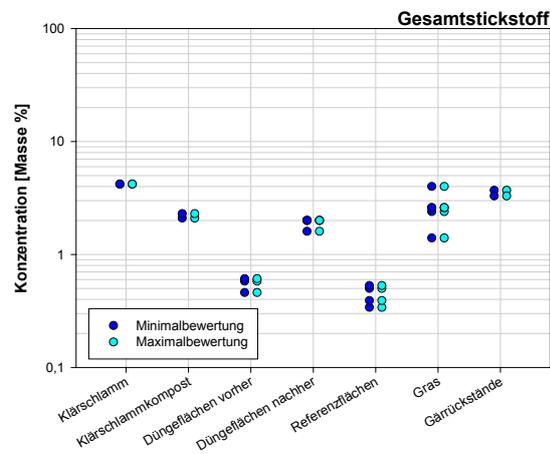
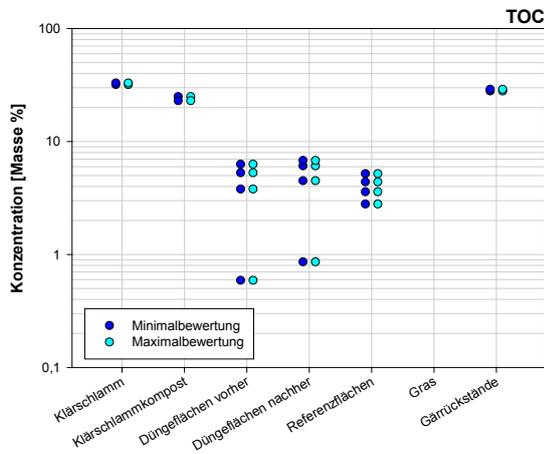
Parameter	Einheit	BG	NG	Bregenz Düngefläche	Bregenz Düngefläche	Bregenz Referenzfläche	BG	NG	Häusle Düngefläche	Häusle Referenzfläche
Benzo(g,h,i)perylen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Benzo(k)fluoranthren	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Chrysen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Dibenzo(a,h)anthracen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Fluoranthren	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Fuoren	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Naphthalin	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Phenantren	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
Pyren	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25	<25	25	12,5	<25	<25
PCB101	µg/kg TM	1,0	0,30	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	0,30	<1,0	<1,0
PCB118	µg/kg TM	1,0	0,30	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	0,30	<1,0	<1,0
PCB138	µg/kg TM	1,0	0,30	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	0,30	<1,0	<1,0
PCB153	µg/kg TM	1,0	0,30	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	0,30	<1,0	<1,0
PCB180	µg/kg TM	1,0	0,30	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	0,30	<1,0	<1,0
PCB28	µg/kg TM	1,0	0,30	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	0,30	<1,0	<1,0
PCB52	µg/kg TM	1,0	0,30	<1,0	<1,0	<1,0	1,0	0,30	<1,0	<1,0
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,28	0,14	n.n.	n.n.	n.n.	0,15	0,075	n.n.	n.n.
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0,38	0,19	n.n.	n.n.	n.n.	0,12	0,06	n.n.	n.n.
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	0,90	0,45	n.n.	n.n.	n.n.	0,48	0,24	n.n.	<0.48
Perfluorononansäure	µg/kg TM	0,35	0,18	n.n.	n.n.	n.n.	0,20	0,10	n.n.	n.n.
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,16	0,08	n.n.	n.n.	n.n.	0,10	0,05	n.n.	n.n.
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,19	0,095	n.n.	n.n.	n.n.	0,12	0,06	n.n.	n.n.
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,10	0,05	n.n.	n.n.	n.n.	0,10	0,05	n.n.	n.n.
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0,30	0,15	n.n.	n.n.	n.n.	0,12	0,06	n.n.	n.n.
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0,60	0,30	n.n.	n.n.	n.n.	0,25	0,13	n.n.	n.n.
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	0,60	0,30	n.n.	n.n.	1,1	0,30	0,15	0,44	2,2
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0,48	0,24	n.n.	n.n.	n.n.	0,20	0,10	n.n.	n.n.
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,45	0,22	n.n.	n.n.	n.n.	0,36	0,18	n.n.	n.n.
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,22	0,11	n.n.	n.n.	n.n.	0,22	0,11	n.n.	n.n.

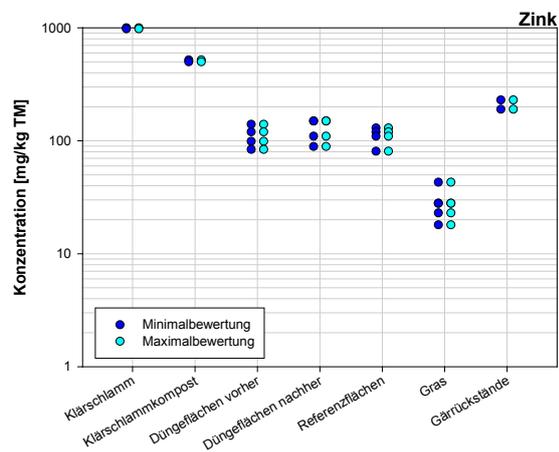
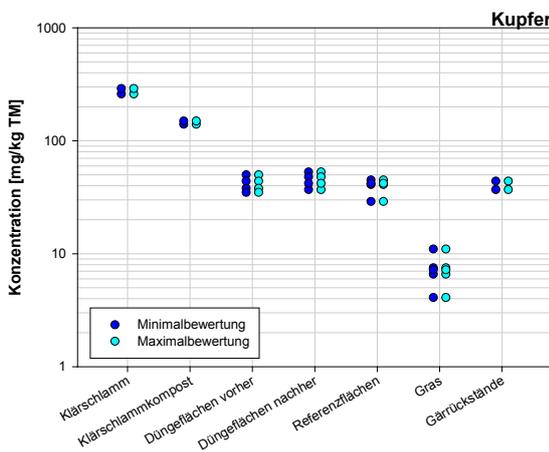
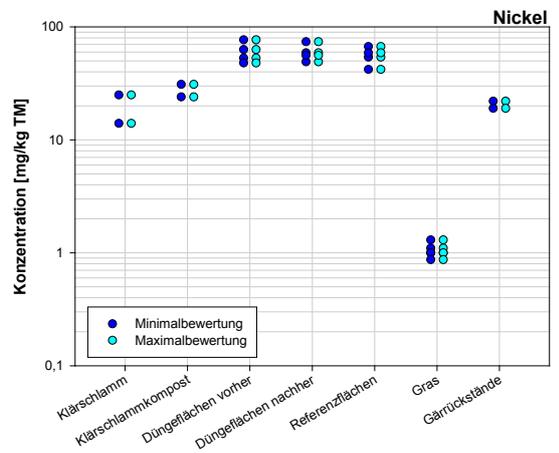
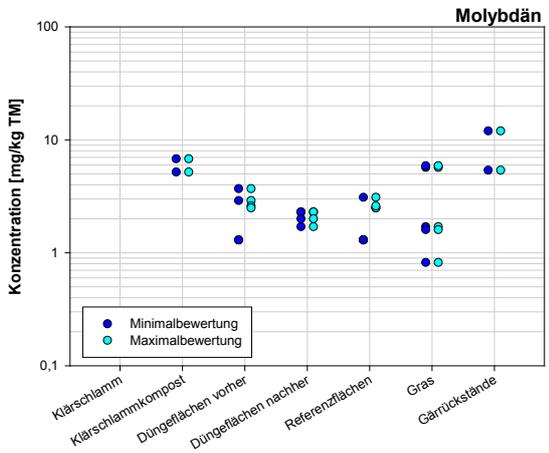
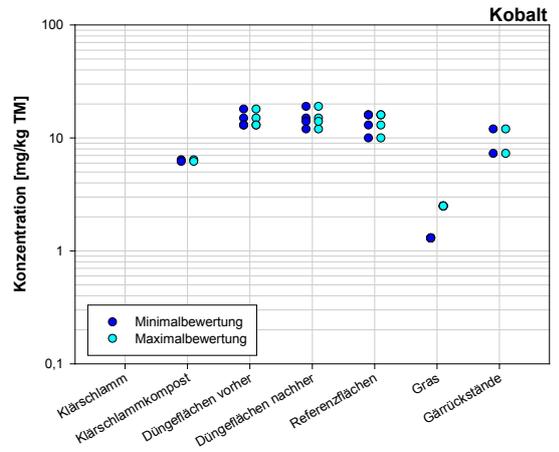
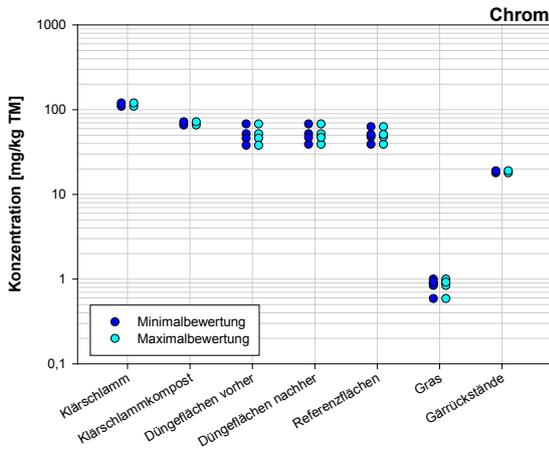
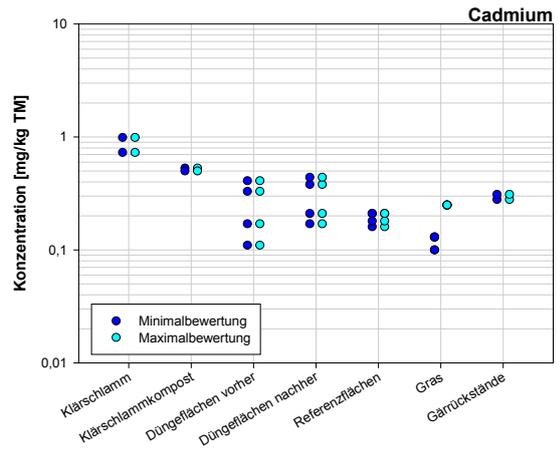
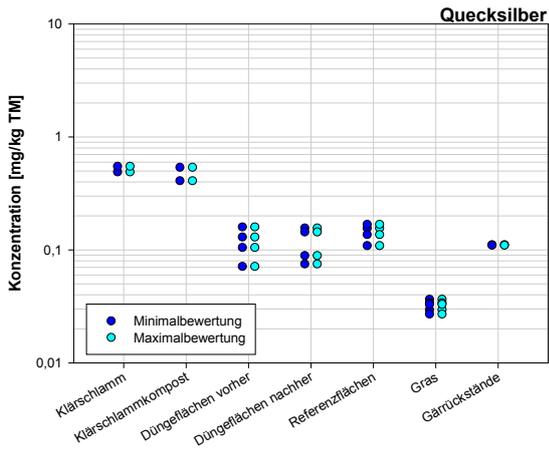
9.2.8 Gärückstände

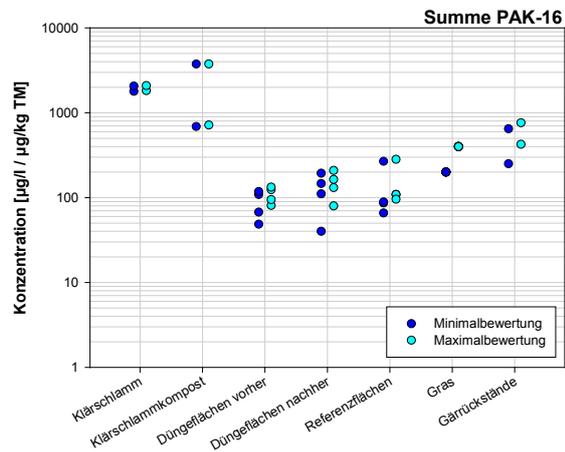
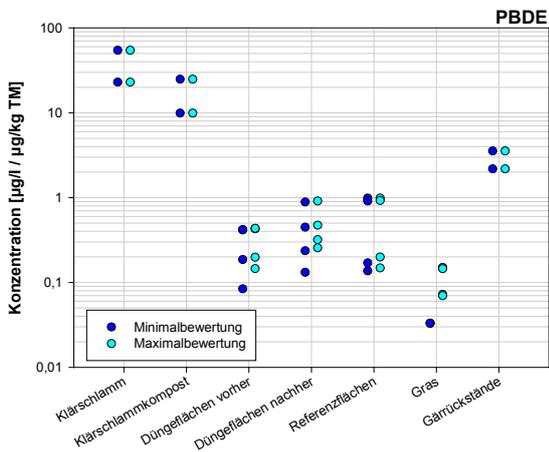
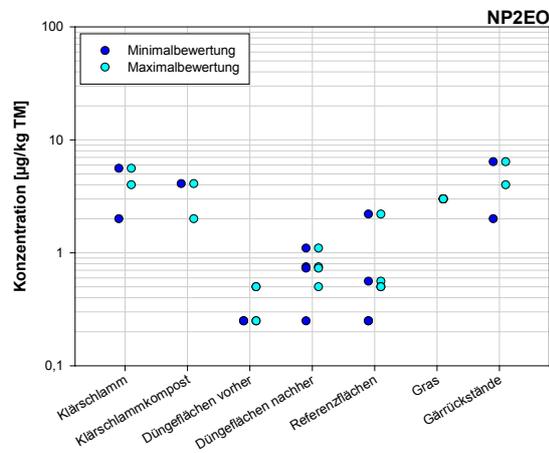
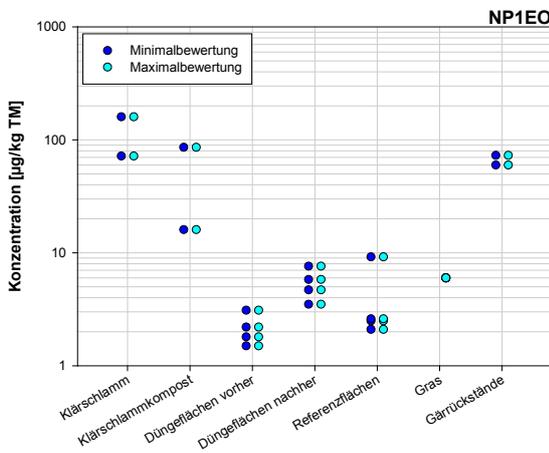
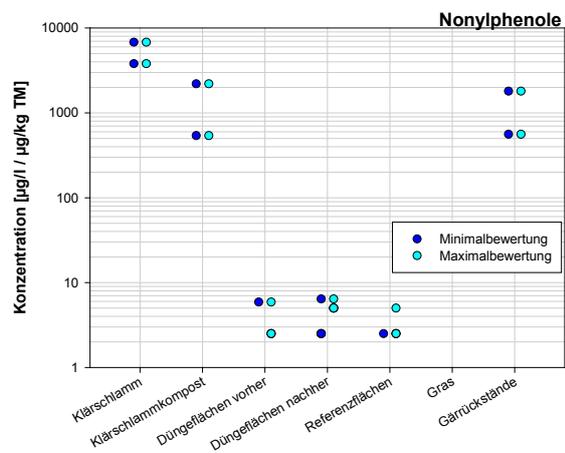
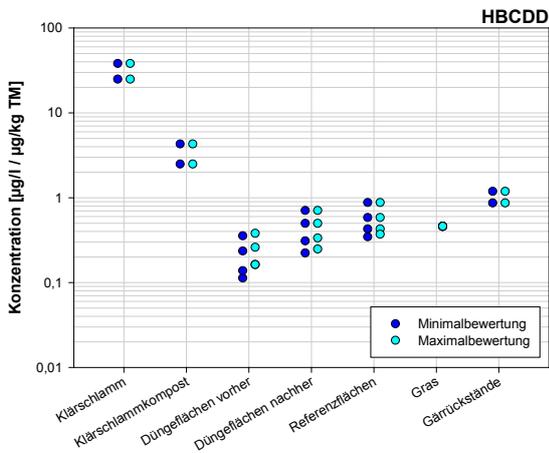
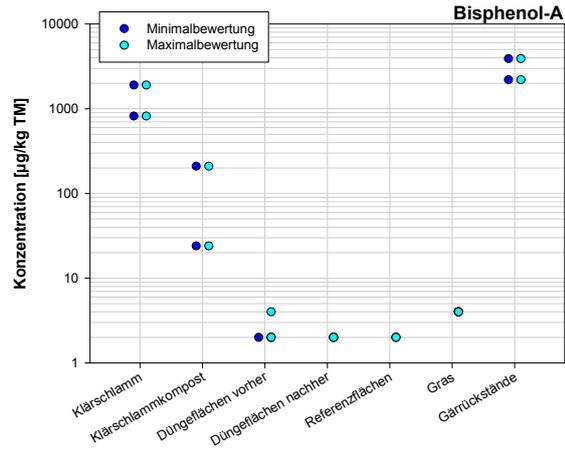
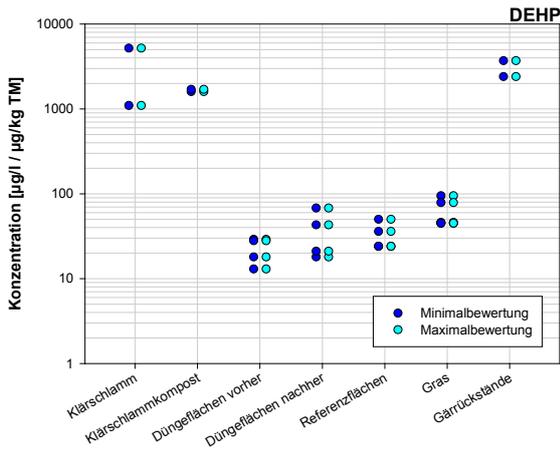
Parameter	Einheit	BG	NG	Häusle Gärückstand 1	Häusle Gärückstand 1
TR	Gew%	-	-	5,0	3,0
pH-H2O	[-]	-	-	8,9	8,3
TOC	Gew%	-	-	28	29
Gesamtphosphor	mg/kg TM	-	-	6.600	5.600
Gesamtstickstoff	Gew%	-	-	3,7	3,3
Calcium	mg/kg TM	-	-	42.000	44.000
Kalium	mg/kg TM	-	-	57.000	55.000
Magnesium	mg/kg TM	-	-	2.200	5.800
Natrium	mg/kg TM	-	-	44.000	41.000
AOX	mg/kg TM	-	-	110	250
Aluminium	mg/kg TM	-	-	6.500	5.200
Arsen	mg/kg TM	5	2,5	<5,0	<5,0
Blei	mg/kg TM	-	-	13	14
Cadmium	mg/kg TM	-	-	0,28	0,31
Chrom	mg/kg TM	-	-	18	19
Eisen	mg/kg TM	-	-	5.300	5.200
Kobalt	mg/kg TM	-	-	12	7,3
Kupfer	mg/kg TM	-	-	44	37
Mangan	mg/kg TM	-	-	160	140
Molybdän	mg/kg TM	-	-	12	5,4
Nickel	mg/kg TM	-	-	22	19
Quecksilber	mg/kg TM	-	-	0,11	0,11
Vanadium	mg/kg TM	-	-	7,5	6,1
Zink	mg/kg TM	-	-	190	230
Dibutylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	26	19
Diphenylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	n.n.	n.n.
Tetrabutylzinn	µg/kg TM	1	0,5	n.n.	n.n.
Tributylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	2,7	1,1
Triphenylzinn-Kation	µg/kg TM	1	0,5	n.n.	n.n.
DEHP	µg/kg TM	10	5	2.400	3.700
Bisphenol A	µg/kg TM	10	5	2.200	3.900
Nonylphenole	µg/kg TM	20	10	1.800	560
NP1EO	µg/kg TM	8	4	73	60
NP2EO	µg/kg TM	4	2	6,4	<4,0
alpha-HBCDD	µg/kg TM	0,3	0,15	0,53	0,48
beta-HBCDD	µg/kg TM	0,07	0,035	0,11	0,11
gamma-HBCDD	µg/kg TM	0,05	0,025	0,55	0,28
BDE 100	µg/kg TM	0,019	0,0095	0,33	0,23
BDE 153	µg/kg TM	0,055	0,027	0,36	0,29
BDE 154	µg/kg TM	0,011	0,0054	0,24	0,14
BDE 28	µg/kg TM	0,0057	0,0028	0,018	0,0093
BDE 47	µg/kg TM	0,15	0,074	1,2	0,51
BDE 99	µg/kg TM	0,086	0,043	1,4	1,0
Acenaphthen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25
Acenaphthylen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25
Anthracen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25
Benzo(a)anthracen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25
Benzo(a)pyren	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25
Benzo(b)fluoranthen	µg/kg TM	25	12,5	28	<25
Benzo(g,h,i)perylene	µg/kg TM	25	12,5	32	<25
Benzo(k)fluoranthen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25
Chrysen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25
Dibenzo(a,h)anthracen	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25
Fluoranthen	µg/kg TM	25	12,5	57	27
Fluoren	µg/kg TM	25	12,5	31	<25
Indeno(1,2,3-cd)pyren	µg/kg TM	25	12,5	<25	<25
Naphthalin	µg/kg TM	25	12,5	58	<25
Phenantren	µg/kg TM	25	12,5	160	<25
Pyren	µg/kg TM	25	12,5	170	49
PCB101	µg/kg TM	1	0,3	<1,0	<1,0
PCB118	µg/kg TM	1	0,3	<1,0	<1,0
PCB138	µg/kg TM	1	0,3	<1,0	1,2
PCB153	µg/kg TM	1	0,3	<1,0	1,1
PCB180	µg/kg TM	1	0,3	<1,0	<1,0
PCB28	µg/kg TM	1	0,3	<1,0	<1,0
PCB52	µg/kg TM	1	0,3	<1,0	<1,0

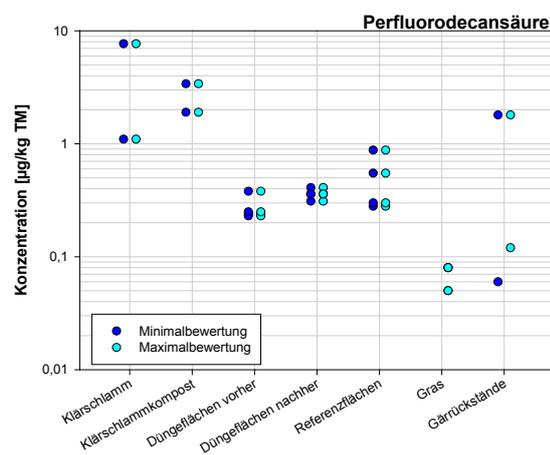
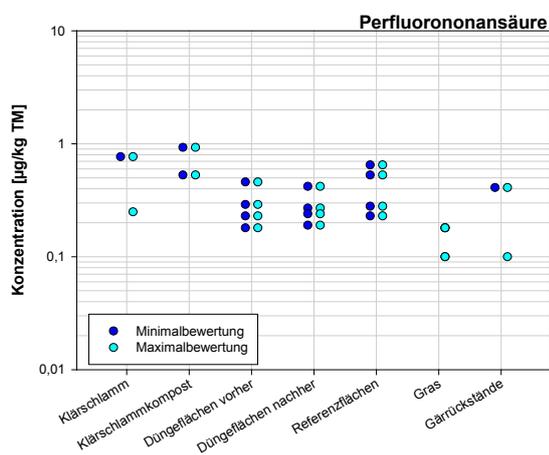
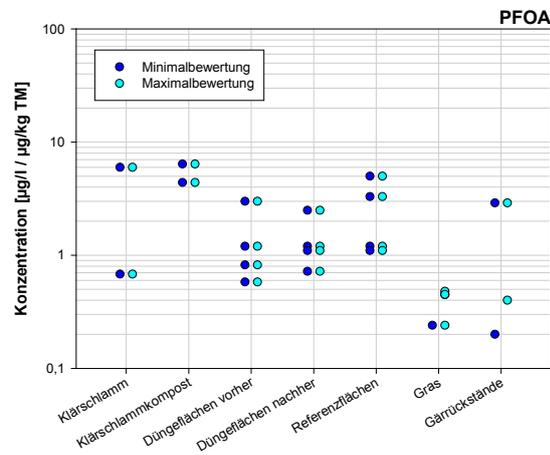
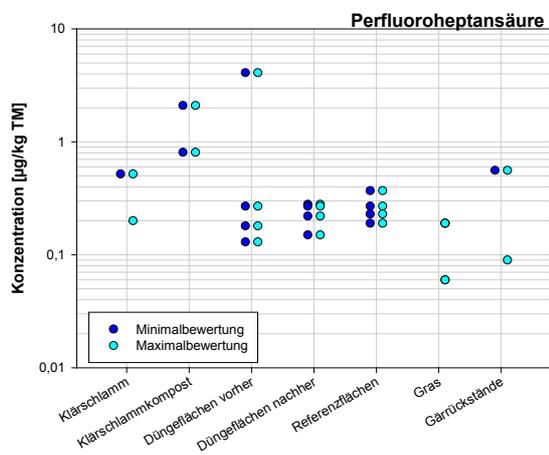
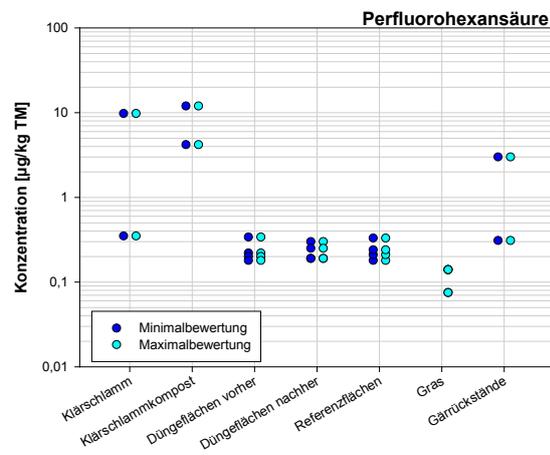
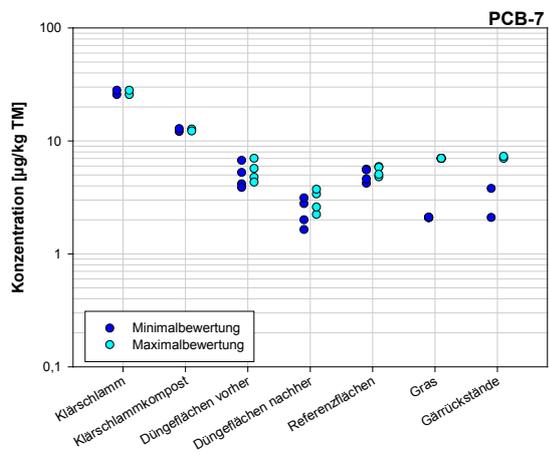
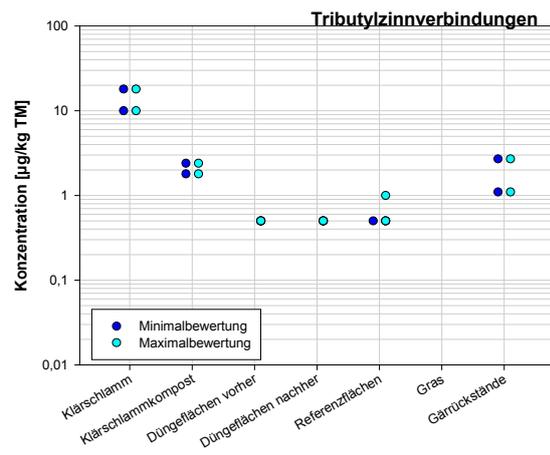
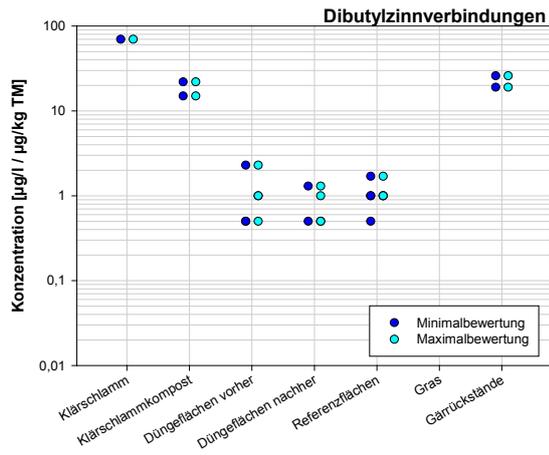
Parameter	Einheit	BG	NG	Häusle Gärrückstand 1	Häusle Gärrückstand 1
Perfluorhexansäure	µg/kg TM	0,2	0,1	3,0	0,31
Perfluorheptansäure	µg/kg TM	0,18	0,09	0,56	n.n.
Perfluoroctansäure	µg/kg TM	0,4	0,2	2,9	<0.40
Perfluorononansäure	µg/kg TM	0,2	0,1	0,41	n.n.
Perfluordecansäure	µg/kg TM	0,12	0,06	1,8	<0.12
Perfluorundecansäure	µg/kg TM	0,19	0,085	0,81	n.n.
Perfluordodecansäure	µg/kg TM	0,1	0,05	0,55	n.n.
Perfluorhexansulfonsäure	µg/kg TM	0,2	0,1	n.n.	n.n.
Perfluorheptansulfonsäure	µg/kg TM	0,35	0,18	n.n.	n.n.
Perfluoroctansulfonsäure	µg/kg TM	0,2	0,1	2,9	0,38
Perfluordecansulfonsäure	µg/kg TM	0,26	0,13	n.n.	n.n.
N-Ethyl-Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,36	0,18	n.n.	n.n.
Perfluoroctansulfonamid	µg/kg TM	0,22	0,11	1,3	2,6

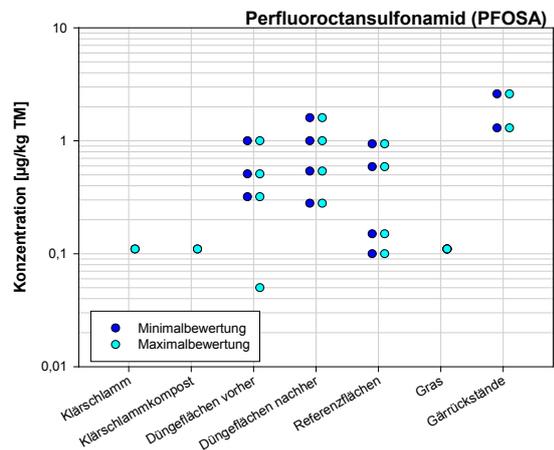
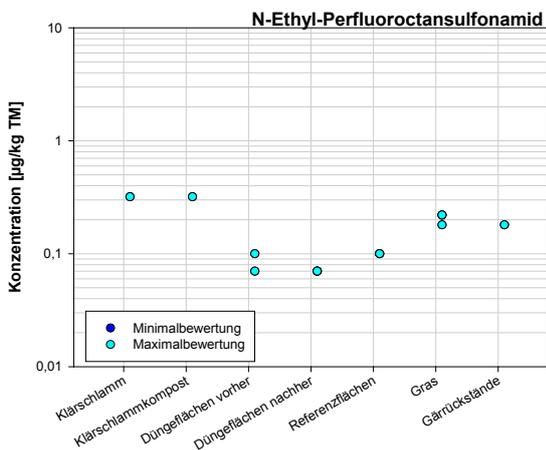
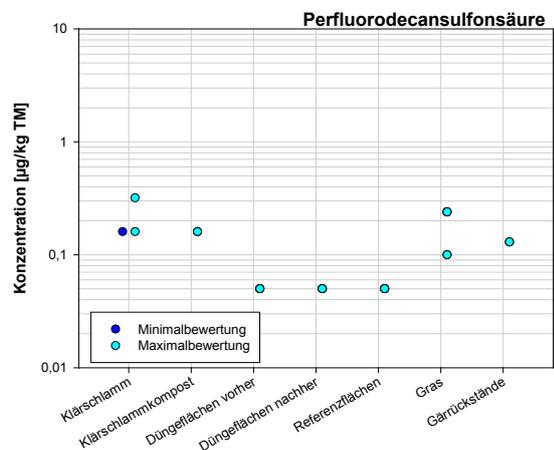
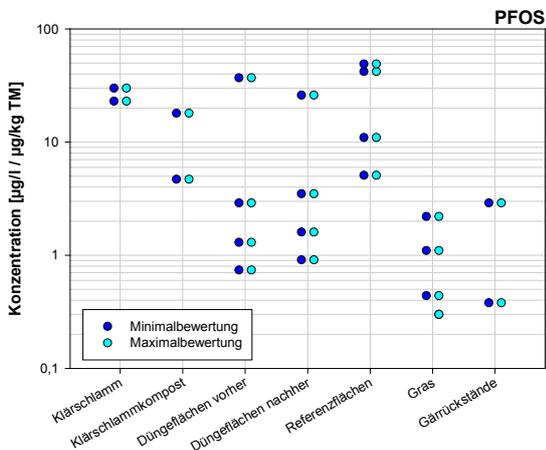
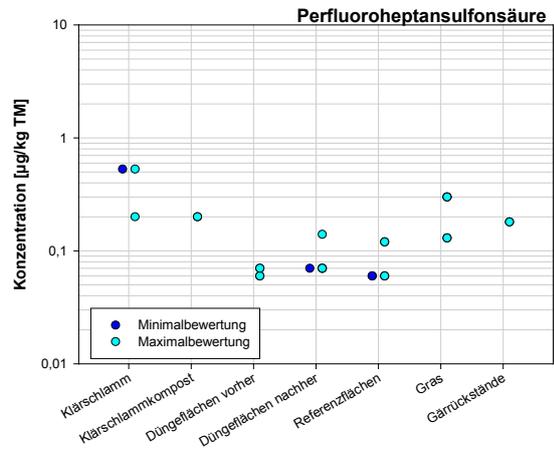
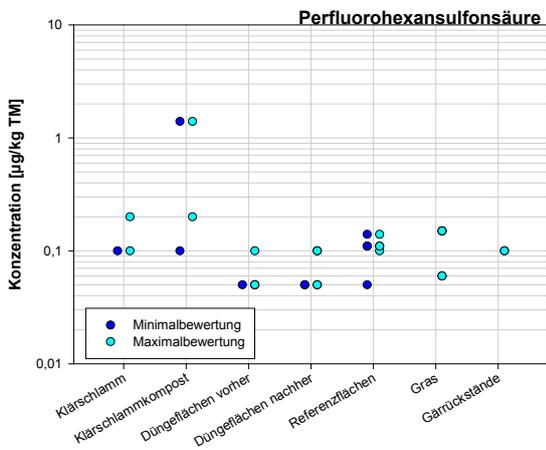
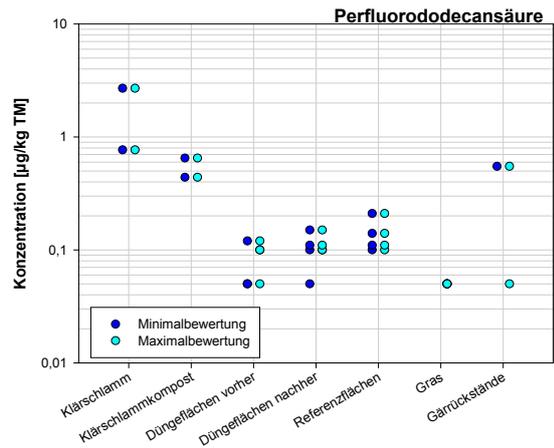
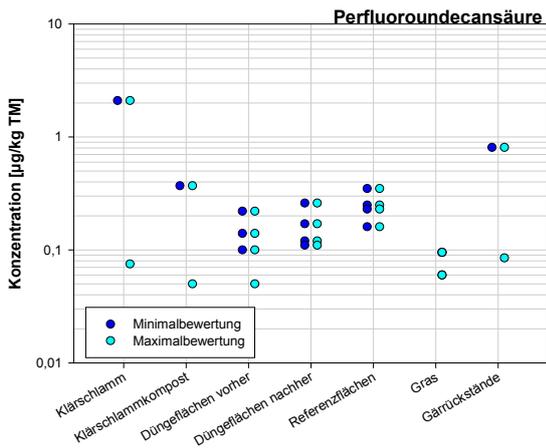
9.3 Anhang 3: Vergleich der gemessenen Schadstoffkonzentrationen in den Feststoffproben

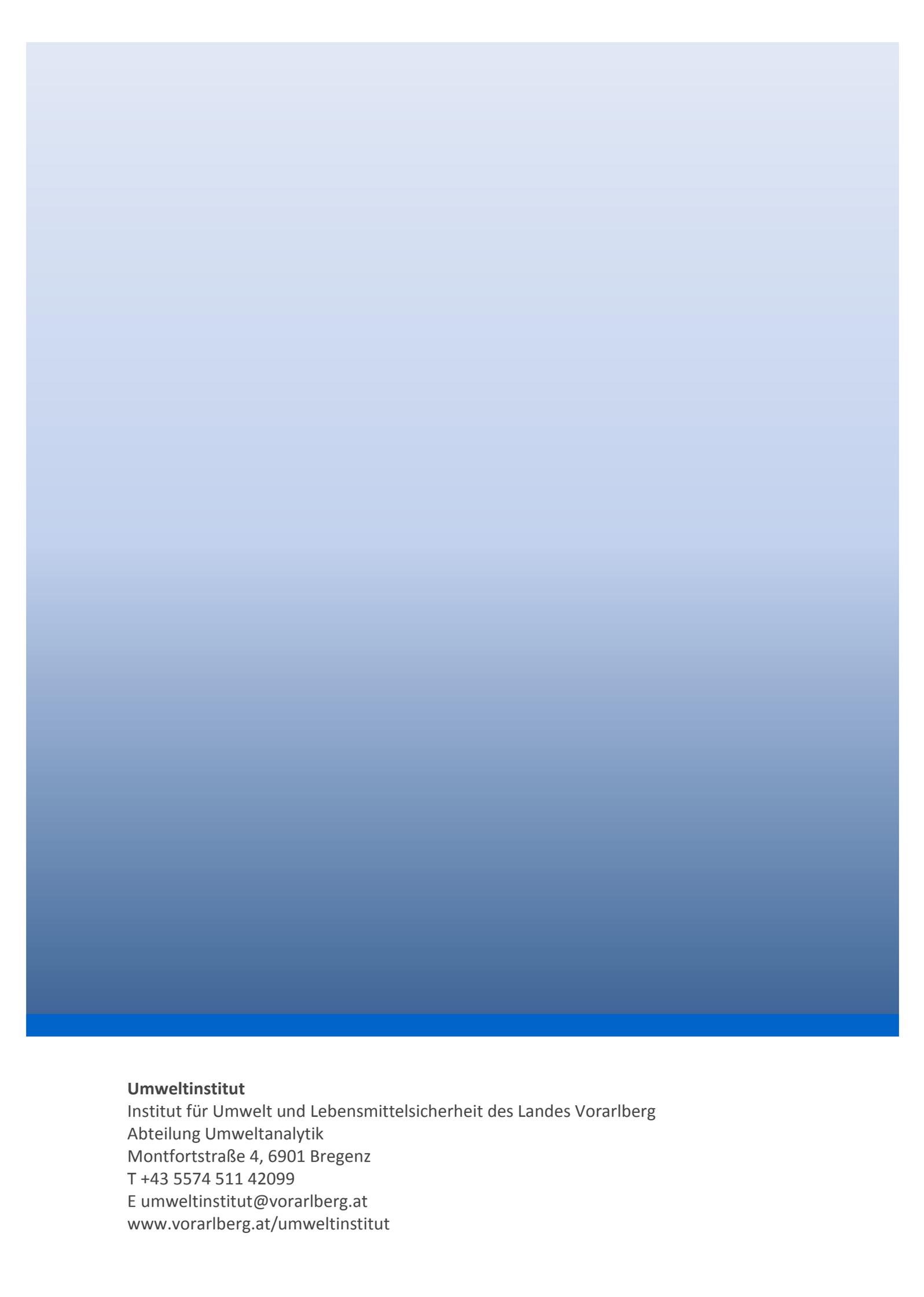












Umweltinstitut

Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg

Abteilung Umweltanalytik

Montfortstraße 4, 6901 Bregenz

T +43 5574 511 42099

E umweltinstitut@vorarlberg.at

www.vorarlberg.at/umweltinstitut