© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

umweltbundesamt

Organische Schadstoffe in Grünlandböden

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

umweltbundesamt

ORGANISCHE SCHADSTOFFE IN GRÜNLANDBÖDEN

Freudenschuß Alexandra
Obersteiner Erik
Uhl Maria

lebensministerium.at

REPORT
REP-0158

Wien, 2008

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Projektleitung

DI Alexandra Freudenschuß

AutorInnen

DI Alexandra Freudenschuß
Dr. Erik Obersteiner
Dr. Maria Uhl

Weitere MitarbeiterInnen (alphabetisch gereiht)

Dr. Andrea Hanus-Illnar (Laborkoordination; Analytik: Schwermetalle)
Dr. Gundi Lorbeer (Analytik: Persistente Schadstoffe & Dioxine)
Mag. Alarich Riss
Dr. Sigrid Scharf (Analytik: Umweltwirksame Stoffe & Metaboliten)
Gerhard Thanner
Dr. Peter Weiss

Übersetzung

Brigitte Read

Lektorat

Dr. Maria Deweis

Satz/Layout

Dr. Ute Kutschera

Umschlagfoto

Türnitz – NÖ Voralpengebiet, DI Alexandra Freudenschuß

Diese Publikation wurde im Auftrag des Bundesministeriums für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abt. V/2 und Abt. V/4 erstellt.

Geschäftszahl: BMLFUW-UW.1.4.7/0022-V/4/2005

Weitere Informationen zu Publikationen des Umweltbundesamtes unter: **www.umweltbundesamt.at**

Impressum

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

Eigenvervielfältigung, gedruckt auf Recyclingpapier

© Umweltbundesamt GmbH, Wien, 2008
Alle Rechte vorbehalten
ISBN 3-85457-955-1

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

INHALT

TABELLENVERZEICHNIS 5

ABBILDUNGSVERZEICHNIS 7

ZUSAMMENFASSUNG 9

SUMMARY 13

1 EINLEITUNG 17

2 METHODIK 18

2.1 Auswahl der Untersuchungsstandorte 18

2.2 Probenahme, Probenlagerung und Probenaufbereitung 19

2.3 Chemische Analysen 19

2.3.1 Allgemeine Bodenparameter 21

2.3.2 Organische Schadstoffe 21

2.3.3 Anorganische Schadstoffe – Schwermetalle 29

2.3.4 Definition der Nachweis- und Bestimmungsgrenze 29

2.3.5 Statistische Methoden 30

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION 31

3.1 Organochlorverbindungen 31

3.1.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 31

3.1.2 Gehalte in Grünlandböden 33

3.2 Polychlorierte Biphenyle (PCBs und DL-PCBs) 35

3.2.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 35

3.2.2 Gehalte in Grünlandböden 36

3.3 Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Furane (PCDD/F) 40

3.3.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 40

3.3.2 Gehalte in Grünlandböden 41

3.4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs) 43

3.4.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 43

3.4.2 Gehalte in Grünlandböden 44

3.5 Polybromierte Diphenylether (PBDE) 45

3.5.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 45

3.5.2 Gehalte in Grünlandböden 46

3.6 4Nonylphenol und Bisphenol A 51

3.6.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 51

3.6.2 Gehalte in Grünlandböden 52

3.7 Chlorphenole 53

3.7.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 53

3.7.2 Gehalte in Grünlandböden 55

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3.8 Nitrophenole 56
3.8.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 56
3.8.2 Gehalte in Grünlandböden 57
3.9 Phthalate 58
3.9.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 58
3.9.2 Gehalte in Grünlandböden 59
3.10 Organozinnverbindungen 60
3.10.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 60
3.10.2 Gehalte in Grünlandböden 61
3.11 Kohlenwasserstoffe (KW-Index) 61
3.11.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen 61
3.11.2 Gehalte in Grünlandböden 62

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN 64

5 ABKÜRZUNGEN UND GLOSSAR 65

6 LITERATUR 68

ANHANG 1 73

ANHANG 2 79

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

TABELLENVERZEICHNIS

Tabelle 1: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Organochlorverbin dungen (keine NG und BG bei Parametern die nur in der obersten Tiefenstufe analysiert wurden). 21

Tabelle 2: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der PCBs..... 22

Tabelle 3: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Dioxine, Furane und DL-PCB. 23

Tabelle 4: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der PAHs..... 24

Tabelle 5: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der PBDE. 25

Tabelle 6: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen von 4Nonylphenol und Bisphenol A. 25

Tabelle 7: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Chlorphenole. 26

Tabelle 8: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Nitrophenole. 27

Tabelle 9: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Phthalate. 27

Tabelle 10: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Organozinn verbindungen..... 28

Tabelle 11: Bestimmungsgrenze des KW-Index..... 28

Tabelle 12: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der anorganischen Schadstoffe. 29

Tabelle 13: ADI (WHO) und TDI der ausgewählten Organochlorverbin dungen (µg/kg/Tag)..... 33

Tabelle 14: Statistische Kennwerte von HCB und Pentachlorbenzol (µg/kg TS; n = 14). 34

Tabelle 15: Statistische Kennwerte von PCBs für die Tiefenstufe 0–5 cm (µg/kg TS; n = 14). 37

Tabelle 16: Statistische Kennwerte von DL-PCBs (ng/kg TS; n = 14)..... 38

Tabelle 17: Statistische Kennwerte von PCDD/F (ng/kg TS; n = 14). 41

Tabelle 18: Statistische Kennwerte von BaP, Σ PAH 6 und Σ EPA-PAH 16 (µg/kg TS; n = 14). 44

Tabelle 19: Kurzbezeichnung, IUPAC-Nomenklatur und Anzahl der Proben < NG für die Tiefenstufen 0–5 cm und 5–10 cm der analysierten PBDEs (n = 14). 47

Tabelle 20: Statistische Kennwerte von ausgewählten PBDE und der Summe aller 25 analysierten PBDEs (ng/kg TS; n = 14). 48

Tabelle 21: Statistische Kennwerte von 4Nonylphenol und Bisphenol A (µg/kg TS; n = 14). 52

Tabelle 22: Statistische Kennwerte ausgewählter Chlorphenole (µg/kg TS; n = 14). 55

Tabelle 23: Statistische Kennwerte von DBP und DEHP (µg/kg TS; n = 14). 59

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 24: Allgemeine Standortbeschreibungen. 73
Tabelle 25: Parameter in internationalen Programmen. 73
Tabelle 26: CAS- und EG-Nummern ausgewählter Schadstoffe. 74
Tabelle 27: Log K_{OW} und Biokonzentrationsfaktoren (aquat.) von ausgewählten Organochlorverbindungen. 74
Tabelle 28: EU-Klassifizierung von ausgewählten Organochlorverbindungen: Toxizität, Umweltgefährdung, Kanzerogenität. 75
Tabelle 29: Allgemeine Bodenparameter und Trockengewichte der Grünlandböden für die Tiefenstufen 0–5 cm und 5–10 cm. 80
Tabelle 30: Organochlorpestizide (µg/kg TS) in Grünlandböden. 81
Tabelle 31: PCB und DL-PCBs (ng/kg TS) in Grünlandböden. 82
Tabelle 32: PCDD/F (ng/kg TS) in Grünlandböden. 83
Tabelle 33: PAHs (µg/kg TS) in Grünlandböden. 84
Tabelle 34: Polybromierte Diphenylether (PBDE in ng/kg TS) in den Grünlandböden. 85
Tabelle 35: 4Nonylphenol und Bisphenol A (ng/kg TS) in Grünlandböden. 86
Tabelle 36: Chlorphenole (µg/kg TS) in Grünlandböden. 87
Tabelle 37: Nitrophenole (µg/kg TS) in Grünlandböden. 88
Tabelle 38: Phthalate (µg/kg TS) in Grünlandböden. 89
Tabelle 39: Organozinnverbindungen (µg/kg TS) in Grünlandböden. 89
Tabelle 40: KW–Index (mg/kg TS) in Grünlandböden. 89
Tabelle 41: Schwermetallgehalte (mg/kg TS) in Grünlandböden. 90

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abbildung 1: Lage der Untersuchungsstandorte. 18

Abbildung 2: Überblicksliste der analysierten anorganischen und organischen Schadstoffe (graue Schriftfarbe kennzeichnet Substanzen, die nur in der Tiefenstufe 0–5 cm analysiert wurden). 20

Abbildung 3: Strukturformeln ausgewählter Organochlorverbindungen..... 32

Abbildung 4: Allgemeine Strukturformel der PCBs..... 35

Abbildung 5: PCB-Muster der beprobten Standorte für die Tiefenstufe 0–5 cm und 5–10 cm (% von Summe DL-PCB)..... 39

Abbildung 6: Allgemeine Strukturformel der PCDD/F. 40

Abbildung 7: Homologenverteilung von PCDD/F für die Tiefenstufe 0–5 cm. 42

Abbildung 8: Strukturformel ausgewählter PAHs. 43

Abbildung 9: Strukturformeln bedeutender polybromierter Diphenylether. 45

Abbildung 10: PBDE-Muster für die Tiefenstufen 0–5 cm und 5–10 cm (Kongenere, die für alle Proben einer Tiefenstufe unter der Nachweisgrenze lagen, sind nicht dargestellt). 50

Abbildung 11: Strukturformel von 4Nonylphenol und Bisphenol A..... 51

Abbildung 12: Allgemeine Strukturformel der Chlorphenole. 53

Abbildung 13: Strukturformel des Pentachlorphenols. 54

Abbildung 14: Strukturformel von 2,4,6- Nitrophenol 56

Abbildung 15: Strukturformel ausgewählter Phthalate. 58

Abbildung 16: Strukturformel wesentlicher Organozinnverbindungen. 60

Abbildung 17: Siedebereiche typischer Mineralölprodukte in Relation zu den Integrationsgrenzen von n-Dekan und n-Tetracontan. Außerhalb des eingefärbten Bereichs liegende Fraktionen werden nicht oder nur teilweise im KW-Index erfasst. 62

Abbildung 18: PCDD/F-Kongenerenverteilung der Standorte (Teil 1). 77

Abbildung 19: PCDD/F-Kongenerenverteilung der Standorte (Teil 2). 78

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchungen von Waldstandorten belegen, dass selbst in entlegenen Gebieten persistente organische Schadstoffe nachweisbar sind (UMWELTBUNDESAMT 1998, 2000, 2002). Ebenso liegen Studien über die Belastungssituation an industrienahen Standorten bzw. auf ackerbaulich genutzten Flächen, auf denen Klärschlämme aufgebracht wurden, vor. Für die Beantwortung der Frage, ob auch eine ubiquitäre Belastung mit organischen Schadstoffen an emittentenfernen Grünlandstandorten gegeben ist, stand bislang nur eine unzureichende Datengrundlage zur Verfügung.

Die vorliegende Untersuchung hat daher zum Ziel, die Belastung mit organischen Schadstoffen, die aufgrund ihrer Toxizität und Persistenz in der Umwelt auch international von Bedeutung sind, in unbelasteten Grünlandböden festzustellen.

Zu diesem Zweck wurden in den Bundesländern Burgenland (BGL), Kärnten (KTN), Oberösterreich (OÖ) und der Steiermark (STM) insgesamt 14 extensiv genutzte Grünlandstandorte ausgewählt und Bodenproben der Tiefenstufe 0–5 cm und 5–10 cm entnommen. Die Proben der obersten Bodenschicht wurden auf folgende Substanzen bzw. Substanzgruppen analysiert: Organochlorverbindungen (Aldrin, cis-, trans-Chlordan, Dieldrin, Endrin, Mirex, Heptachlor, Hexachlorbenzol, Hexachlorbutadien, Pentachlorbenzol, Endosulfan, DDX, α-, β-, γ-, δ-HCH), Polychlorierte Biphenyle (PCBs), Dioxine, Furane und DL-PCBs, Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs), Polybromierte Diphenylether (PBDE), 4Nonylphenol und Bisphenol A, Nitrophenole, Chlorphenole, Phthalate, Organozinnverbindungen, KW-Index, anorganische Schadstoffe, allgemeine Bodenparameter (pH-Wert, Humusgehalt, Textur, Karbonatgehalt). Basierend auf diesen Ergebnissen wurde eine Auswahl an Substanzen getroffen, die auch in allen Proben der zweiten Tiefenstufe (5–10 cm) analysiert wurden.

Überblick zu den Ergebnissen der einzelnen Schadstoffgruppen

Organochlorverbindungen

Die Gehalte der ausgewählten Organochlorverbindungen, deren Produktion- und Anwendung (als Pestizid) in vielen Ländern bereits verboten ist, liegen in den beprobten Grünlandböden großteils unter den Nachweisgrenzen. Die Werte für Hexachlorbenzol schwanken zwischen < NG (< 0,075 µg/kg TS) und 1,1 µg/kg TS, die für Pentachlorbenzol zwischen < NG (< 0,26 µg/kg TS) und 2,6 µg/kg TS.

Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Die Gehalte der einzelnen PCB-Kongenere liegen für alle Proben über den Bestimmungsgrenzen. Der Schwankungsbereich für den Summengehalt der sechs PCB-Kongenere nach Ballschmiter liegt zwischen 0,85 und 3,52 µg/kg TS (Median: 1,2 µg/kg TS) und ist daher durchwegs als Hintergrundbelastung zu beurteilen.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

DL-PCBs

Gehalte an co-planaren und mono-ortho substituierten PCBs konnten in den meisten Bodenproben nachgewiesen werden und liegen im Bereich weniger Nanogramm. Auffällig ist das gemeinsame Auftreten entweder niederer oder höher chlorierter PCBs an einigen Standorten. Die Summenwerte der TE-WHO PCB liegen für die beprobten Grünlandstandorte zwischen 0,01 und 0,74 ng TE-WHO/kg.

Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Furane (PCDD/F)

Die Summengehalte der PCDD/F der Grünlandproben liegen zwischen 12,5 und 148,0 ng/kg TS (Median 46,5 ng/kg TS). Um die unterschiedliche Toxizität der Kongenere zu berücksichtigen, werden die PCDD/F-Gehalte anhand von internationalen Toxizitätsäquivalenten (I-TEQ) bewertet. Diese liegen zwischen 0,16 und 9,33 ng I-TEQ/kg TS. Als auffällig hoch sind hier die Werte der Standorte BGL 3 und STM 4 zu bewerten, die einen weiteren Abklärungsbedarf benötigen.

Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs)

Die Gehalte der EPA-PAHs liegen zwischen 2,4 und 1.818,3 µg/kg TS (Median: 82,1 µg/kg TS). An neun Standorten ergeben sich Werte unter 100 µg/kg TS. Obwohl keiner der im Rahmen dieser Studie beprobten Grünlandstandorte hinsichtlich seines PAH-Gehaltes über internationalen Richt- bzw. Prüfwerte liegt, erscheint für die Standorte BGL 2, OÖ 2 und OÖ 3 eine weitere Abklärung der Σ EPA-PAH 16 bzw. der Benzo(a)pyren-Gehalte notwendig. Alle anderen Standorte können bezüglich der PAH-Gehalte als Hintergrundstandort eingestuft werden.

Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Die Gehalte von 25 Kongeneren der möglichen 209 PBDE-Verbindungen wurden im Rahmen dieser Studie analysiert. Es zeigt sich, dass die Nachweisbarkeit und Größenordnungen der Gehalte der einzelnen Kongenere sehr unterschiedlich sind. Die höchsten Gehalte finden sich mit bis zu 3.900 ng/kg TS für Deca-BDE (BDE-209). Die Summenwerte aller 25 analysierten PBDEs liegen zwischen 14,3 und 5.283,9 ng/kg TS.

4Nonylphenol und Bisphenol A

Die Gehalte von 4Nonylphenol und Bisphenol A liegen bei mehr als der Hälfte der Standorte unter den Bestimmungsgrenzen. Die Maximalgehalte erreichen Werte von 31,0 µg/kg TS für 4Nonylphenol und 2,3 µg/kg TS für Bisphenol A.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Chlorphenole

Bei einem Großteil der Bodenproben konnte kein gesicherter Nachweis zu Gehalten von Chlorphenolen erbracht werden. 59 % der Proben liegen unter der Nachweis-, weitere 16 % unter der Bestimmungsgrenze. Die Summengehalte aller Mono-, Di-, Tri-, Tetra- und Pentachlorphenole betragen zwischen 9,4 µg/kg TS und 125,6 µg/kg TS (wobei keine Ergebnisse zu 2,4,6-Trichlorphenol vorliegen).

Nitrophenole

In der vorliegenden Studie wurden 16 Kongenere dieser Schadstoffgruppe analysiert. Bei Nachweisgrenzen zwischen 0,8 und 5,5 µg/kg TS (BG: 1,6–11,0 µg/kg TS) konnte jedoch in keiner einzigen Probe der ersten Tiefenstufe (0–5 cm) der Nachweis einer Nitrophenolverbindung erbracht werden.

Phthalate

Es wurden sechs Phthalat-Verbindungen analysiert. Dibutylphthalat (DBP) und Diethylhexylphthalat (DEHP) konnten mit Werten zwischen < NG und 43,0 µg/kg TS (DBP) und zwischen 15,0 und 100 µg/kg TS (DEHP) in fast allen Proben quantitativ nachgewiesen werden. Die Werte aller anderen Vertreter dieser Gruppe liegen unter der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze.

Organozinnverbindungen

Die Gehalte aller Grünlandproben der ersten Tiefenstufe (0–5 cm) liegen für die sechs untersuchten Vertreter der Organozinnverbindungen unter der Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze von 4,0 bzw. 2,0 µg/kg TS.

Kohlenwasserstoff (KW)-Index

An allen untersuchten Standorten liegt der KW-Index der obersten Tiefenstufe unter der Bestimmungsgrenze von 100 mg/kg TS.

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie bestätigen, dass auch in extensiv genutzten Grünlandböden persistente organische Schadstoffe, vereinzelt in nicht unbeträchtlichen Konzentrationen (z. B. PCDD/F), nachgewiesen werden können. Das betrifft sowohl Substanzen, die bereits seit einigen Jahren bzw. Jahrzehnten in ihrer Anwendung und Produktion in vielen Ländern verboten sind (z. B. einzelne Pestizide), als auch so genannte “upcoming pollutants“ (z. B. Flammschutzmittel, Phthalate, Chlorphenole), deren Umweltrelevanz international zunehmend an Bedeutung gewinnt. Für drei Substanzgruppen (Nitrophenole, Organozinnverbindungen, KW-Index) liegen alle Bodenproben unter den Nachweisgrenzen. Hier ist es notwendig, für künftige Untersuchungen weitere Überlegungen hinsichtlich geeigneter Bestimmungsgrößen anzustellen.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Die Studie bietet somit einen ersten Überblick über die Nachweisbarkeit und die Größenordnungen ausgewählter organischer Schadstoffe. Genauere Auswertungen hinsichtlich der Korrelationen zwischen einzelnen Bodenparametern bzw. zwischen den Schadstoffgruppen konnten hier vorerst nicht behandelt werden, wären jedoch ein wesentlicher weiterer Schritt, um den Verbleib bzw. das Verhalten dieser Substanzen in Grünlandböden besser beschreiben zu können.

Die Schadstoffgruppen, die im Rahmen dieses Projektes in beiden Tiefenstufen analysiert wurden, lassen auch darauf schließen, dass kein unmittelbarer Zusammenhang zwischen den Schadstoffgehalten und dem Tiefenverlauf im Bodenprofil besteht. Eine Vervollständigung der Analysen für alle Proben wäre auch hier anzustreben.

Generell gilt, dass die Datenlage zu organischen Schadstoffen in Böden sehr lückenhaft ist. Einige wenige Schadstoffgruppen wie z. B. PAHs, PCBs oder PCDD/F sind in der Literatur bereits gut dokumentiert; für viele andere Substanzen bestehen allerdings kaum Vergleichsdaten zu Hintergrundwerten in Böden. In anderen Medien, wie Klärschlämmen, Sedimenten und Oberflächengewässern wurden diese Schadstoffgruppen bereits in mehreren Studien untersucht.

Um allgemeine Aussagen zur Belastungssituation von Grünlandböden treffen zu können, ist weiterhin Forschungsbedarf gegeben. Die Ausdehnung des Projektumfangs auf zusätzliche Standorte wäre sinnvoll.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

SUMMARY

Analyses of forest sites have shown that persistent organic pollutants are detectable even in remote areas (UMWELTBUNDESAMT 1998, 2000, 2002). Studies of the environmental state of sites close to industry and of land under arable use where sewage sludge has been applied are also available. But to answer the question if grassland sites far away from emission sources are affected by ubiquitous organic pollution, the data available to date are insufficient.

The aim of this study is therefore to determine the concentrations of organic pollutants that are also important at international level due to their toxicity and persistence in the environment, in unpolluted grassland soils.

For this purpose, a total of 14 grassland sites under extensive use were selected in the federal provinces of Burgenland (BGL), Carinthia (KTN), Upper Austria (OÖ) and Styria (STM), and soil samples were taken at depths of 0–5 cm and 5–10 cm. Samples of the topsoil layer were analysed for the following substances or groups of substances: organochlorine compounds (aldrin, cis- and trans-chlordane, dieldrin, endrine, mirexe, heptachlorine, hexachlorobenzene, hexachlorobutadien, pentachlorobenzene, endosulfan, DDX, α-, β-, γ-, δ-HCH), polychlorinated biphenyls (PCBs), dioxins, furans and dl-PCBs, polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs), polybrominated diphenyl ether (PBDE), 4nonylphenol and bisphenol A, nitrophenols, chlorophenols, phthalates, organotin compounds, hydrocarbon index, inorganic pollutants, general soil parameters (pH value, humus content, texture, carbonate content). On the basis of these results, substances were selected that were also analysed in all the samples from the second depth (5–10cm).

Overview of the results for individual pollutant groups

Organochlorine pesticides

Contents of selected organochlorine pesticides, whose production and use have meanwhile been banned in many countries, are mostly below the detection limits (DL) in the sampled grassland sites. Values for HCB fluctuate between < detection limit (0.075 µg/kg DS) and 1.10 µg/kg DS, those for pentachlorobenzene between < 0.26 and 2.60 µg/kg DS.

Polychlorinated biphenyls (PCBs)

Contents of individual PCB congeners are above the limits of determination for all samples. The range for the total content from the sum of the 6 congeners according to Ballschmiter is between 0.85 and 3.52 µg/kg DS (median: 1.2 µg/kg DS) and all values can therefore be considered background concentrations.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

DL-PCBs

Contents of coplanar and mono-ortho-substituted PCBs were detected in most of the soil samples. They are within the range of a few nanogrammes. What is noticeable is that either low chlorinated PCBs are found together on a few sites, or higher chlorinated PCBs. Total values from the sum of TE-WHO PCB 16 for the sampled grassland sites are between 0.01 and 0.74 ng TE-WHO/kg.

Polychlorinated dibenzo-p-dioxins and furans (PCDD/Fs)

Total contents from the sum of PCDD/Fs in grassland samples range between 12.5 and 148.0 ng/kg DS (median: 46.5 ng/kg DS). In order to take into account the varying toxicity of the congeners, PCDD/F contents are assessed according to international toxicity equivalents (I-TEQs). These are between 0.16 and 9.33 ng I-TEQ/kg DS. Here the values of the sites BGL 3 and STM 4 are considered conspicuously high and need further clarification.

Polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs)

Contents of EPA-PAHs range between 2.4 and 1818.3 µg/kg DS (median: 82.1 µg/kg DS). On 9 sites, values below 100 µg/kg DS were determined. Although none of the grassland sampling sites used for this study showed PAH contents above international background or intervention values, further clarification appears to be necessary for Σ EPA-PAH and benzo(a)pyrene contents on the sites BGL 2, OÖ 2 and OÖ 3. For all other sites, PAH contents can be classified as background values.

Polybrominated diphenyl ether (PBDE)

The contents of 25 congeners of the possible 209 PBDE compounds were analysed within the framework of this study. It appears that the verifiability and magnitude of PBDE levels vary considerably in the congeners. Highest levels (up to 3,900 ng/kg DS) have been found for Deca-BDE (BDE-209). The total values from the sum of all 25 analysed PBDEs are between 14.3 and 5,283.9 ng/kg DS.

4Nonylphenol and bisphenol A

Contents of 4nonylphenol and bisphenol A are below the determination limits on more than half of the sites. The maximum contents reach values of 31.0 µg/kg DS for 4nonylphenol and 2.3 µg/kg DS for bisphenol A.

Chlorophenols

For a large part of the soil samples, no chlorophenol levels could be reliably determined. 59 % of the samples were below the detection limit, another 16 % below the limit of determination. Total contents from the sum of all mono-, di-, tri-, tetra- and

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

penta-chlorophenols range between 9.4 µg/kg DS and 125.6 µg/kg DS (no results are available for 2,4,6-trichlorophenol).

Nitrophenols

Within the study at hand, 15 congeners of this pollutant group were analysed. With detection limits between 0.8 and 5.5 µg/kg DS (limit of determination: 1.6–11.0 µg/kg DS), no nitrophenol compound could be detected in any of the samples from the uppermost depth (0–5 cm).

Phthalates

6 phthalates were anlaysed. Quantities of dibutylphthalate (DBP) and diethylhexylphthalate (DEHP) were detected with values between < detection limit and 43.0 µg/kg DS (DBP), and between 15.0 and 100 µg/kg DS (DEHP) in almost all the samples. The values of all other representatives of this group are below the detection and determination limits.

Organotin compounds

The contents of all grassland soil samples from the uppermost depth are below the limit of determination and the detection limit of 4.0 and 2.0 µg/kg DS for the 6 representatives of the analysed organotin compounds.

Hydrocarbon index

The hydrocarbon index at the uppermost depth is below the limit of determination of 100 mg/kg DS on all analysed sites.

The results of this study show that persistent organic pollutants can be detected, occasionally in considerable concentrations (e.g. PCDD/F), even in grassland soils under extensive use. On the one hand the substances concerned are those whose use and production have been banned in many countries for several years or decades (e.g. certain pesticides), and on the other hand these substances are so-called upcoming pollutants (e.g. flame retardants, phthalates, chlorophenols), whose environmental relevance is gaining more and more importance at international level. For three substance groups (nitrophenols, organotin compounds, hydrocarbon index), all soil samples are below the detection limits. Here it will be necessary to consider suitable determinants for future analyses.

The study thus provides an initial overview of the verifiability and magnitudes of the levels of selected organic pollutants. Although a more detailed analysis in the light of a correlation between individual soil parameters, or pollutant groups, has not been possible here, it would be an important next step allowing for a better description of the fate and behaviour of these substances in grassland soils.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Those pollutant groups that were analysed at both depths within the framework of this project suggest that there is no direct connection between pollutant contents and depth distribution in the soil profile. In view of this, the analyses should also be completed for all samples.

In general, the data on organic pollutants in soils are considered incomplete. Only a few pollutant groups such as PAHs, PCBs or PCDD/Fs are well documented in the literature. For many other substances however, hardly any comparable data on background values in soils are available. In other mediums such as sewage sludge, sediments and surface waters, these pollutant groups have already been analysed in several studies.

In order to make general statements about the environmental state of grassland soils, more research is still required. It would be desirable to extend the scope of the project so that more sites are included.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

1 EINLEITUNG

Was sind POPs?

Unter persistenten organischen Schadstoffen (POPs) werden jene organischen Substanzen zusammengefasst, die in der Umwelt schwer abbaubar und darüber hinaus toxisch sind. Sie sind meist anthropogenen Ursprungs, entstehen vor allem durch industrielle Prozesse und gelangen in einer Vielzahl unterschiedlicher Verbindungen in die Umwelt. Die außerordentliche Persistenz dieser Stoffe gegenüber verschiedenen Abbaumechanismen (z. B. mikrobielle Tätigkeit, photochemischer Abbau durch Einwirkung von UV-Strahlung) und die weiträumige Verfrachtung aus Emissionen haben zu einer ubiquitären Belastung auch in emittentenfernen Gebieten geführt. Organische Schadstoffe anthropogener Herkunft werden daher in zunehmendem Maße in terrestrischen und aquatischen Ökosystemen nachgewiesen.

Internationale Abkommen

Auf internationaler Ebene wird mit dem "Protocol on Persistent Organic Pollutants" (1998) der UN-ECE sowie mit der Stockholm-Konvention (UNEP 2001) eine Verringerung der Belastung mit persistenten organischen Schadstoffen durch Verbote und Einschränkungen sowie durch verbindliche Richtlinien angestrebt. Die Stockholm-Konvention ist ein globales Abkommen, das von 50 Staaten ratifiziert wurde und seit 17.5.2004 in Kraft ist. Die Liste der darin aufgenommenen POPs, für die Anwendungs- oder Produktionsverbote bzw. -einschränkungen vereinbart wurden, kann im Zuge von Revisionen der Konvention um neue POPs erweitert werden.

Derzeit sind nur wenige österreichweite Daten über organische Schadstoffe in Böden verfügbar. Der Großteil dieser Informationen liegt für industrienahe Gebiete vor oder ist auf Waldstandorte, die einer besonderen Schadstoffdynamik unterliegen, bezogen.

Ziel dieser Studie

Daher wurden im Rahmen dieses Projektes 14 extensiv genutzte Grünlandstandorte beprobt (Tiefenstufen 0–5 cm und 5–10 cm), um erste Informationen zu Gehalten an persistenten organischen Schadstoffen in landwirtschaftlich genutzten Böden emittentenferner Gebiete zu erhalten. Die Proben wurden auf die in Kapitel 2.3 beschriebenen Schadstoffe und allgemeinen Bodenparameter analysiert.

Die Ergebnisse stellen eine wesentliche Grundlage zur Beschreibung von ubiquitären Schadstoffbelastungen mit POPs und so genannten "upcoming organic pollutants" (neuartigen organischen Schadstoffen) in Grünlandböden dar.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

2 METHODIK

2.1 Auswahl der Untersuchungsstandorte

Kriterien für Standortauswahl

Für diese Untersuchung wurden 14 extensiv genutzte Grünlandstandorte ausgewählt. Wesentliche Kriterien für die Standortauswahl waren:

- Nutzung als Dauergrünland,
- extensive Nutzung der Flächen, d. h. keine Düngeranwendung (Wirtschafts-, oder Mineraldünger) zumindest in den letzten zehn Jahren,
- keine potenziellen Emissionsquellen in unmittelbarer Nähe.

Brachflächen, die einige Jahre zuvor noch ackerbaulich genutzt wurden, wurden daher aus dem Untersuchungsprogramm ausgeschlossen (z. B. Standort BGL 1).

Die Probenahme für dieses Projekt wurde zeitlich mit jener zum Umweltbundesamt-Projekt TETSOIL (Antibiotika in Gülle und Boden) (UMWELTBUNDESAMT 2005) abgestimmt und konnte damit effektiver und kostengünstiger gestaltet werden. Zusätzliche Beprobungsstandorte wurden in der Steiermark (STM 4und STM 5) und in Oberösterreich (OÖ 4– Zöbelboden – Intensivmessfläche im Rahmen des ICP-Integrated Monitoring des UN-ECE Programms über weiträumige, grenzüberschreitende Luftverunreinigungen – LRTAP) gewählt. Die Standorte umfassen Höhenlagen zwischen 200 und 1.000 m Seehöhe. Einzelheiten zu den Standorten sind aus Tabelle 24 (siehe Anhang 1) ersichtlich.

Lage der Probeflächen

Die Verteilung der beprobten Standorte über die Bundesländer ist wie folgt:

- Burgenland: .....2 Standorte,
- Kärnten: .....3 Standorte,
- Oberösterreich:.....4 Standorte,
- Steiermark: .....5 Standorte.

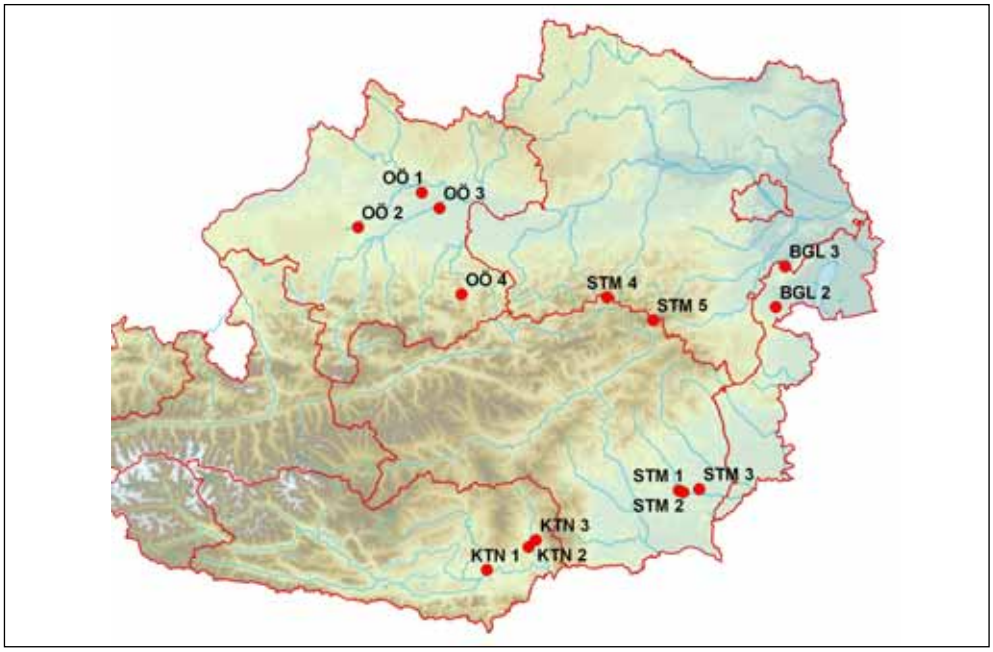


Abbildung 1: Lage der Untersuchungsstandorte.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

2.2 Probenahme, Probenlagerung und Probenaufbereitung

Die Beprobung der Standorte erfolgte im Zeitraum von Mai bis Oktober 2004, wobei an elf Standorten die Bodenproben Anfang Mai durchgeführt wurde. Der Standort STM 5 wurde Mitte Juni 2004, die Standorte STM 4 und OÖ 4 wurden im September bzw. Anfang Oktober 2004 beprobt.

Probenahme

Die Entnahme der Bodenproben erfolgte meistens mittels Schlagring (Höhe: 5 cm, Durchmesser: 8,5 cm) für die Tiefenstufen 0–5 cm und 5–10 cm. An fast allen der ausgewählten Standorte wurde innerhalb eines Probenkreises von 10 m Radius aus acht Einstichen eine Mischprobe je Tiefenstufe gewonnen. Lediglich am Standort STM 5 wich aufgrund der Seichtgründigkeit des Standortes die Anzahl der Einstiche für die beiden Tiefenstufen ab.

Probenlagerung

Das Bodenmaterial wurde je Tiefenstufe in 5 l-Glasgefäße gefüllt, gekühlt transportiert und tiefgekühlt gelagert.

Probenaufbereitung

Die Proben wurden nach DIN 38414 Teil 22 (mod.) gefriergetrocknet (lyophilisiert) und im Anschluss mit einem 2 mm-Sieb gesiebt. Grob- und Feinanteil wurden bestimmt. Danach wurden die Proben gemäß ÖNORM EN 12880 bis zur Gewichtskonstanz bei 105 °C getrocknet und die Trockenverluste für die Umrechnung von lyophilisierter zu 105 °C Trockenmasse bestimmt. Für die nachfolgenden Analysen wurde die Fraktion < 2 mm herangezogen.

2.3 Chemische Analysen

Analysenumfang

Der Analysenumfang betreffend POPs wurde anhand der in internationalen Programmen (Stockholm-Konvention, POP-Protokoll der UN-ECE, Wasserrahmenrichtlinie) zur Analyse vorgesehenen Parameter (siehe Tabelle 25, Anhang 1) und durch Expertenmeinung festgelegt. Neben den ausgewählten organischen Schadstoffen wurden auch Schwermetallgehalte und die wesentlichen allgemeinen Bodenparameter, wie z. B. pH-Wert, oder der Gehalt an organischer Substanz und Karbonatgehalt, analysiert (siehe Abbildung 2).

In einem ersten Schritt wurden alle ausgewählten Parameter für die Bodenproben der obersten Tiefenstufe (0–5 cm) bestimmt. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde eine Auswahl an Parametern getroffen, die auch in der nachfolgenden Tiefenstufe (5–10 cm) analysiert wurden. Ein wesentliches Kriterium dafür war, dass zumindest für einen Teil der Proben ein gesicherter Nachweis (Gehalte über der Bestimmungsgrenze des Schadstoffes) in der obersten Tiefenstufe erbracht werden konnte.

Die Bestimmung der allgemeinen Bodenparameter erfolgte im Bodenlabor der Agentur für Gesundheit und Ernährungssicherheit (AGES). Die Analyse der organischen Schadstoffe und der Schwermetallgehalte wurde in den Labors des Umweltbundesamtes durchgeführt.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Schwermetalle	1,2,3,4,7,8 HxCDD	**PCB**	**PBDE**	**Phenole**
Arsen	1,2,3,6,7,8 HxCDD	PCB_28	BDE-11	4Nonylphenol techn.
Cadmium	1,2,3,7,8,9 HxCDD	PCB_52	BDE-1725	Bisphenol A
Quecksilber	1,2,3,4,6,7,8 HpCDD	PCB_101	BDE-28	
Molybdän	OCDD	PCB_153	BDE-47	**Chlorphenole**
Selen	SummeTCDD	PCB_138	BDE-49	2-Chlorphenol
Vanadium	SummePeCDD	PCB_180	BDE-77	3-Chlorphenol
Kobalt	Summe-HxCDD	Summe_6_PCB	BDE-85	4-Chlorphenol
Kupfer	Summe-HpCDD		BDE-99	2,4 + 2,5-Dichlorphenol
Chrom	2,3,7,8 TCDF	**Kohlenwasserstoffe**	BDE-100	3,4-Dichlorphenol
Nickel	1,2,3,7,8-PeCDF	KW_Index	BDE-116	2,3-Dichlorphenol
Blei	2,3,4,7,8-PeCDF		BDE-118	3,5-Dichlorphenol
Antimon	1,2,3,4,7,8-HxCDF	**Nitrophenole**	BDE-126	2,6-Dichlorphenol
Thallium	1,2,3,6,7,8-HxCDF	2-Nitrophenol	BDE-138	2,3,6-Trichlorphenol
Zink	2,3,4,6,7,8-HxCDF	3-Nitrophenol	BDE-140	2,3,5-Trichlorphenol
	1,2,3,7,8,9-HxCDF	4-Nitrophenol	BDE-153	2,4,5-Trichlorphenol
Organochlorpestizide	1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	3-Methyl-2-nitrophenol	BDE-154	2,3,4-Trichlorphenol
Aldrin	1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	4-Methyl-2-nitrophenol	BDE-155	3,4,5-Trichlorphenol
cis_transChlordan	OCDF	2-Methyl-3-nitrophenol	BDE-166	2,3,5,6-Tetrachlorphenol
Dieldrin	Summe-TCDF	3-Methyl-4-nitrophenol	BDE-181	2,3,4,5-Tetrachlorphenol
Endrin	Summe-PeCDF	5-Methyl-2-nitrophenol	BDE-183	2,3,4,6-Tetrachlorphenol
Mirex	Summe-HxCDF	2,6-Dimethyl-4-nitrophenol	BDE-196	Pentachlorphenol
Heptachlor	Summe-HpCDF	2,6-Dinitrophenol	BDE-197	
Hexachlorbenzol (HCB)	Summe-PCDD	4-Methyl-2,6-dinitrophenol	BDE-203	
Hexachlorbutadien	Summe-PCDF	2,5-Dinitrophenol	BDE-209	
Pentachlorbenzol	Summe-PCDD/F	6-Methyl-2,4-dinitrophenol		
alpha_Endosulfan	Summe-2,3,7,8-Isomere	3,4-Dinitrophenol	**PAH**	
beta_Endosulfan	I-TEQ	2,4-Dinitrophenol	Naphthalin	
	WHO-TEQ Dioxin	Dinoseb	Acenaphthylen	
DDX			Acenaphthen	
op_DDE	**DL-PCBs**	**Organozinnverbindungen**	Fluoren	
pp_DDE	nonortho	Monobutylzinnkation	Phenanthren	
op_DDD	PCB-77	Dibutylzinnkation	Anthracen	
pp_DDD	PCB-82	Tributylzinnkation	Fluoranthen	
op_DDT	PCB-126	Tetrabutylzinnkation	Pyren	
pp_DDT	PCB-169	Diphenylzinnkation	Benzoaanthracen	
	monoortho	Triphenylzinnkation	Chrysen	
HCH	PCB-105		Benzobfluoranthen	
Alpha_HCH	PCB-114	**Phthalate**	Benzokfluoranthen	
Beta_HCH	PCB-118	Dimethylphthalat (DMP)	Benzo(a)pyren	
Gamma_HCH	PCB-123	Diethylphthalat (DEP)	Indeno123cdpyren	
Delta_HCH	PCB-156	Dibutylphthalat (DBP)	Dibenzacahanthracen	
	PCB-157	Butylbenzylphthalat (BBP)	Benzoghiperylen	
Dioxine und Furane	PCB-167	Diethylhexylphthalat (DEHP)	Summe PAH 6	
2,3,7,8TCDD	PCB-189	Dioctylphthalat (DOP)	Summe PAH 16	
1,2,3,7,8 PeCDD	WHO-TEQ DLPCB			

Abbildung 2: Überblicksliste der analysierten anorganischen und organischen Schadstoffe (graue Schriftfarbe kennzeichnet Substanzen, die nur in der Tiefenstufe 0–5 cm analysiert wurden).

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

In den folgenden Unterkapiteln sind die Messmethoden der analysierten Parameter beschrieben.

2.3.1 Allgemeine Bodenparameter

- pH-Wert in $CaCl_2$ nach ÖNORM L 1083,
- Karbonatgehalt, berechnet als $CaCO_3$ nach ÖNORM L 1084,
- Humusgehalt, trockene Verbrennung nach ÖNORM L 1080,
- Korngrößenverteilung (Sand, Schluff, Ton) nach ÖNORM L 1061-2.

2.3.2 Organische Schadstoffe

2.3.2.1 Organochlorverbindungen

Extraktion: Soxhlet mit n-Hexan.

Reinigung: GPC und Säulenreinigung mittels Kieselgel.

Qualitative und quantitative Bestimmung: Gaschromatographisch mit Gaschromatographie/Massenspektrometrie Quantifizierung nach einer internen Standardmethode mit Zugabe eines Injektionsstandards (IST Decachlorbiphenyl) und Wiederfindungskorrektur über die zugesetzten ^{13}C-markierten Surrogatestandards.

Tabelle 1: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Organochlorverbindungen (keine NG und BG bei Parametern die nur in der obersten Tiefenstufe analysiert wurden).

Parameter	NG	BG	NG	BG
	ng/kg TS		ng/kg TS	
	0–5 cm		5–10 cm	
Pestizide				
Aldrin	70–110	140–210	-	-
cis-, trans-Chlordan	20–21	40–42	-	-
Dieldrin	66–92	130–180	-	-
Endrin	68–110	140–220	-	-
Mirex	20–24	41–49	-	-
Heptachlor	60–64	120–130	-	-
Hexachlorbenzol (HCB)	37–39	75–77	50	100
Hexachlorbutadien	170	330–340	-	-
Pentachlorbenzol	130	260	130	260
alpha Endosulfan	52–67	100–130	-	-
beta Endosulfan	52–87	100–170	-	-
DDX				
o,p DDE	50–52	100	-	-
p,p DDE	100–120	200–250	-	-
o,p DDD	50–52	100	-	-
p,p DDD	51–62	100–120	-	-

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

(Fortsetzung) **Parameter**	**NG**	**BG**	**NG**	**BG**
	ng/kg TS		**ng/kg TS**	
	0–5 cm		**5–10 cm**	
o,p DDT	31–49	61–99	-	-
p,p DDT	30–45	61–90	-	-
HCH				
alpha HCH	61–75	120–150	-	-
beta HCH	50–70	100–140	-	-
gamma HCH	110–166	220–340	-	-
delta HCH	50–70	100–140	-	-

2.3.2.2 Polychlorierte Biphenyle (PCBs)

Dotation: 18 $^{13}C_{12}$-markierte PCBs (Surrogatstandards).

Extraktion: Soxhlet mit Toluol.

Reinigung: Dreistufig, säulenchromatographisch und Zugabe eines Injektionsstandards.

Qualitative und quantitative Bestimmung: Nach der Methode der Isotopenverdünnung mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie-Kopplung, bei einer Auflösung von 8.000–9.000 (M/M) – das bedeutet bei der PCB- und Dioxinbestimmung ein Auflösungsvermögen von 30–50 mmu (Millimasseneinheiten) – welches notwendig ist, um das native Kongener von Artefakten unterscheiden zu können.

Tabelle 2: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der PCBs.

Parameter	**NG = BG**
	ng/kg TS
PCB 28	0,4–3
PCB 52	0,4–3
PCB 101	0,4–3
PCB 153	0,4–3
PCB 138	0,4–3
PCB 180	0,4–3

2.3.2.3 Dioxine, Furane und DL-PCB

Dotation: 17 $^{13}C_{12}$-markierte PCDD/F.

Extraktion: Soxhlet mit Toluol.

Reinigung: Dreistufig, säulenchromatographisch und Zugabe eines Injektionsstandards.

Qualitative und quantitative Bestimmung: Nach der Methode der Isotopenverdünnung mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie-Kopplung bei einer Auflösung von 8.000–9.000 (M/M) über zwei Kapillarsäulen unterschiedlicher Polarität.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 3: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Dioxine, Furane und DL-PCB.

Parameter	NG = BG ng/kg TS 0–5 cm	NG = BG ng/kg TS 5–10 cm
Dioxine, Furane		
2,3,7,8-TCDD	0,04–0,26	-
1,2,3,7,8-PeCDD	0,04–0,26	-
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0,04–0,26	-
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0,04–0,26	-
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0,04–0,26	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0,04–0,26	-
OCDD	0,04–0,26	-
2,3,7,8-TCDF	0,04–0,26	-
1,2,3,7,8-PeCDF	0,04–0,26	-
2,3,4,7,8-PeCDF	0,04–0,26	-
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0,04–0,26	-
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0,04–0,26	-
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0,04–0,26	-
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0,04–0,26	-
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0,04–0,26	-
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0,04–0,26	-
OCDF	0,04–0,26	-
DL-PCBs		
co-planar		
PCB-77	0,1–1,3	0,08–0,25
PCB-82	0,1–1,3	0,08–0,23
PCB-126	0,1–1,3	0,09–0,25
PCB-169	0,1–1,3	0,04–0,12
mono-ortho		
PCB-105	0,1–1,3	0,18–0,60
PCB-114	0,1–1,3	0,07–0,25
PCB-118	0,1–1,3	0,16–0,71
PCB-123	0,1–1,3	0,11–0,33
PCB-156	0,1–1,3	0,14–0,76
PCB-157	0,1–1,3	0,08–0,31
PCB-167	0,1–1,3	0,11–0,58
PCB-189	0,1–1,3	0,08–0,26

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

2.3.2.4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs)

Die Bestimmung erfolgte gemäß ÖNORM L 1200.

Extraktion: Soxhlet mit n-Hexan.

Reinigung: Einstufige Festphasenreinigung.

Qualitative und quantitative Bestimmung: Gaschromatographie mit massenselektiver Detektion (GC-MSD).

Tabelle 4: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der PAHs.

Parameter	NG	BG
	µg/kg TS	
Naphthalin	0,16–0,23	0,56–0,82
Acenaphthylen	0,06–0,08	0,24–0,32
Acenaphthen	0,07–0,09	0,24–0,32
Fluoren	0,11–0,16	0,39–0,55
Phenanthren	0,08–0,09	0,30–0,35
Anthracen	0,02–0,03	0,09–0,12
Fluoranthen	0,09–0,10	0,33–0,38
Pyren	0,10–0,12	0,32–0,38
Benzo(a)anthracen	0,17–0,26	0,57–0,85
Chrysen	0,14–0,18	0,46–0,60
Benzo(b)fluoranthen	0,20–0,28	0,66–0,94
Benzo(k)fluoranthen	0,16–0,20	0,49–0,63
Benz(a)pyren	0,08–0,29	0,29–1,09
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	0,07–0,12	0,25–0,42
Dibenz(ac,ah)anthracen	0,09–0,15	0,33–0,52
Benzo(ghi)perylen	0,10–0,17	0,35–0,57

2.3.2.5 Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Dotation: 11 $^{13}C_{12}$-markierte PBDE-Kongenere (Surrogatstandards).

Extraktion: Soxhlet mit Toluol.

Reinigung: Vierstufig, säulenchromatographisch und Zugabe eines Injektionstandards.

Qualitative und quantitative Bestimmung: Nach der Methode der Isotopenverdünnung bzw. der internen Standardmethode mittels Gaschromatographie/Massenspektrometrie-Kopplung bei einer Auflösung von 8.000–9.000 (M/M) über zwei Kapillarsäulen unterschiedlicher Länge.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 5: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der PBDE.

Parameter	NG = BG	NG = BG
	ng/kg TS	
	0–5 cm	**5–10 cm**
BDE-11	0,02–0,11	0,1–0,69
BDE-17/25	0,03–0,2	0,19–0,85
BDE-28	0,05–0,32	0,39–1,43
BDE-47	0,04–0,94	0,18–0,77
BDE-49	0,05–0,79	0,25–0,95
BDE-77	0,03–0,3	0,15–0,49
BDE-85	0,1–2,36	0,25–1,35
BDE-99	0,08–1,0	0,27–1,29
BDE-100	0,04–0,9	0,35–1,12
BDE-116	0,58–2,67	1,36–5,01
BDE-118	0,19–0,95	0,46–1,67
BDE-126	0,07–0,42	0,31–2,8
BDE-138	0,26–1,7	0,59–3,21
BDE-140	0,17–1,21	0,36–2,98
BDE-153	0,15–1,12	0,3–2,87
BDE-154	0,1–1,01	0,17–2,15
BDE-155	0,11–1,19	0,16–2,79
BDE-166	0,36–2,21	0,74–5,68
BDE-181	2,3–22,59	7,32–14,0
BDE-183	0,68–4,42	1,67–3,61
BDE-196	0,05–1,05	0,06–0,91
BDE-197	0,05–0,91	0,06–0,85
BDE-203	0,05–1,04	0,07–1,08
BDE-209	5,63–42,47	8,26–580

2.3.2.6 4Nonylphenol und Bisphenol A

Dotation: Zugabe von deuterierten Surrogatstandards (4-NP-d6, BPA-d16).

Extraktion: Soxhlet mit Dichlormethan im sauren pH-Bereich.

Qualitative und quantitative Bestimmung: Lösungsmittelaustausch, Zugabe des internen Standards (4-n-NP, BPA-d8); Bestimmung mit der Liquid-Chromatographie Massenspektrometrie (LC-MS/MS).

Tabelle 6: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen von 4Nonylphenol und Bisphenol A.

Parameter	NG	BG	NG	BG
	µg/kg TS		µg/kg TS	
	0–5 cm		**5–10 cm**	
4Nonylphenol techn.	5	10	2,5	5
Bisphenol A	0,5	1,0	2,5	5

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

2.3.2.7 Chlorphenole

Dotation: Zugabe von Dichlorphenol-C^{13}, PCP-C^{13} (Surrogatstandards).

Extraktion: Soxhlet mit n-Hexan und Aceton (50:50), dreimalige Extraktion der organischen Phasen mit Kalilauge. Derivatisierung mit Acetanhydrid und Kaliumcarbonat unter pH-Kontrolle. Festphasenextraktion über C^{18}.

Qualitative und quantitative Bestimmung: Zugabe eines internen Standards; Bestimmung mittels Gaschromatographie mit massenselektiver Detektion (MSD) und Quantifizierung nach der internen Standardmethode.

Tabelle 7: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Chlorphenole.

	BG	NG
Parameter	**µg/kg TS**	
2-Chlorphenol	2,0	0,66
3-Chlorphenol	2,0	0,66
4-Chlorphenol	2,0	0,66
2,4 + 2,5-Dichlorphenol	1,5	0,50
3,4-Dichlorphenol	1,5	0,50
2,3-Dichlorphenol	2,0	0,66
3,5-Dichlorphenol	2,0	0,66
2,6-Dichlorphenol	2,0	0,66
2,3,6-Trichlorphenol	1,5	0,5
2,3,5-Trichlorphenol	1,5	0,5
2,4,5-Trichlorphenol	1,5	0,5
2,3,4-Trichlorphenol	1,5	0,5
3,4,5-Trichlorphenol	1,5	0,5
2,3,5,6-Tetrachlorphenol	1,5	0,5
2,3,4,5-Tetrachlorphenol	1,5	0,5
2,3,4,6-Tetrachlorphenol	1,5	0,5
Pentachlorphenol	2,0	0,66

2.3.2.8 Nitrophenole

Extraktion: Ultraschallextraktion mit H_2O:H_2SO_4 im Verhältnis 100:1.

Reinigung: Festphasenextraktion, einstufige Säulenchromatographie mit Aluminiumoxid 8 % und anschließende Derivatisierung mit Diazomethan.

Qualitative und quantitative Bestimmung: Zugabe eines Injektionsstandards; Bestimmung als Anisole mit Gaschromatographie/Massenspektrometrie, Quantifizierung nach externer Standardmethode.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 8: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Nitrophenole.

Parameter	NG	BG
	µg/kg TS	
3-Nitrophenol	0,88–0,91	1,8
2-Nitrophenol	1,1	2,2–2,3
3-Methyl-2-nitrophenol	1,1–1,4	2,3–2,7
4-Nitrophenol	0,89	1,8
2-Methyl-3-nitrophenol	1,2–1,4	2,4–2,7
4-Methyl-2-nitrophenol	1,1–1,3	2,3–2,7
3-Methyl-4-nitrophenol	1,0–1,2	2,1–2,3
5-Methyl-2-nitrophenol	1,1–1,4	2,1–2,8
2,6-Dimethyl-4-nitro-phenol	1,4–1,7	2,8–3,4
2,6-Dinitrophenol	0,8–1,0	1,6–2,0
4-Methyl-2,6-dinitro-phenol	0,97–1,2	1,9–2,4
2,5-Dinitrophenol	0,92–1,2	1,8–2,4
6-Methyl-2,4-dinitro-phenol	1,1–1,6	2,2–3,1
3,4-Dinitrophenol	3,8–5,5	7,6–11,0
2,4-Dinitrophenol	4,7–5,5	9,4–11,0
Dinoseb(2-sec.-Butyl-4-6-dinitrophenol)	1,5–2,3	2,9–4,5
3-Nitrophenol	0,88–0,91	1,8

2.3.2.9 Phthalate (Dibutylphthalat, Diethylexylphtalat)

Extraktion: Ultraschall mit Ethylacetat.

Reinigung: einstufige Säulenchromatographie mit Aluminiumoxid.

Qualitative und quantitative Bestimmung: Zugabe eines Injektionsstandards (Methylpalmitat); Bestimmung mittels Gaschromatographie mit massenselektiver Detektion (MSD) und Quantifizierung nach der internen Standardmethode.

Tabelle 9: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Phthalate.

Parameter	NG	BG
	µg/kg TS	
Dimethylphthalat	2,5	5,0
Diethylphthalat	2,5	5,0
Dibutylphthalat	2,5	5,0
Butylbenzylphthalat	2,5	5,0
Diethylhexylphthalat	2,5	5,0
Dioctylphthalat	2,5	5,0

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

2.3.2.10 Organozinnverbindungen

Dotation: Zugabe von Surrogatstandards und Zusatz eines Komplexierungsmittels.

Extraktion: Ultraschall mit Ethanol.

Reinigung: Zugabe eines Acetatpuffers, Alkylierung bei pH 3,4 und Extraktion mit n-Hexan, Aufreinigung mit GPC und Aluminiumoxid.

Quantitative Bestimmung: Zugabe eines Injektionsstandards (Methylpalmitat); Bestimmung mittels Gaschromatographie mit massenselektiver Detektion (MSD) und Quantifizierung nach der internen Standardmethode.

Tabelle 10: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der Organozinnverbindungen.

	BG	NG
Parameter	**µg/kg TS**	
Monobutylzinnkation	4,0	2,0
Dibutylzinnkation	4,0	2,0
Tributylzinnkation	4,0	2,0
Tetrabutylzinnkation	4,0	2,0
Diphenylzinnkation	4,0	2,0
Triphenylzinnkation	4,0	2,0

2.3.2.11 KW-Index

Dotation: Zugabe von Retention-Time-Window Standardlösung (RTW-Lösung) und Aceton als Lösungsvermittler.

Extraktion: Überkopfschüttler.

Reinigung: Entfernung des Acetons mit Reinstwasser, säulenchromatographische Aufreinigung mit Florisil.

Auswertung: nach externer Standardmethode; Die Bestimmung erfolgte gemäß ISO/DIS 16703:2004(E).

Tabelle 11: Bestimmungsgrenze des KW-Index.

	BG
Parameter	**mg/kg TS**
	0–5 cm
KW-Index	100

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

2.3.3 Anorganische Schadstoffe – Schwermetalle

Aufschluss: Königswasser nach ÖNORM EN 13346 (modifiziert).

Qualitative und quantitative Bestimmung:

Cd, Mo, Se, Co, Cu, Cr, Ni, Pb, Sb, Tl, Zn mittels ICP-MS; Basisnorm DIN 38406 Teil 29 (modifiziert).

Hg nach Reduktion mit Natriumborhydrid mittels Fließinjektions-Kaltdampf-AAS, Basisnorm ÖNORM EN 1483 (modifiziert).

As mittels Graphitrohr-AAS, Basisnorm prEN ISO 15586:2001 (modifiziert).

V mittels ICP-OES (Optische ICP-Emissionsspektrometrie), Basisnorm ÖNORM EN ISO 11885 (modifiziert).

Tabelle 12: Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenzen der anorganischen Schadstoffe.

Parameter	NG	BG
	mg/kg TS	
Arsen	0,025	0,05
Cadmium	0,0001	0,05
Quecksilber	0,0125	0,025
Molybdän	0,001	0,05
Selen	0,01	0,05
Vanadium	1,00	2,0
Kobalt	0,0002	0,005
Kupfer	0,01	0,25
Chrom	0,001	0,005
Nickel	0,0004	0,10
Blei	0,002	0,005
Antimon	0,0004	0,005
Thallium	0,0001	0,005
Zink	0,016	0,1

2.3.4 Definition der Nachweis- und Bestimmungsgrenze

Die **Nachweisgrenze** (NG) ist derjenige Gehalt, der unter Verwendung der ermittelten Kalibrierfunktion dem kritischen Wert der Messgröße zuzuordnen ist. Der kritische Wert der Messgröße ist derjenige Wert, bei dessen Überschreitung unter Zugrundelegung einer festgelegten Irrtumswahrscheinlichkeit erkannt wird, dass der Gehalt des Bestandteils in der Analysenprobe größer ist als derjenige in der Leerprobe.

Die **Bestimmungsgrenze** (BG) ist der Gehalt, bei dem unter Zugrundelegung einer festgelegten Wahrscheinlichkeit die relative Ergebnisunsicherheit einen vorgegebenen Wert annimmt. Die relative Ergebnisunsicherheit ist der Quotient aus dem halben zweiseitigen Prognoseintervall und dem zugehörigen Gehalt.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

NG und BG hängen wie folgt zusammen: BG = k x NG.

In der GC-Analytik gilt üblicherweise k = 2. Die Isotopenverdünnungsanalytik (Verwendung von isotopenmarkierten Standards für die Identifizierung/Quantifizierung) ist in dieser Hinsicht ein Sonderfall. Hier wird üblicherweise NG = BG angenommen (gilt für PCDD/F, PCB, PBDE).

Die Definitionen stammen aus der DIN 32 645 – „Nachweis-, Erfassungs- und Bestimmungsgrenze“.

2.3.5 Statistische Methoden

Für die Berechnung der statistischen Kenngrößen (z. B. Perzentile, Mittelwert) wurden für die Gehalte kleiner der Nachweisgrenzen der Wert Null, für die Gehalte zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze der halbe Wert der Bestimmungsgrenze, bezogen auf die Trockensubstanz bei 105 °C, eingesetzt. Daraus ergeben sich bei den Perzentilberechnungen teilweise Stoffgehalte, die unter der Bestimmungsgrenze liegen. Diese sind in kursiver Schrift gehalten.

Alle statistischen Berechnungen wurden mit der Statistiksoftware SPSS (Version 13.0) durchgeführt.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3 ERGEBNISSE UND DISKUSSION

In diesem Kapitel wird einleitend zu jeder Gruppe der untersuchten Schadstoffe ein Überblick zu deren Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz gegeben. Die Informationen stammen aus Quellen renommierter Institutionen (ATDSR, IPCS, EPA, UN-ECE, WHO) und verschiedenen Datenbanken (ESIS, IRIS, IUCLID, HSDB, PAN, TOXNET) sowie einzelnen Publikationen, zu denen entsprechende Literaturhinweise angeführt sind.

Des Weiteren sind die Ergebnisse der Analysen der Grünlandböden zusammenfassend dargestellt und interpretiert. Die detaillierten Analysenwerte sind je Schadstoffgruppe in den Tabellen im Anhang 2 enthalten. Die Ergebnisse der Schwermetallgehalte werden in diesem Bericht nicht diskutiert, sind jedoch in der Tabelle 41 im Anhang 2 enthalten.

Wesentliche Definitionen und Hinweise zu diversen Fachbegriffen (z. B. Biokonzentrationsfaktoren) können dem Abkürzungsverzeichnis/Glossar entnommen werden.

3.1 Organochlorverbindungen

3.1.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Bei Organochlorverbindungen handelt es sich um schwer flüchtige Feststoffe, die eine geringe Wasserlöslichkeit, jedoch eine gute Löslichkeit in organischen Lösungsmitteln aufweisen.

Verwendung

Sie werden als Pestizide zur Insektenbekämpfung (z. B. Termiten), zur Kontrolle von Vektoren (Überträgern von Krankheitserregern z. B. für Malaria) und als Holz- und Textilschutzmittel verwendet. In vielen Ländern ist ihre Verwendung heute verboten bzw. gibt es streng limitierte Anwendungsbereiche.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

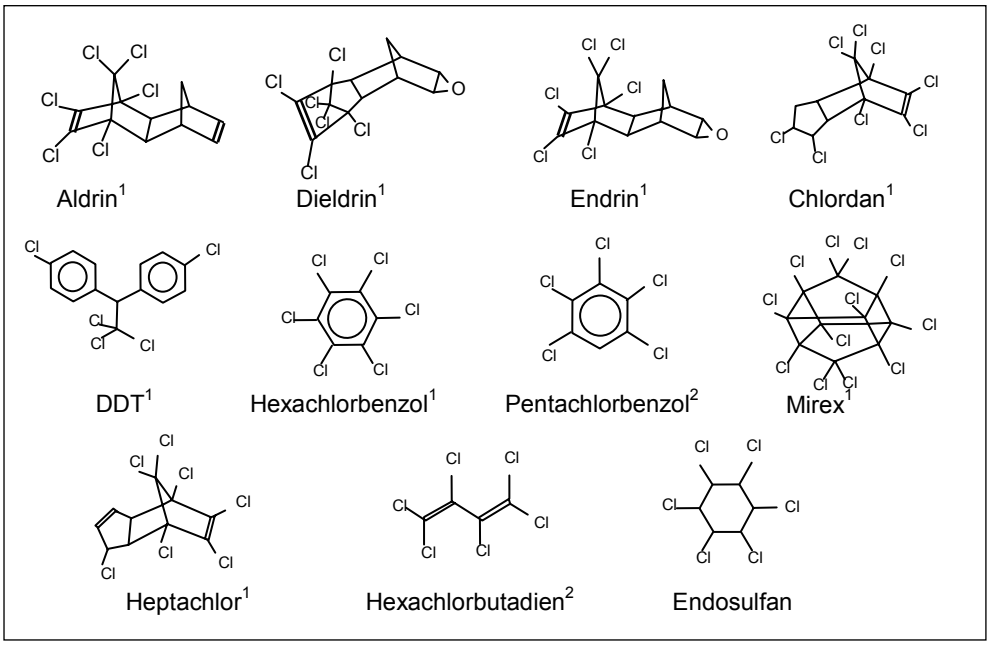


Abbildung 3: Strukturformeln ausgewählter Organochlorverbindungen.

1 in Stockholm-Konvention

2 als neue POPs (UN-ECE – LRTAP Protokoll) in Diskussion

Eigenschaften/ Umweltverhalten

Organochlorverbindungen sind persistent, lipophil und weisen ein hohes Akkumulationspotenzial auf. Der Log K_{OW} liegt zwischen 3,209 und 7,4 (siehe Abkürzungen und Glossar und Tabelle 27, Anhang 1). Teilweise erfolgt eine starke Absorption an Bodenpartikel, ebenso kann es teilweise zur Verflüchtigung in Luftkompartimente kommen. Die Gefährdung einer Auswaschung ins Grundwasser ist als gering einzustufen (Ausnahme: Endrin). Organochlorverbindungen haben die Fähigkeit, über sehr lange Strecken transportiert zu werden. Dies wurde durch ihren Nachweis in der Arktis (in Luft, Wasser, Organismen) bereits mehrfach bestätigt (AMAP 2004, UN-ECE 2002, VERREAULT et al. 2005).

Biokonzentration

Die Biokonzentrationsfaktoren von ausgewählten Organochlorverbindungen sind in Tabelle 27 im Anhang 1 dargestellt.

Toxikologie

Aus der Tabelle 28 im Anhang 1 ist ersichtlich, dass alle genannten Organochlorverbindungen (augenommen Hexachlorbutadien) als umweltgefährlich eingestuft sind. Die Substanzen sind generell toxisch, es gibt jedoch Unterschiede bezüglich ihrer kanzerogenen, teratogenen und reproduktionstoxischen Eigenschaften. Bestimmte Vertreter, wie beispielsweise DDT, sind darüber hinaus endokrin wirksam, immuntoxisch und können das Nervensystem, insbesondere bei einer Exposition in Entwicklungsphasen, schädigen. Derzeit werden viele Substanzen von der WHO und anderen Organisationen neu bewertet, da der Verdacht besteht, dass die tägliche Aufnahme geringer Dosen bereits negative Auswirkungen haben kann. Tabelle 13 gibt eine Übersicht der täglichen Aufnahmemengen der Pestizide bei welchen nach derzeitigem Wissensstand keine Beeinträchtigung der Gesundheit zu erwarten ist.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 13: ADI (WHO) und TDI der ausgewählten Organochlorverbindungen (µg/kg/Tag).

Substanz	ADI (in µg/kg/Tag)	TDI (in µg/kg/Tag)
Aldrin und Dieldrin	0,1 (vorläufig, 1994)	0,03 (EPA)
Endrin	0,2 (JMPR)	
Chlordan	0,5 (vorläufig, 1994)	
DDT	10 (vorläufig, 2000)	
Mirex	-	
Heptachlor	0,1 (vorläufig, 1994)	
Hexachlorbenzol		1 (Trinkwassergrenzwert, 1993)
Hexachlorbutadien	0,2	
Pentachlorbenzol	10 (IPCS, WHO)	
Endosulfan	6 (1998)	
HCH	1 (vorläufig, 1997)	0,01 (ATDSR)

JMPR ..... Joint FAO/WHO Meeting on Pestizide Residues

IPCS..... International Programme on Chemical Safety, WHO

ATDSR..... Agency for Toxic Substances and Disease Registry

EPA..... US Environmental Protection Agency

WHO ..... World Health Organisation

3.1.2 Gehalte in Grünlandböden

Für den Großteil der analysierten Organochlorverbindungen konnte in der obersten Tiefenstufe (0–5 cm) der beprobten Grünlandböden trotz niedriger Bestimmungsgrenze (siehe Kapitel 2.3.2.1) kein gesicherter Nachweis erbracht werden. Im Wesentlichen trifft dies für folgende analysierte Substanzen zu:

Aldrin, cis-, trans-Chlordan, Dieldrin, Endrin, Mirex, Heptachlor, Hexachlorbutadien, alpha Endosulfan, beta Endosulfan sowie für die Verbindungen der Hexachlorcyclohexane (alpha HCH, beta HCH, gamma HCH, delta-HCH).

DDX

Ähnlich unauffällig verhalten sich die Gehalte von DDT und seinen Metaboliten DDD und DDE. An zwei Standorten (STM 2 und BGL 3) wurden für p,p DDE Gehalte von 0,37 bzw. 0,54 µg/kg TS festgestellt. Die Werte für alle anderen Metabolite liegen unter den Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenzen. Da die Reihenfolge des Abbaus von DDT über DDD zu DDE erfolgt, wäre dies ein möglicher Hinweis für einen früheren Eintrag von DDT. Insbesondere, als an diesen Standorten für DDD und DDT auch Werte zwischen Nachweis- und Bestimmungsgrenze detektiert wurden. Vergleichswerte von Grünlandstandorten der BZI Kärnten zeigen, dass auch dort an nur vereinzelten Standorten DDX-Werte über der Bestimmungsgrenze von 0,5 µg/kg TS liegen (AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG 1999). Untersuchungen von Humusauflagen in Hintergrund-Waldgebieten wiesen mit einem Median von 4,9 bzw. 7,8 µg/kg TS jedoch eindeutig höhere DDX-Gehalte auf (UMWELTBUNDESAMT 1998, 2002). Auch abgeleitete Hintergrundwerte in internationalen Studien liegen jeweils im Bereich von einigen µg/kg TS (LABO 1998, 2003; MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG, LAND BRANDENBURG 2002).

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Hexachlorbenzol (HCB) und Pentachlorbezol konnte an ca. der Hälfte der Standorte nachgewiesen werden. Ihre Bestimmung erfolgte daher in beiden Tiefenstufen. Ihre statistischen Kennwerte sind in Tabelle 14 angeführt.

Tabelle 14: Statistische Kennwerte von HCB und Pentachlorbenzol (µg/kg TS; n = 14).

Substanz	cm	Min.	25. Perz.	Median	75. Perz.	Max.	MW	StdAbw.	Inter-quartil-abstand	n > BG	NG > n > BG	N < NG
Hexachlor-benzol (HCB)	0–5	< NG	*0,038*	*0,039*	0,13	0,22	0,75	0,67	0,87	6	6	2
	5–10	< NG	< NG	*0,090*	0,36	1,10	0,21	0,30	0,36	7	3	4
Pentachlor-benzol	0–5	< NG	< NG	*0,26*	0,59	2,40	0,43	0,65	0,59	7	1	6
	5–10	< NG	*0,13*	0,71	1,20	2,60	0,81	0,76	1,07	10	2	2

Hexachlorbenzol (HCB)

Die Gehalte von Hexachlorbenzol liegen zwischen < NG (< 0,04 bzw. < 0,05 µg/kg TS) und maximal 0,22 µg/kg TS (0–5 cm) bzw. 1,1 µg/kg TS (5–10 cm). Die Mediane errechnen sich für beide Tiefenstufen mit Gehalten unter der Bestimmungsgrenze (0–5 cm: 0,039 µg/kg TS; 5–10 cm: 0,090 µg/kg TS). An nur einem Standort (BGL 2) lagen für beide Tiefenstufen die Gehalte unter der Nachweisgrenze.

Die Sorption von HCB im Boden wird in erster Linie durch den Gehalt an organischer Substanz bestimmt. Gekoppelt mit der geringen Wasserlöslichkeit ist die Mobilität und Auswaschung von HCB in tiefere Bodenhorizonte als äußerst gering einzustufen (FIEDLER et al. 1995). Demnach lässt die Verteilung der analysierten HCB-Gehalte über die beiden Tiefenstufen keine eindeutigen Abbau- bzw. Verlagerungsprozesse erkennen. Dem Maximalgehalt der zweiten Tiefenstufe von 1,1 µg/kg TS am Standort STM 2 steht ein Gehalt unter der Bestimmungsgrenze von < 0,076 µg/kg TS in der darüber liegenden Bodenschicht gegenüber. Weitere fünf Standorte weisen ebenso im obersten Bodenhorizont geringere HCB-Gehalte auf. Dies könnte auf die höhere Volatilität von HCB an der Bodenoberfläche zurückzuführen sein (FIEDLER et al. 1995). An anderen Standorten verhält sich die Verteilung jedoch gegenläufig (z. B. KTN 2, STM 1), oder es ergibt sich eine relativ gleichmäßige Stoffverteilung (z. B. BGL 3, OÖ 1).

In der Literatur werden vergleichbare Gehalte < 10 µg/kg TS bis < 2 µg/kg TS als Hintergrundbelastungen von Böden angegeben (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG, LAND BRANDENBURG (Hg.) 2002). Frühere Studien von Waldhintergrundstandorten ergaben für Auflagehumus Gehalte von < 1,9 µg/kg TS (UMWELTBUNDESAMT 1998, 2002). Die Boden-HCB-Gehalte der untersuchten 14 Grünlandstandorte liegen deutlich unter diesen Werten.

Pentachlorbenzol

Die Gehalte von Pentachlorbenzol (PeCB) liegen zwischen < NG (< 0,13 µg/kg TS) und maximal 2,4 µg/kg TS (0–5 cm) bzw. 2,6 µg/kg TS (5–10 cm). Die Mediane liegen um die Bestimmungsgrenze von 0,26 µg/kg TS (0–5 cm) bzw. bei 0,71 µg/kg TS (5–10 cm). An neun Standorten weist Pentachlorbenzol in der zweiten Tiefenstufe wesentlich höhere Gehalte als im obersten Bodenhorizont auf, was ebenso auf eine höhere Verflüchtigung in oberflächennahen Bodenschichten zurückzuführen sein könnte. Pentachlorbenzol wurde als Fungizid und flammhemmender Wirkstoff eingesetzt, wird aber mittlerweile innerhalb der UN-ECE-Staaten nicht mehr produziert. Pentachlorbenzol war als Verunreinigung sowohl in HCB als auch im Pestizid Quintozene enthalten. Es wird angenommen, dass PeCB bei der Müllverbrennung

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

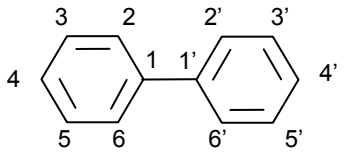
(insbesondere von Organochlorverbindungen und Kohlenwasserstoffpolymeren) in die Umwelt gelangt. PeCB wurde in Abfall und Abwasser von Papierfabriken, der Eisen- und Stahlproduktion sowie von Raffinerien nachgewiesen. Auch Deponien dürften aufgrund vergangener Verwendung Quellen von PeCB darstellen (VAN DE PLASSCHE et al. 2002). Darüber hinaus kommt es unter anaeroben Bedingungen zur Dechlorinierung von Hexachlorbenzol. Der Abbau erfolgt über Pentachlorbenzol zu Trichlorbenzolen (FATHEPURE et al. 1988).

3.2 Polychlorierte Biphenyle (PCBs und DL-PCBs)

3.2.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Verwendung

Bei PCBs handelt es sich um Mischungen chlorierter Kohlenwasserstoffe, welche seit 1930 intensiv industriell genutzt wurden. Sie wurden unter anderem in Transformatoren, Dichtungsmassen, Isolatoren (Elektrik) und Wärmetauscherflüssigkeiten eingesetzt.



Polychloriertes Biphenyl

Abbildung 4: Allgemeine Strukturformel der PCBs.

Eigenschaften/ Umweltverhalten

In Abhängigkeit von Anzahl und Stellung der Chloratome (siehe Abbildung 4) ergeben sich 209 mögliche PCBs.

Log K_{OW}: 4,3 (mono) bis 8,26 (deca), Dampfdruck (0,9–2,5 Pa (mono) bis 0,00003 Pa (deca).

Die Wasserlöslichkeit und der Dampfdruck nehmen mit dem Substituierungsgrad ab, die Lipidlöslichkeit nimmt mit dem Chlorierungsgrad zu.

Die so genannten Ballschmiter PCBs sind eine Auswahl von sechs Kongeneren, die in technisch hergestellten PCB-Produkten in höchsten Konzentrationen vorkommen. Die so genannten DL-PCBs (dioxin-like PCB) umfassen insgesamt 12 Kongenere, wovon vier (PCB 77, PCB 82, PCB 126, PCB 169) zu den co-planaren PCBs und acht (PCB 105, PCB 114, PCB 118, PCB 123, PCB 156, PCB 157, PCB 167, PCB 189) zu den mono-ortho PCBs zählen. Toxikologische Studien zeigten, dass sie aufgrund ihrer Molekülstruktur eine dioxinähnliche Wirkung entfalten können. Die WHO hat daher erstmals 1997 TEF (Toxizitätsäquivalenzfaktoren) für jene 12 Kongenere eingeführt.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Ihre Abbaubarkeit ist im Allgemeinen stark vom Chlorierungsgrad abhängig. PCBs verbinden sich mit organischem Bodenmaterial, Sedimenten, biologischen Geweben und mit der Partikelphase in aquatischen Ökosystemen. Übergänge von der Festphase in die Gasphase sind stark von der Temperatur abhängig und erfolgen über die Wasser- und Bodenoberflächen. Der weitere Transport erfolgt durch die Luft.

Biokonzentration

Die Biokonzentrationsfaktoren steigen mit dem Chlorierungsgrad und der Abnahme der Wasserlöslichkeit der PCBs. Maximale BCF-Faktoren wurden bei den hexachlorierten Kongeneren beobachtet. Die Biokonzentration wurde für das technische PCB-Gemisch Aroclor 1260 (CAS-Nr.: 11097-69-1, EG-Nr.: 602-039-00-4) ermittelt: 1.100–24.000 (1 µg/l Expositionsdauer: 20–90 Tage in Fisch (Dickkopfelritze), HSDB).

Toxikologie

Polychlorierte Biphenyle gehören zu der Gruppe der Stoffe mit begründetem Verdacht auf krebserzeugendes Potenzial (B-GKV 2002). Darüber hinaus können alle PCBs tumorpromovierend wirken. Die Toxizität der PCBs ist von Anzahl und Position der Chloratome abhängig. Als wichtiges DL-PCB-Kongener ist dabei PCB 126 zu nennen, da es von der WHO mit dem hohen TEF von 0,1 belegt wurde.

Die IARC stufte PCBs in Gruppe 2A (wahrscheinlich krebserregend beim Menschen) ein. Aktuelle Studien belegen immuntoxische und neurotoxische Effekte von PCBs beim Menschen. Der Hauptbelastungspfad für den Menschen ist die orale Aufnahme über fettreiche Lebensmittel, z. B. Fisch. In Einzelfällen kann auch die Inhalation in stark kontaminierten Innenräumen von Bedeutung sein.

Der ADI liegt für eine langfristige orale Aufnahme einer PCB-Mischung (technisches Gemisch Aroclor, 1254) bei 0,02 µg/kg/Tag (IPCS 2003). Die Verwendung einer definierten Mischung ist jedoch auch problematisch, da bekannt ist, dass die in der Umwelt vorliegenden PCB-Gemische in der Zusammensetzung variieren.

Aus Gründen der unzureichenden Datenbasis wurde keine tolerierbare PCB Konzentration für langfristige inhalative Aufnahme festgelegt.

3.2.2 Gehalte in Grünlandböden

Die Gehalte der einzelnen PCB-Kongenere liegen – mit wenigen Ausnahmen der DL-PCBs – für alle Proben über den Bestimmungsgrenzen.

Summe sechs PCB nach Ballschmiter

Die Summengehalte für die sechs PCB-Kongenere nach Ballschmiter (siehe Tabelle 15) ergeben Werte zwischen 0,85 und 3,52 µg/kg TS (Median: 1,2 µg/kg TS) und liegen in ähnlicher Größenordnung wie jene anderer Untersuchungen (AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG 1993, AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG 1999). Etwas höhere PCB-Gehalte mit einem Median von 4,5 µg/kg TS (n = 9) bzw. 3,3 µg/kg TS (n = 25) wurden im Auflagehumus entlegener Waldstandorte von Österreich und Slowenien gemessen (UMWELTBUNDESAMT 1998, 2002). Bei allen genannten Untersuchungen zeigt sich deutlich, dass die höher chlorierten PCBs (PCB 138 und PCB 153) in Böden zu deutlich höheren Anteilen an der PCB-Summe vertreten sind als nieder chlorierte PCBs. Trotz der geringen Gesamtbelastung der Grünlandstandorte mit PCBs fallen am Standort STM 3 deutlich die höchsten Gehalte für PCB 138 und PCB 153 (1,1 bzw. 1,3 µg/kg TS) auf. Allein die Summe dieser beiden Kongenere ergibt an diesem Standort fast 70 % der Summe der sechs PCB aus.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

In der Literatur werden Hintergrundgehalte von PCBs in landwirtschaftlich genutzten Böden der gemäßigten Breiten mit 1–20 µg/kg TS angegeben (KRAUSS 2004a). Vorsorgewerte wurden für den Summengehalt von PCBs nach Ballschmiter in der deutschen Bundes-Bodenschutzverordnung (BBODSCHV 1999) mit 50 µg/kg TS (Humus ≤ 8 %) bzw. 100 µg/kg TS (Humus ≥ 8 %) festgelegt. Erste Analysen von Beprobungen an bayrischen Bodendauerbeobachtungsflächen (LFL 2005) zeigten, dass die PCB-Gehalte in Grünlandböden maximal 1/10 dieses Vorsorgewertes aufweisen. Darüber hinaus werden für wenig belastete Böden in der Literatur PCB-Gehalte zwischen 10 und 100 µg/kg TS genannt (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, LABO 1998).

Die PCB-Gehalte der in dieser Studie beprobten Grünlandstandorte sind daher durchwegs als Hintergrundgehalte zu beurteilen.

Tabelle 15: Statistische Kennwerte von PCBs für die Tiefenstufe 0–5 cm (µg/kg TS; n = 14).

Substanz	Min.	25. Perz.	Medi-an	75. Perz.	Max.	MW	StdAbw.	IntQuart-Abst.	n > BG	NG > n > BG	N < NG
PCB 28	0,07	0,09	0,11	0,16	0,23	0,13	0,04	0,07	14	0	0
PCB 52	0,06	0,07	0,08	0,10	0,11	0,08	0,02	0,03	14	0	0
PCB 101	0,08	0,12	0,16	0,18	0,28	0,16	0,05	0,07	14	0	0
PCB 138	0,21	0,24	0,32	0,44	1,10	0,38	0,23	0,20	14	0	0
PCB 153	0,22	0,27	0,37	0,47	1,30	0,44	0,27	0,20	14	0	0
PCB 180	0,08	0,11	0,16	0,24	0,66	0,19	0,15	0,13	14	0	0
Σ 6 PCB	**0,85**	**0,96**	**1,20**	**1,46**	**3,52**	**1,39**	**0,68**	**0,50**	**14**	**0**	**0**

DL-PCBs

Gehalte an co-planaren und mono-ortho substituierten PCBs konnten in den meisten Bodenproben nachgewiesen werden (siehe Tabelle 16) und liegen im Bereich weniger Nanogramm. Da zu diesen Kongeneren noch kaum Daten verfügbar sind, wurden die DL-PCBs auch in der Tiefenstufe 5–10 cm analysiert.

Auffällig ist, dass die Maximalgehalte der nieder chlorierten DL-PCBs (PCB 77, 81, 126, 105, 114 und 118) für die oberste Tiefenstufe (0–5 cm) am Standort OÖ 2 auftreten, während dies für die zweite Tiefenstufe (5–10 cm) zumeist am Standort STM 4 zutrifft. Die Maximalgehalte der höher chlorierten PCBs (PCB 123, 156, 157, 167, 189) weisen die Standorte STM 2 und STM 3 auf.

Die PCB-Muster sind – wie aus Abbildung 5 ersichtlich ist – über alle Standorte und Tiefenstufen sehr ähnlich. Die höchsten Anteile an der Summe der DL-PCBs weisen die mono-ortho PCBs (PCB 118, 105 und 156) auf. Dies wurde auch für DL-PCB-Gehalte im Auflagehumus entlegener Waldstandorte (UMWELTBUNDESAMT 2002) festgestellt und dürfte auf die bevorzugte Akkumulation von schwer flüchtigen und stärker Wasser abweisenden Substanzen in Böden zurückzuführen sein. Die Summe der TE-WHO DL-PCB liegen mit Werten von 0,01–0,74 ng TE-WHO/kg TS für die beprobten Grünlandstandorte jedoch wesentlich unter jenen der Hintergrundwaldstandorte (0,8–5,4 ng TE-WHO/kg TS).

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 16: Statistische Kennwerte von DL-PCBs (ng/kg TS; n = 14).

Substanz	cm	Min.	25. Perz.	Median	75. Perz.	Max.	MW	StdAbw.	IntQuart-Abst.	n > BG	NG > n > BG	N < NG
co-planar												
PCB 77	0–5	6,90	8,33	10,00	12,25	18,00	10,61	2,93	3,93	14	0	0
	5–10	2,40	3,48	4,90	6,68	15,00	5,71	3,20	3,20	14	0	0
PCB 81	0–5	1,10	1,30	1,80	2,10	3,00	1,81	0,53	0,80	14	0	0
	5–10	< NG	< NG	0,19	0,51	0,81	0,27	0,30	0,51	7	0	7
PCB 126	0–5	1,20	1,60	2,40	3,48	4,80	2,64	1,21	1,88	14	0	0
	5–10	< NG	< NG	2,10	3,60	6,70	2,21	2,05	3,60	10	0	4
PCB 169	0–5	< NG	0,36	0,53	0,62	0,77	0,48	0,20	0,27	13	0	1
	5–10	< NG	0,17	0,58	0,75	1,60	0,55	0,46	0,58	11	0	3
mono-ortho												
PCB 105	0–5	17,00	21,75	25,00	31,50	66,00	28,93	12,71	9,75	14	0	0
	5–10	9,30	10,75	13,00	40,00	63,00	22,81	17,12	29,25	14	0	0
PCB 114	0–5	1,10	1,28	1,45	1,53	2,50	1,51	0,39	0,25	14	0	0
	5–10	< NG	< NG	0,24	1,08	1,50	0,53	0,59	1,08	7	0	7
PCB 118	0–5	29,00	36,50	42,50	59,25	98,00	47,57	18,65	22,75	14	0	0
	5–10	22,00	22,75	28,00	69,50	150,00	50,21	40,30	46,75	14	0	0
PCB 123	0–5	3,20	3,58	4,85	5,98	10,00	5,19	1,87	2,40	14	0	0
	5–10	< NG	0,93	1,45	2,78	4,60	1,84	1,42	1,84	12	0	2
PCB 156	0–5	< NG	14,75	19,50	30,50	85,00	25,86	20,80	15,75	13	0	1
	5–10	9,50	12,50	18,00	47,50	170,00	35,61	41,78	35,00	14	0	0
PCB 157	0–5	0,30	2,55	3,20	5,08	10,00	3,99	2,69	2,53	14	0	0
	5–10	< NG	1,98	2,95	7,80	18,00	5,20	4,79	5,83	13	0	1
PCB 167	0–5	5,20	7,95	11,50	15,75	40,00	13,74	8,95	7,80	14	0	0
	5–10	4,00	7,35	10,55	25,25	78,00	18,20	19,00	17,90	14	0	0
PCB 189	0–5	1,30	2,00	3,10	4,85	13,00	3,81	2,95	2,85	14	0	0
	5–10	1,30	2,75	4,30	8,28	30,00	6,66	7,26	5,53	14	0	0
TE-WHO DL-PCB	0–5	0,14	0,18	0,26	0,38	0,53	0,29	0,13	0,19	14	0	0
	5–10	0,01	0,02	0,23	0,41	0,74	0,26	0,23	0,39	14	0	0

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

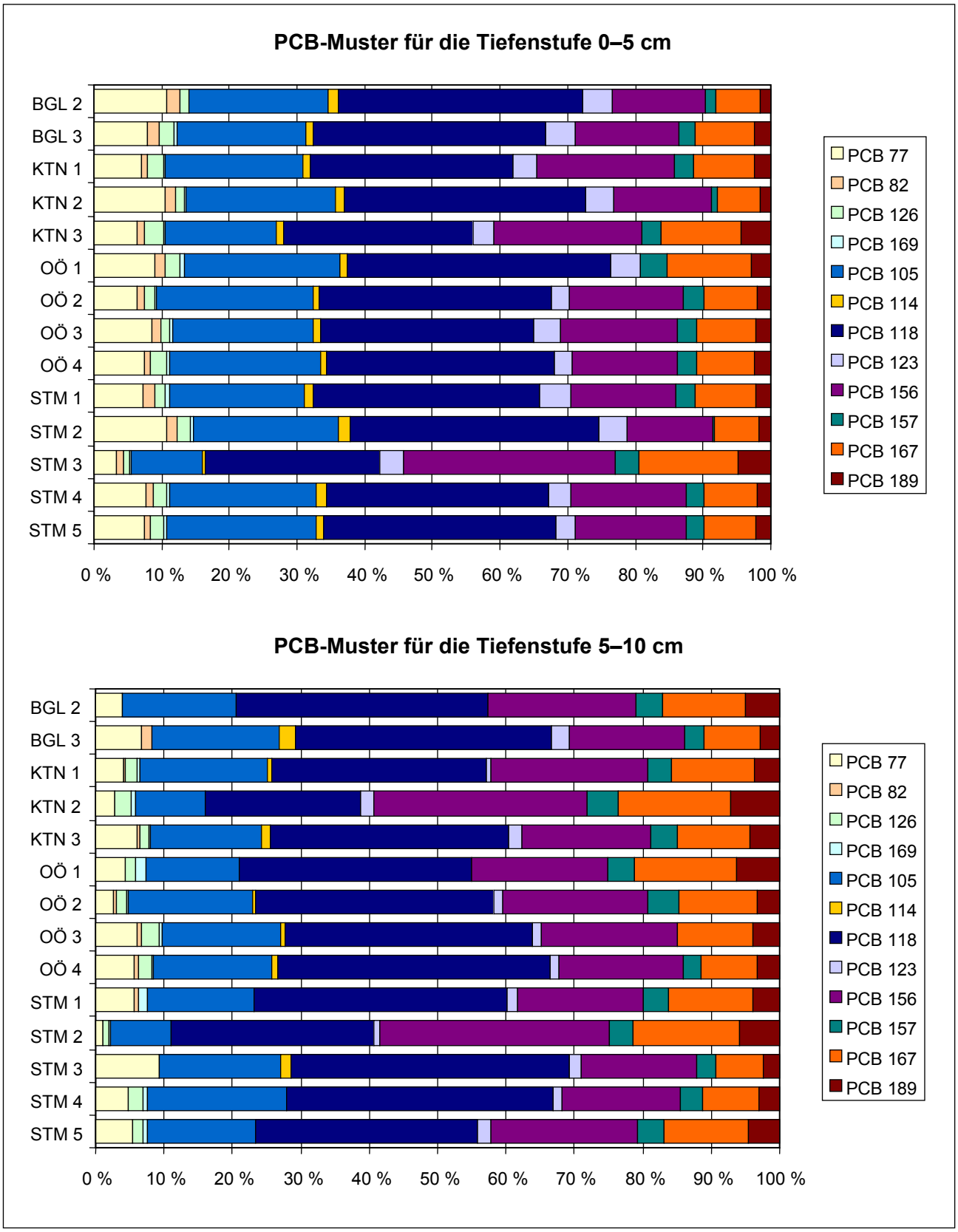


Abbildung 5: PCB-Muster der beprobten Standorte für die Tiefenstufe 0–5 cm und 5–10 cm (% von Summe DL-PCB).

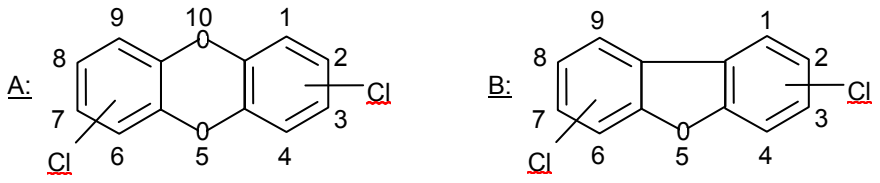
© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3.3 Polychlorierte Dibenzo-p-Dioxine und Furane (PCDD/F)

3.3.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Bei den Polychlorierten Dibenzo-p-Dioxinen und Furanen (PCDD/F) handelt es sich um zwei Gruppen planarer, trizyklischer Verbindungen. Sie enthalten 1–8 Chloratome und verfügen über ähnliche chemische Strukturen und ähnliche Eigenschaften.

- Dioxine:.....75 mögliche Kongenere (A).
- Furane: ...135 mögliche Kongenere (B).



Polychloriertes Dibenzodioxin Polychloriertes Dibenzofuran

Abbildung 6: Allgemeine Strukturformel der PCDD/F.

Verwendung

PCDD/F werden nicht kommerziell produziert, sondern entstehen bei der Produktion anderer Chemikalien (insbesondere bei Pestiziden). So sind zum Beispiel PCBs meist mit Furanen und Dioxinen kontaminiert. Die Belastung der Umwelt mit Dioxinen ist hauptsächlich eine Folge ihrer Entstehung bei (unvollständigen) Verbrennungsprozessen (Verbrennung organischer Substanzen, Müllverbrennung) und bei der Sinterung von Erzen.

Eigenschaften/ Umweltverhalten

PCCD/F sind generell schlecht in Wasser löslich, lipophil und persistent. Der Log K_{OW}-Wert liegt zwischen 4,75 (mono-chloro) und 8,20 (octa-chloro). PCDD/F binden sich stark an die organische Substanz in Böden und gehen Verbindungen mit Sedimenten, biologischen Geweben und mit der Partikelphase in aquatischen Ökosystemen ein.

Biokonzentration

Die Biokonzentrationsfaktoren für TCDD liegen bei 29.200 (Trockengewicht) und 5.840 (Nassgewicht).

Toxikologie

Die Toxizität der PCDD/F ist abhängig von Anzahl und Position der Chloratome. Um die Toxizität komplexer Mischungen bewerten zu können, wurden Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF bzw. TEQ) geschaffen, die auf dem Vergleich mit dem höchst toxischen 2,3,7,8 TCDD beruhen.

TCDD ist kanzerogen, immuntoxisch, teratogen, reproduktionstoxisch und neurotoxisch. Schäden an Leber, Magen, Schilddrüse und Haut wurden in Tierversuchen und auch bei Vergiftungsfällen beobachtet. Die Auslösung zahlreicher biologischer Effekte im Niedrigdosisbereich ist eine Folge der Bindungsfähigkeit von TCDD an zelluläre Rezeptoren.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Die WHO hat für Dioxine eine vorläufige, tolerable wöchentliche Dosis berechnet, da starke tägliche Schwankungen, je nach Nahrungszusammensetzung zu erwarten sind. Dieser PTWI beträgt für PCDD/F und dioxinähnliche PCBs 70 pg TEQ/kg Körpergewicht und Monat (WHO 2002). Der wissenschaftliche Ausschuss für Lebensmittel der europäischen Union hat eine tolerable Aufnahme von 14 pg TEQ/kg Körpergewicht und Woche (WHO) abgeleitet. Für gestillte Säuglinge liegt die tägliche Aufnahme an PCDD/F mit 110 pg TEQ/kg Körpergewicht im Alter von zwei Monaten erheblich über dem von der EU bzw. WHO festgelegten Wert (KOSS et al. 2004).

3.3.2 Gehalte in Grünlandböden

Die Summengehalte der PCDD/F der Grünlandproben liegen zwischen 12,5 und 148,0 ng/kg TS (Median 46,5 ng/kg TS) und damit deutlich unter jenen, die im Auflagehumus von Hintergrundwaldstandorten (UMWELTBUNDESAMT 1998) bzw. in Grünlandböden im Raum Linz (UMWELTBUNDESAMT 1992) ermittelt wurden (Median: 319 ng/kg TS bzw. 277 ng/kg). Das hoch toxische 2,3,7,8 TCDD konnte nur an zwei Standorten (STM 2 und STM 4) mit Werten von 0,09 ng/kg TS und 0,08 ng/kg TS nachgewiesen werden (siehe Tabelle 32, Anhang 2).

Tabelle 17: Statistische Kennwerte von PCDD/F (ng/kg TS; n = 14).

Substanz	Min.	25. Perz.	Median	75. Perz.	Max.	MW	StdAbw.	IntQuart-Abst.	n > BG	NG > n > BG	N < NG
Σ TCDD	< NG	< NG	0,17	0,41	1,30	0,26	0,36	0,41	8	0	6
Σ PeCDD	< NG	0,28	0,54	1,08	2,30	0,79	0,70	0,80	13	0	1
Σ HxCDD	0,15	2,20	3,40	5,23	7,00	3,68	2,10	3,03	14	0	0
Σ HpCDD	2,50	5,60	7,20	11,25	21,00	8,52	4,75	5,65	14	0	0
OCDD	5,60	9,35	15,00	24,50	61,00	19,46	14,30	15,15	14	0	0
Σ TCDF	0,20	0,62	3,20	6,33	32,00	5,11	8,14	5,71	14	0	0
Σ PeCDF	0,35	0,67	3,40	9,53	46,00	7,08	11,77	8,85	14	0	0
Σ HxCDF	0,44	0,96	2,45	8,45	27,00	5,35	7,11	7,49	14	0	0
Σ HpCDF	1,10	1,53	2,90	8,05	9,60	4,27	3,16	6,53	14	0	0
OCDF	1,20	2,15	2,80	5,63	9,90	4,03	2,76	3,48	14	0	0
Σ PCDD/F	12,54	33,82	46,48	84,09	148,04	58,54	37,99	50,27	14	0	0
Σ 2,3,7,8-Isomere	11,07	22,60	32,04	50,25	86,94	38,83	23,33	27,65	14	0	0
I-TEQ	0,17	0,32	0,77	1,29	9,33	1,40	2,35	0,97	14	0	0
TE-WHO Dioxin	0,16	0,34	0,86	1,38	9,39	1,47	2,36	1,05	14	0	0

Um die unterschiedliche Toxizität der Kongenere zu berücksichtigen, werden die PCDD/F-Gehalte, ebenso wie die DL-PCBs, anhand von internationalen Toxizitätsäquivalenten (I-TEQ) bewertet. In der Literatur werden dazu Hintergrundwerte von < 1–2 ng I-TEQ/kg TS (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002, LABO 2003) angegeben. Die Werte der untersuchten Grünlandstandorte liegen zwischen 0,16 und 9,33 ng I-TEQ/kg TS. Besonders fällt der Standort BGL 3 mit 9,33 ng I-TEQ/kg TS auf; als erhöht sind auch die Werte an den Standorten STM 4 und STM 5 (2,03 ng I-TEQ/kg TS und 1,49 ng I-TEQ/kg TS) zu sehen.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Aus früheren Studien (UMWELTBUNDESAMT 1998, 2002) ist bekannt, dass das Homologenmuster der PCDD/F von Hintergrundstandorten einen charakteristischen Kurvenverlauf von einem anteilsmäßig hohen Gehalt an hoch chlorierten Dioxinen und nieder chlorierten Furanen sowie einem geringen Anteil nieder chlorierten Dioxinen und hoch chlorierten Furanen aufweisen. Aus dem PCDD/F-Homologenmuster der untersuchten Standorte (siehe Abbildung 7 sowie im Anhang 1 Abbildung 18 und Abbildung 19) ist deutlich zu sehen, dass für die oben genannten Standorte (BGL 3 und STM 4) die Furane einen sehr hohen Anteil an der Gesamtsumme PCDD/F ausmachen. Vergleicht man dazu die Einzelwerte der penta-, hexa- und heptachlorierten Furane aus Tabelle 32 im Anhang 2 wird der Unterschied zu den übrigen Standorten noch deutlicher. Diese Homologenmuster entsprechen keineswegs jenen von Hintergrundstandorten, so dass hier eine Immissionsbelastung, deren Ursache im Umfang dieser Studie nicht weiter nachgegangen werden kann, zu vermuten ist.

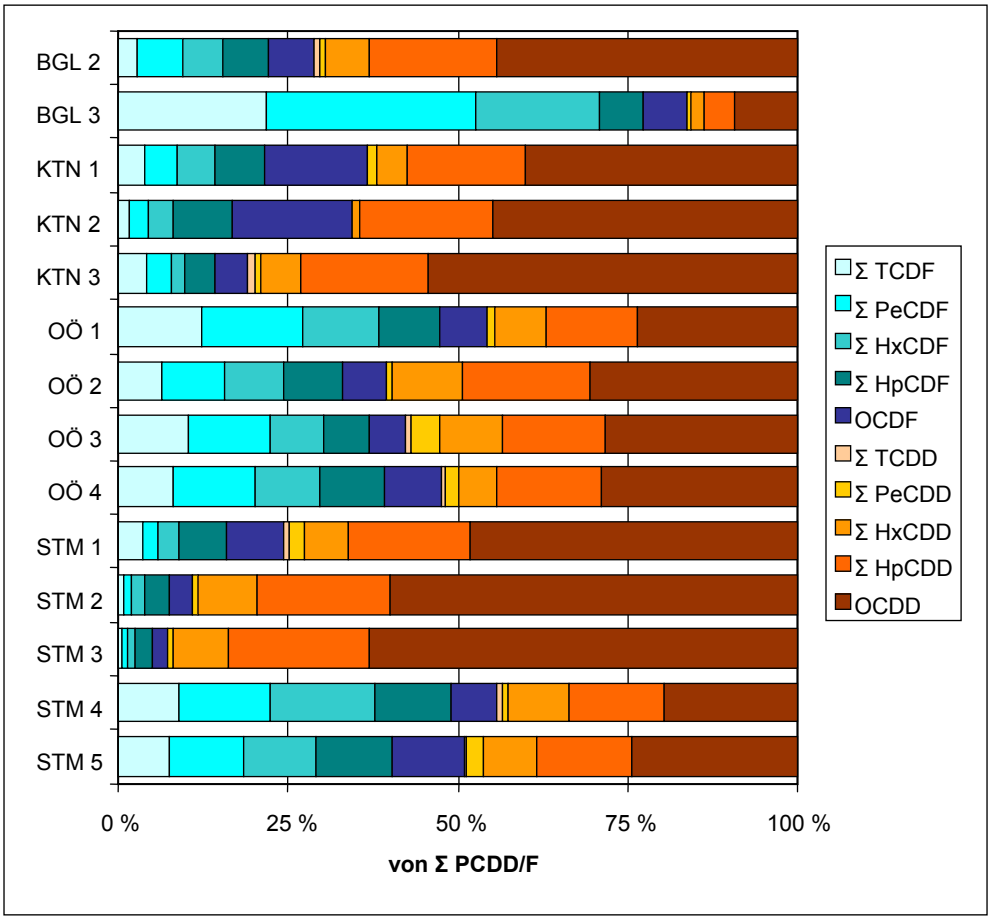


Abbildung 7: Homologenverteilung von PCDD/F für die Tiefenstufe 0–5 cm.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3.4 Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs)

3.4.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Dieser Stoffgruppe gehören zahlreiche unterschiedliche Verbindungen, die zumindest zwei aromatische Kohlenwasserstoffringe enthalten, an. Der Stoff „Naphthalin“ besteht aus dem Grundgerüst dieser Verbindungen; als Leitsubstanz ist der Stoff „Benzo(a)pyren (BaP)“ zu nennen.

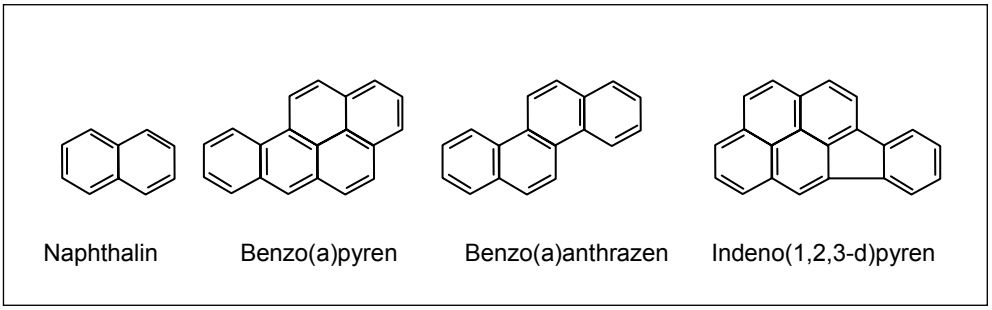


Abbildung 8: Strukturformel ausgewählter PAHs.

Verwendung/ Entstehung

PAHs entstehen bei unvollständiger Verbrennung organischer Verbindungen (auch bei natürlichen Prozessen), wie z. B. durch Verkehr, Hausbrand, Kohlekraftwerke und bei der Aluminiumproduktion. Sie sind Bestandteile von Teer, Kreosot, Bitumen, Asphalt und Motorenöl (Altöl).

Bei der industriellen Produktion entstehen PAHs als Zwischenprodukte bei Erzeugung von PVC und Kunststoffen (Naphthalen), Pigmenten (Acenaphthen, Pyren), Farben (Anthrazen, Fluoranthen) und Pestiziden (Phenanthren).

Eigenschaften/ Umweltverhalten

PAHs sind generell schlecht in Wasser löslich (steigend mit höherer Molekülmasse), lipophil und persistent. Sie haben hohe Schmelz- und Siedepunkte, der Dampfdruck ist gering.

PAHs können in allen Umweltkompartimenten nachgewiesen werden. Sie binden sich an die Partikelphase in der Luft und in Sedimenten aquatischer Ökosysteme. Der Abbau erfolgt in aerobem Milieu abhängig von der Anzahl der Ringe. Unter anaeroben Bedingungen erfolgt ein nur sehr geringer Abbau.

Biokonzentration

Die Biokonzentrationsfaktoren der PAHs liegen zwischen 10 und 10.000.

Toxikologie

Zahlreiche PAHs sind krebserregend. Benzo(a)pyren ist teratogen, reproduktionstoxisch, immuntoxisch und kanzerogen (IARC: Gr 2A: wahrscheinlich kanzerogen im Menschen). PAHs werden von Menschen über die Nahrung, das Trinkwasser und über die Atemluft aufgenommen. PAHs können auch bei der Zubereitung von Lebensmitteln entstehen (Räuchern, Braten, Grillen). Eine wesentliche Expositionsquelle für den Menschen ist Zigarettenrauch.

Die Grenzwerte der WHO für BaP im Trinkwasser liegen bei einer Akzeptanz eines Risikos für Magenkrebs von 1 in 10.000 Einwohnern, 1 in 100.000, bzw. 1 in 1.000.000 bei 7, 0,7 bzw. 0,07 µg/l.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3.4.2 Gehalte in Grünlandböden

In der vorliegenden Studie wurden die von der US-Environmental Protection Agency (EPA) als „priority pollutants“ kategorisierten 16 PAHs analysiert. Dieser Summenwert hat sich international weitgehend als Referenzgröße durchgesetzt. In Tabelle 18 sind zusätzlich zu den statistischen Kennwerten der Summe EPA-PAH 16 jene der Leitsubstanz Benzo(a)pyren (BaP) sowie der Summengehalte nach der Grundwasserschwellenwertverordnung (Σ PAH 6) angeführt. Die Werte der Einzelsubstanzen der PAHs sind aus Tabelle 33 im Anhang 2 ersichtlich.

EPA-PAH

Die Gehalte der Σ EPA-PAH 16 liegen zwischen 2,4 und 1.818,3 µg/kg TS (Median: 82,1 µg/kg TS). An neun Standorten ergaben sich Werte unter 100 µg/kg TS; an drei Standorten wurden Gehalte um ca. 150 µg/kg TS festgestellt. Damit liegt ein Großteil der Gehalte deutlich unter den beiden höchsten Werten von 313 bzw. 1.818 µg/kg TS an den Standorten OÖ 3 bzw. BGL 2. Am Standort BGL 2 fallen vor allem die anteilsmäßig hohen Gehalte von Phenanthren, Pyren und Fluoranthen auf, während am Standort OÖ 3 der Maximalgehalt von Benzo(a)pyren ermittelt wurde. Die geringsten PAH-Gehalte sind am Standort OÖ 1 gemessen worden (Σ EPA-PAH 16: 2 µg/kg TS).

Benzo(a)pyren (BaP)

Die Gehalte für Benzo(a)pyren liegen im Bereich zwischen < NG (< 0,3 µg/kg TS) und 40,7 µg/kg TS (Median: 9,6 µg/kg TS). An sechs Standorten wird der Wert von 10 µg/kg TS überschritten. Die beiden höchsten Gehalte mit 27,3 µg/kg TS und 40,7 µg/kg TS betreffen die Standorten OÖ 2 und OÖ 3.

Tabelle 18: Statistische Kennwerte von BaP, Σ PAH 6 und Σ EPA-PAH 16 (µg/kg TS; n = 14).

Substanz	Min.	25. Perz.	Median	75. Perz.	Max.	MW	StdAbw.	IntQuart-Abst.	n > BG	NG > n > BG	n < NG
BaP	< NG	6,85	9,60	14,45	40,69	12,59	10,26	7,60	13	0	1
Σ PAH 6	< BG	29,93	50,18	97,91	674,00	104,31	170,7	67,98	14	0	0
Σ PAH 16	2,36	51,78	82,13	156,30	1.818,3	223,22	465,4	104,5	14	0	0

Hintergrundwerte

Hintergrundwerte einzelner PAHs aus natürlichen Quellen werden mit 1–10 µg/kg TS angegeben (SCHEFFER & SCHACHTSCHABEL 2002). In Acker- und Grünlandböden in Deutschland wurden für Σ EPA-PAH 16 Hintergrundgehalte zwischen 100 und 300 µg/kg (KRAUSS 2004b), für Benzo(a)pyren ein Wert von 15 µg/kg TS ermittelt. Ebenso ergaben frühere Untersuchungen von Grünlandböden in der Steiermark und in Kärnten (AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG 1988–1998, AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG 1999, UMWELTBUNDESAMT 2003), dass 75 % der untersuchten Standorte BaP-Gehalte < 10 µg/kg TS aufweisen. In Oberösterreich (AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG 1993) lag dieser Wert zwischen 20 und 50 µg/kg TS. Untersuchungen von Waldstandorten (KRAUSS 2004b, UMWELTBUNDESAMT 1998) weisen aufgrund des stärken Akkumulationsvermögens im Auflagehumus meist deutlich höhere PAH-Gehalte auf, wobei Humusbeprobungen im Raum Kärnten und Slowenien ähnliche Gehalte für Σ EPA-PAH 16 ergaben (UMWELTBUNDESAMT 2002) wie die vorliegenden Grünlandstandorte.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Obwohl keiner der im Rahmen dieser Studie beprobten Grünlandstandorte hinsichtlich ihrer PAH-Gehalte über internationalen Richt- bzw. Prüfwerten liegt, ist für die Standorte BGL 2, OÖ 2 und OÖ 3 eine weitere Abklärung der Σ EPA-PAH 16 bzw. der BaP-Gehalte notwendig. Alle anderen Standorte können bezüglich der PAH-Gehalte als Hintergrundwerte eingestuft werden.

3.5 Polybromierte Diphenylether (PBDE)

3.5.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Die Gruppe der polybromierten Diphenylether besteht aus 209 möglichen Kongeneren, die sich durch Anzahl und Position der Bromatome unterscheiden.

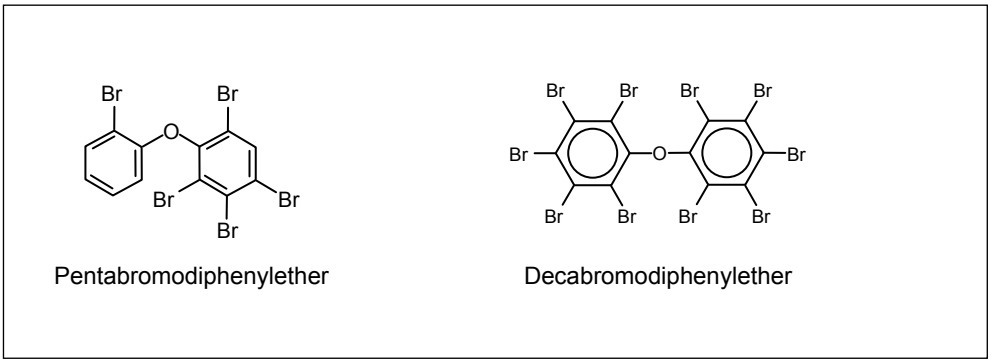


Abbildung 9: Strukturformeln bedeutender polybromierter Diphenylether.

Verwendung

PBDE werden vor allem als Flammschutzmittel, d. h. zur Erschwerung der Entzündbarkeit und zur Verlangsamung der Flammausbreitung von Materialien im Elektro-, Elektronik-, Bau-, Transport- und Textilsektor sowie bei der Herstellung von Kunststoffen (bis zu 15 % PBDE) und Polyurethanschäume (bis 30 % PBDEs) verwendet. Die wirtschaftlich wichtigsten Kongenere stellen dabei BDE 49, die Penta- und Hexa-PBDEs sowie das Deca-BDE (BDE-209) dar.

Eigenschaften/ Umweltverhalten

PBDEs sind, ebenso wie die zuvor diskutierten PAHs, persistent und lipophil. Aufgrund dieser Persistenz und der Fähigkeit über lange Strecken transportiert zu werden, konnte für PBDEs in den letzten Jahrzehnten ein deutlicher Anstieg in den Umweltkonzentrationen festgestellt werden. Auch in der Arktis wurden bereits PBDEs nachgewiesen (VERREAULT et al. 2005; WANG et al. 2005). Produktions- und Verwendungseinschränkungen bzw. -verbote sind für Penta- und Octa-PBDE innerhalb der EU in Kraft. Für diese bestehen auch Bestrebungen, sie in das POP-Protokoll der UN-ECE aufzunehmen.

Biokonzentration

Die Biokonzentrationsfaktoren liegen bei 13.000.000 (BDE-47, Tetra-BDE), 1.400.000 (BDE-99, Penta-BDE) und 220.000 (BDE-153, Hexa-BDE).

Toxikologie

Die toxikologische Datenlage zu PBDEs ist derzeit noch lückenhaft. Generell kann gesagt werden, dass höher bromierte PBDEs als weniger akut toxisch einzustufen sind. Jedoch sind die Kongenere BDE-28, BDE-47, BDE-99 und BDE-100 (Penta-

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

BDE) sehr toxisch für aquatische Organismen. BDE-209 (Deca-BDE) kann in hohen Dosen bei Nagern in der Leber Krebs auslösen und hat nachweislich negative Effekte auf Schilddrüse, Leber und Niere. Erhöhte Konzentrationen von Penta-BDE können Störungen der Gehirnentwicklung und des Schilddrüsenhormonhaushalts hervorrufen, während Octa-BDE feto- und reproduktionstoxisch wirken kann.

Expositionspfade ergeben sich für den Menschen hauptsächlich über die Nahrung, die Innenraumluft und Aufnahme über den Hausstaub. Bislang wurden Nachweise von PBDEs in menschlichem Fettgewebe, Blut und Milch erbracht.

Eine aktuelle Publikation des staatlich niederländischen Instituts für Gesundheit und Umwelt (RIVM) beschreibt derzeitige Belastungen von Lebensmitteln in den Niederlanden, durchschnittliche tägliche Aufnahmemengen sowie das damit verbundene Risiko (WINTER-SORKINA et al. 2006). Die durchschnittliche Langzeitaufnahme mit PBDEs beträgt demnach 1,7 ng/kg KG/Tag. Für BDE-99 wurde ein TDI von 0,26 ng/kg KG berechnet, die Aufnahme über Nahrungsmittel beträgt für 99 % der niederländischen Bevölkerung bereits 0,24 ng/kg KG/Tag.

3.5.2 Gehalte in Grünlandböden

Von den 209 möglichen Kongeneren der PBDEs wurden 25 in das Analyseprogramm aufgenommen und für die Proben der Tiefenstufen 0–5 cm und 5–10 cm bestimmt. In der nachfolgendenTabelle 19 sind diese ausgewählten Kongenere aufgelistet und die Anzahl der je 14 Proben pro Tiefenstufe, die unter der Nachweisgrenze liegen, angeführt. Die Anzahl der nachweisbaren Kongenere je Standorte schwankt zwischen 5 und 18.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 19: Kurzbezeichnung, IUPAC-Nomenklatur und Anzahl der Proben < NG für die Tiefenstufen 0–5 cm und 5–10 cm der analysierten PBDEs (n = 14).

Bezeichnung	IUPAC-Nomenklatur	Anzahl d. Proben < NG (0–5 cm)	Anzahl d. Proben < NG (5–10 cm)
BDE-11	3,3'-DiBDE	13	12
BDE-17[1]	2,2',4-TrBDE	6	0
BDE-25[1]	2,3',4-TrBDE		
BDE-28	2,4,4'-TrBDE	4	0
BDE-47	2,2',4,4'-TeBDE	0	0
BDE-49	2,2',4,5'-TeBDE	5	0
BDE-77	3,3',4,4'-TeBDE	14	12
BDE-85	2,2',3,4,4'-PeBDE	7	2
BDE-99	2,2',4,4',5-PeBDE	0	1
BDE-100	2,2',4,4',6-PeBDE	0	0
BDE-116	2,3,4,5,6-PeBDE	13	14
BDE-118	2,3',4,4',5-PeBDE	14	14
BDE-126	3,3',4,4',5-PeBDE	14	6
BDE-138	2,2',3,4,4',5'-HxBDE	12	4
BDE-140	2,2',3,4,4',6'-HxBDE	13	13
BDE-153	2,2',4,4',5,5'-HxBDE	2	0
BDE-154	2,2',4,4',5',6-HxBDE	4	0
BDE-155	2,2',4,4',6,6'-HxBDE	13	11
BDE-166	2,3,4,4',5,6-HxBDE	14	5
BDE-181	2,2',3,4,4',5,6-HpBDE	14	12
BDE-183	2,2',3,4,4',5',6-HpBDE	7	0
BDE-196	2,2',3,3',4,4',5,6'-OcBDE	4	1
BDE-197	2,2',3,3',4,4',6,6'-OcBDE	4	0
BDE-203	2,2',3,4,4',5,5',6-OcBDE3	4	0
BDE-209	Deca-BDE	1	9

[1] *Trennung der beiden Kongenere bei gewählter Methode nicht möglich.*

Es zeigt sich, dass BDE-47 und BDE-100 in allen Grünlandproben nachweisbar sind. Ebenso konnten BDE-99, BDE-183 und Octa-BDE in den meisten Proben quantitativ bestimmt werden. Bei einigen Kongeneren wie z. B. BDE-17/25, BDE-126, BDE-138, BDE-166, BDE-183 und DeBDE-209 sind deutliche Unterschiede zwischen den Gehalten der beiden Tiefenstufen feststellbar (siehe Tabelle 34, Anhang 2). So konnte z. B. BDE-126 in keiner Probe der obersten Tiefenstufe nachgewiesen werden, während in acht Proben der zweiten Tiefenstufe Gehalte deutlich über der Nachweisgrenze festgestellt wurden. BDE-118 liegt als einziges Kongener bei allen Proben unter der Nachweisgrenze.

In der Tabelle 20 ist die statistische Verteilung ausgewählter Kongenere angeführt. Dabei fallen die unterschiedlichen Größenordnungen der Gehalte der einzelnen Kongenere bis zum Faktor 1.000 besonders auf. Die höchsten Gehalte finden sich für BDE-209 mit über 2.000 ng/kg TS in den Proben der Standorte OÖ 2 und OÖ 3 (0–5 cm) und der Standorte STM 1 und STM 3 (5–10 cm). Höhere Gehalte wurden

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

auch für die Kongenere BDE-47, BDE-99, BDE-100 und BDE-153 festgestellt. Gemeinsam mit dem BDE-209 handelt es sich dabei um jene Kongenere, die als Hauptbestandteile von technischen Gemischen bekannt sind und auch in anderen Umweltkompartimenten nachgewiesen werden konnten (ELLINGER 2003, UMWELTBUNDESAMT 2004).

Tabelle 20: Statistische Kennwerte von ausgewählten PBDE und der Summe aller 25 analysierten PBDEs (ng/kg TS; n = 14).

Substanz	cm	Min.	25. Perz.	Median	75. Perz.	Max.	MW	StdAbw.	IntQuart-Abst.	n > BG	NG > n > BG	n < NG
BDE-17/25	0–5	< NG	< NG	0,06	0,21	1,80	0,22	0,47	0,21	8	0	6
	5–10	0,72	1,18	1,45	2,20	3,00	1,62	0,65	1,03	14	0	0
BDE-47	0–5	2,6	6,9	13,5	112,5	590,0	79,5	155,1	105,7	14	0	0
	5–10	9,0	24,0	39,0	91,5	190,0	59,1	51,9	67,5	14	0	0
BDE-49	0–5	< NG	< NG	0,36	1,33	4,60	0,93	1,40	1,33	9	0	5
	5–10	2,10	2,88	3,05	5,60	8,20	4,08	1,94	2,73	14	0	0
BDE-99	0–5	1,7	4,4	6,6	57,0	560,0	65,9	148,4	52,7	14	0	0
	5–10	< NG	8,0	17,5	34,8	400,0	46,6	102,9	26,8	13	0	1
BDE-100	0–5	0,6	1,4	2,6	15,3	120,0	15,1	31,7	13,9	14	0	0
	5–10	0,9	3,7	6,4	15,0	78,0	12,6	19,6	11,4	14	0	0
BDE-153	0–5	< NG	0,3	2,7	6,6	33,0	5,3	8,5	6,2	12	0	2
	5–10	5,7	7,4	10,0	25,8	170,0	27,9	44,7	18,4	14	0	0
BDE-183	0–5	< NG	< NG	2,0	18,0	38,0	8,9	13,2	18,0	7	0	7
	5–10	7,0	14,8	16,0	53,0	81,0	30,1	22,5	38,3	14	0	0
BDE-196	0–5	< NG	< NG	7,15	15,00	23,00	8,14	7,35	15,00	10	0	4
	5–10	< NG	4,00	11,50	18,50	43,00	13,50	11,49	14,50	13	0	1
BDE-197	0–5	< NG	< NG	7,50	20,50	27,00	10,26	9,74	20,50	10	0	4
	5–10	10,00	17,00	26,50	33,50	69,00	28,29	15,72	16,50	14	0	0
BDE-203	0–5	< NG	< NG	7,45	12,25	19,00	7,04	6,10	12,25	10	0	4
	5–10	3,80	9,00	13,00	19,00	37,00	15,06	9,48	10,00	14	0	0
BDE-209	0–5	< NG	75,0	185,0	895,0	3.900,0	673,6	1.078,6	820,0	13	0	1
	5–10	< NG	< NG	< NG	1.150,0	2.800,0	607,7	1.044,4	1.150,0	5	0	9
Σ PBDE	0–5	14,3	102,5	359,2	1.051,9	5.283,9	880,6	1.411,0	949,4			
(Σ 25)	5–10	109,7	122,7	207,6	1.508,7	3.207,4	836,1	1.102,5	1.386,0			

Summenwerte der 25 PBDEs

Die Summenwerte aller 25 analysierten PBDEs liegen für die erste Tiefenstufe zwischen 14 ng/kg TS (STM 3) und 5.284 ng/kg TS (OÖ 3), für die zweite Tiefenstufe zwischen 110 ng/kg TS (OÖ 3) und 3.207 ng/kg TS (STM 1). An den Standorten OÖ 3 und STM 3 fallen vor allem die deutlichen Unterschiede in den Gehalten der beiden Tiefenstufen auf, während am Standort KTN 2 in beiden Tiefenstufen mit Gehalten über 1.100 ng/kg TS höhere Gehalte als an den meisten anderen Standorten gemessen wurden.

Niedrig versus höher bromierte PBDEs

Bei genauer Betrachtung der Elementgehalte der einzelnen Standorte zeigt sich, dass die Maximalgehalte der obersten Tiefenstufe für die analysierten BDEs von BDE-11 bis BDE-166 sowie BDE-209 auf die Standorte KTN 2 und OÖ 3 entfallen. Die Maximalgehalte für die analysierten Hepta- und Octa-BDEs (BDE-181 bis BDE-203) weist der Standort OÖ 4 auf. Deutlich anders gestaltet sich diese Verteilung für die

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

darauf folgende Tiefenstufe. Die Maximalgehalte der analysierten Kongenere verteilen sich insgesamt auf sechs der beprobten Standorte, wobei der Standort OÖ 1 vor allem bei den Penta- und Hexa-BDEs, der Standort STM 1 bei den Octa- und bei den Deca-BDEs die höchsten Gehalte aufweist. Die Standorte KTN 2, OÖ 3 und OÖ 4, die in der obersten Tiefenstufe die höchsten Gehalte aufweisen, sind in den Werten der zweiten Tiefenstufe weitgehend unauffällig. Die Tatsache, dass entweder niedrig bromierte oder höher bromierte Kongenere dominieren, scheint auf eine Belastung der Proben mit unterschiedlichen PBDE-Produkten bzw. auf unterschiedlich weite Eintragspfade der PBDEs zurückzuführen sein. Wie in der Literatur beschrieben (ELLINGER 2003, HASSANIN et al. 2004) werden Penta-BDEs und Hexa-BDEs oftmals in der Luft nahe einer PBDE-Quelle gefunden, während Tetra-BDEs über den Luftpfad große Distanzen zurücklegen können. Höher bromierte Diphenylether (Octa-Deca-BDEs) können aufgrund ihres niedrigen Dampfdruckes nur schlecht in der Luft transportiert werden. Sie debromieren in organischen Lösungsmitteln mit Sonnenlicht und UV-Licht zu niedriger substituierten Kongeneren, die dann wieder über die Luft transportiert werden können. Der Abbau von BDE-209 zu niedriger bromierten PBDEs könnte die Ursache für die doch auffällig geringeren Gehalte von BDE-209 in der zweiten Tiefenstufe der analysierten Grünlandproben sein, insbesondere wenn hohe Gehalte in den obersten 5 cm festgestellt wurden.

PBDE-Kongenerenmuster

Interessant dazu ist die Verteilung der Hauptkomponenten im Kongenerenmuster der Grünlandproben (siehe Abbildung 10). Während in den obersten 5 cm das Deca-BDE (BDE-209) an den meisten Standorten mehr als 50 % am Kongenerenmuster ausmacht, trifft diese Verteilung in der zweiten Tiefenstufe nur noch auf vier Standorte (KTN 2, STM 1, STM 2, STM 3) zu. An den verbleibenden Standorten haben in der zweiten Tiefenstufe die Kongenere BDE-47, BDE-99, BDE-183 sowie die Octa-BDEs die höheren Anteile. Am Standort STM 3 (0–5 cm) dürfte das deutlich abweichende Kongenerenmuster vor allem auf den geringen PDBE-Gesamtgehalt dieses Standortes (Σ PBDE = 14,3 ng/kg) zurückzuführen sein.

Obwohl dem Verhalten von PBDEs in der Umwelt im letzten Jahrzehnt viel Aufmerksamkeit geschenkt wurde, gibt es in der Literatur kaum Angaben zu Hintergrund- oder Referenzwerten in Böden. Erschwerend kommt hinzu, dass bei den wenig vorhandenen Studien unterschiedliche Kongenere analysiert wurden.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

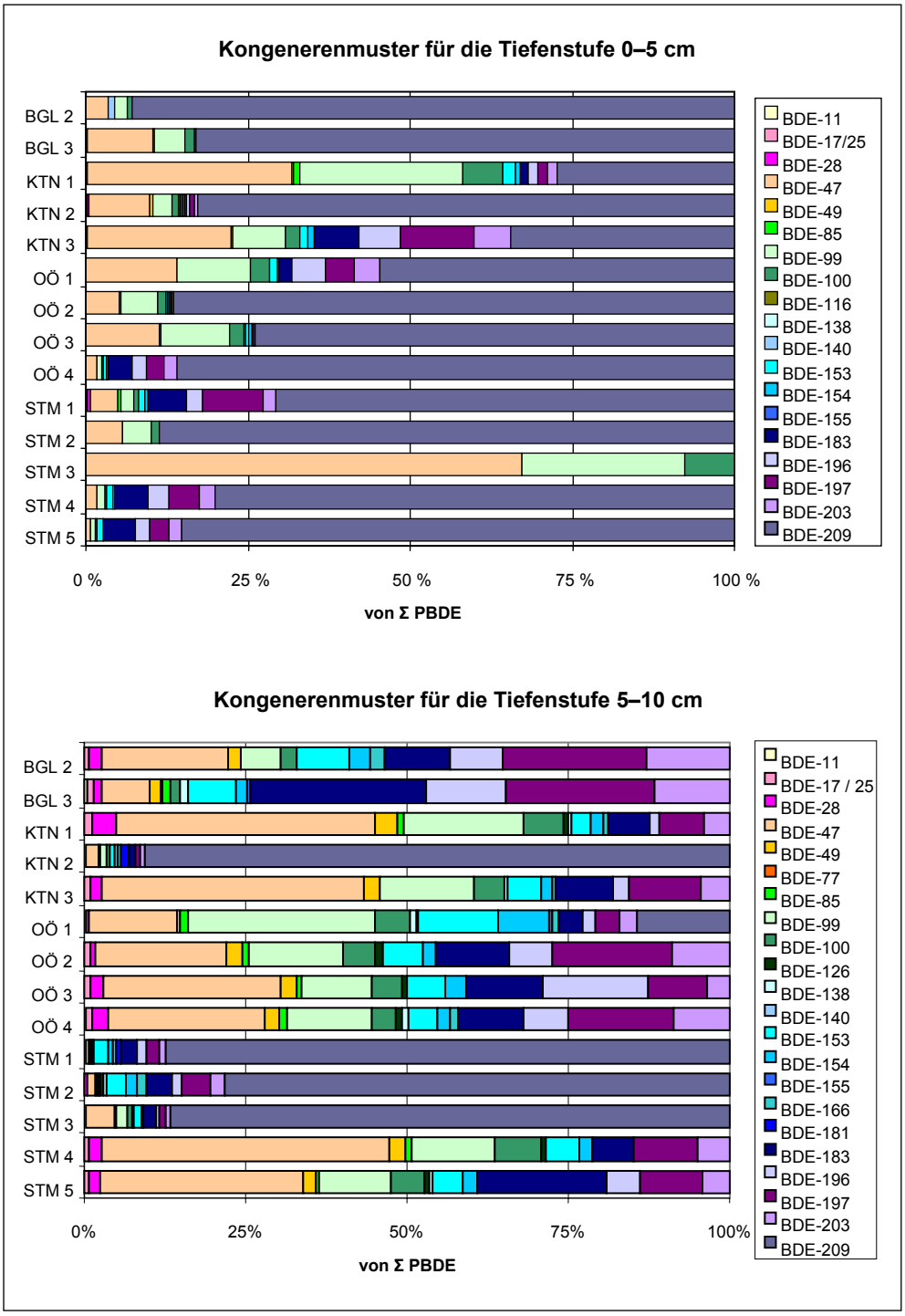


Abbildung 10: PBDE-Muster für die Tiefenstufen 0–5 cm und 5–10 cm (Kongenere, die für alle Proben einer Tiefenstufe unter der Nachweisgrenze lagen, sind nicht dargestellt).

So ergaben Analysen von Referenzproben landwirtschaftlicher Böden in Schweden für die Summe von sieben Kongeneren (BDE-47, 66, 99, 100, 153, 154 und 183) Werte von 75–930 ng/kg TS. In klärschlammbehandelten Böden betrug die Summe der sieben Kongenere bis zu 840.000 ng/kg TS (ROBIN et al. 2006). Für die in dieser Studie untersuchten Proben liegt dieser Summenwert zwischen 5,1 und 1.318 ng/kg TS.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

In einer weiteren Untersuchung, die Oberböden (0–5 cm) von Hintergrundstandorten in UK und Norwegen umfasste, liegen für UK die Summengehalte von 22 PBDEs von Grünlandproben zwischen 65 und 6.000 ng/kg TS, von Waldbodenproben zwischen 110 und 12.000 ng/kg. In Norwegen liegen die Werte für Waldstandorte mit einem Schwankungsbereich zwischen 130 und 3.000 ng/kg deutlich darunter (HASSANIN et al. 2004). Einzelne Nachweise von BDE-47, BDE-99 und BDE-155 wurden auch im Auflagehumus an entlegenen Waldstandorten Sloweniens und Kärntens erbracht (UMWELTBUNDESAMT 2002).

BDE-209, welches aufgrund der aus dieser Studie vorliegenden Ergebnisse die höchsten Gehalte und einen wesentlichen Anteil an der Gesamtsumme der PBDEs aufweist, wurde in keiner dieser Studien analysiert.

Aufgrund der zu PBDEs durchgeführten Recherchearbeiten muss daher festgehalten werden, dass die Datenbasis zu PBDEs in Böden noch sehr lückenhaft ist und jedenfalls weiterer Forschungsbedarf gegeben ist.

3.6 4Nonylphenol und Bisphenol A

3.6.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

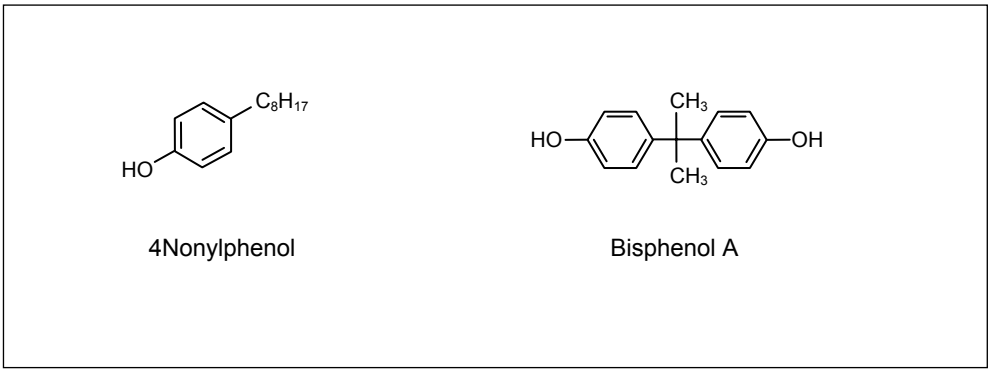


Abbildung 11: Strukturformel von 4Nonylphenol und Bisphenol A.

Verwendung

4Nonylphenol ist Ausgangsprodukt für die Herstellung nichtionischer Tenside, Kunstharze und -lacke sowie für Alkylphenolethoxylate. Es wird weiters als Bohr-, Flotation-, Netz- und Verlaufsmittel verwendet und als Additiv zu Schmierölen und Weichmachern eingesetzt. Alkylphenolethoxylate werden letztlich wieder zu 4Nonylphenol (bzw. Octylphenol) abgebaut.

Bisphenol A (BPA) ist ein Ausgangsprodukt für Polycarbonate und Epoxidharze. Es wird in weiterer Folge zur Herstellung von Flachprodukten, Compact Disks, Beschichtungen, Zahnmaterial, Kosmetika sowie als Antioxidans in Kunststoffen verwendet.

Eigenschaften/ Umweltverhalten

Beide Stoffe sind leicht und günstig herzustellen, sie sind lipophil und neigen zur Bioakkumulation.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Toxikologie 4Nonylphenol weist eine hohe aquatische Toxizität auf. Darüber hinaus kann es zu Leberschäden und Reizungen der Haut und Schleimhäute führen. Bisphenol A wird als gering akuttoxisch und nicht reizend eingestuft.

Hinsichtlich chronischer Toxizität gilt 4Nonylphenol als endokrin wirksam. Es wurden östrogene Effekte wie Reduktion der Spermienzahl, Veränderung der Sexualentwicklung und der Zykluslänge beobachtet. 4Nonylphenol ist plazentagängig und bewirkt Verhaltensänderungen beim Nachwuchs. Hinweise auf immuntoxische Wirkungen wurden in in vitro-Tests festgestellt.

Der TDI liegt laut dem dänischen Amt für Umwelt (1999) bei 0,005 mg/kg Körpergewicht.

Bisphenol A gilt als sensitivierend (allergieauslösend). Zur Gentoxizität liegen widersprüchliche Ergebnisse vor. Eine schwache Zunahme der Lymphom- und Leukämierate wurde bei hohen Konzentrationen in der Nahrung bei Ratten beobachtet. Bisphenol A gilt ebenfalls als endokrin wirksam (östrogene Effekte). Tierversuche an der Ratte zeigten Hyperaktivität nach prenataler Belastung infolge einer Veränderung der Genexpression des Dopaminrezeptors.

Der TDI (vorläufig) liegt bei 0,01 mg/kg Körpergewicht (BFR 2003), nach derzeitiger Bewertung auf EU-Ebene.

3.6.2 Gehalte in Grünlandböden

Zu 4Nonylphenol und Bisphenol A liegen bislang in Österreich nur sehr vereinzelte Bodendaten vor. Aus diesem Grund wurden die Substanzen in beiden Tiefenstufen analysiert. Wie aus Tabelle 21 ersichtlich ist, wurden nur an maximal sechs der beprobten Standorte Werte über den Bestimmungsgrenzen ermittelt.

Tabelle 21: Statistische Kennwerte von 4Nonylphenol und Bisphenol A (µg/kg TS; n = 14).

Substanz	cm	Min.	25. Perz.	Median	75. Perz.	Max.	MW	Std-Abw.	IntQuart-Abst.	n > BG	NG > n > BG	n < NG
4Nonylphenol technisch	0–5	< NG	< NG	< NG	10,50	13,00	3,71	5,47	10,50	4	1	9
	5–10	< NG	< NG	< NG	7,05	31,00	4,01	8,58	7,05	4	0	10
	0–5	< NG	< NG	< BG	1,43	2,30	0,76	0,77	1,43	6	3	5
Bisphenol A	5–10	< NG	< NG	< NG	< NG	< 5	-	-	-	0	1	13

4Nonylphenol Die Gehalte von 4Nonylphenol liegen zwischen < NG und 31,0 µg/kg, wobei unter Berücksichtigung beider Tiefenstufen bei 19 der 28 Proben der Wert unter der Nachweisgrenze liegt. Der Großteil der quantifizierbaren Werte wurde nahe der Bestimmungsgrenze (zwischen 10 und 13 µg/kg) bestimmt.

Hintergrundwerte in der Literatur in unbelasteten, nicht mit Klärschlamm behandelten Böden werden mit < 20 µg/kg TS angegeben. In unbehandelten dänischen, tonhaltigen bzw. sandigen Böden wurden Gehalte von 7 bzw. 3 µg/kg TS ermittelt (LITZ 2004). In Bodenproben aus den Einzugsgebieten von vier Hochgebirgsseen im Süden Vorarlbergs liegen die Gehalte an 4Nonylphenol zwischen 41 und 140 µg/kg TS (eine Probe < NG; AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG 2003).

Soweit aus dem vorhanden Datenmaterial ableitbar ist, bewegen sich die analysierten Gehalte der Grünlandboden durchwegs in Bereich von Hintergrundwerten.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Bisphenol A

Bisphenol A konnte nur in der erste Tiefenstufe quantitativ mit max. 2,3 µg/kg TS am Standort STM 3 nachgewiesen werden. An fünf Standorten liegen die Werte unter der Nachweisgrenze von 0,5 µg/kg TS. Für die Proben aus 5–10 cm Tiefe konnten keine Werte über der Nachweisgrenze, die aus methodischen Gründen bei 2,5 µg/kg TS lag, analysiert werden.

Die Datenlage zu Bisphenol A muss als noch lückenhafter als zu Nonlyphenol angegeben werden. Es konnten in der Literatur keine Vergleichsdaten gefunden werden. Ergebnisse einer Untersuchung aus Deutschland, bei der vier unterschiedliche Böden mit ^{14}C-BPA unter Laborbedingen behandelt wurden, lassen darauf schließen, dass BPA in Böden nicht stabil, nicht mobil und nicht bioverfügbar ist (FENT et al. 2003).

3.7 Chlorphenole

3.7.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Bei Chlorphenolen handelt es sich um organische Chemikalien deren Grundstruktur einen Phenolring enthält, der mit Chloratomen substituiert ist. Es sind 19 Kongenere möglich (1–5 Chloratome). Häufig bilden sie Salze (Na oder Ka), werden als technische Gemische eingesetzt oder sind mit Dioxinen und Furanen verunreinigt.

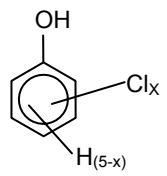


Abbildung 12: Allgemeine Strukturformel der Chlorphenole.

Verwendung

Früher wurden Chlorphenole als Pestizide, Desinfektionsmittel, Holzschutzmittel, Biozide und als diverse Zusätze eingesetzt. Heute besteht in einigen Ländern ein Verwendungs- und Produktionsverbot, dennoch sind sie aufgrund ihrer Langlebigkeit ubiquitär nachweisbar. Chlorphenole entstehen auch als Nebenprodukt der Zellstoffindustrie und bei der Chlorierung von Wasser.

Eigenschaften/ Umweltverhalten

Schwerflüchtige Chlorphenole sind in Wasser kaum löslich und im Boden wenig mobil. Insbesondere bei Tetrachlorphenolen kann es jedoch zu einer Anreicherung an die Partikelphase und in Sedimenten kommen.

Biokonzentration

Die Biokonzentrationsfaktoren liegen zwischen 100–1.000.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Toxikologie

Chlorphenole sind stark ätzend. Trichlorphenol kann kanzerogen (Lymophdrüsenkrebs, Leukämien) wirken. Im Allgemeinen nimmt die Toxizität mit der Anzahl der Chloratome zu. Neurotoxische, fetotoxische, organtoxische (Leber, Niere) und tumorfördernde Wirkungen können in Folge einer Belastung mit Chlorphenolen eintreten.

Der Trinkwassergrenzwert liegt für 2,4,6-Trichlorphenol bei 0,1 µg/l (WHO 1985). Das entspricht dem Geruchsschwellenwert. Das gilt auch für andere Vertreter der Chlorphenole.

Pentachlorphenol

Als ein wichtiger Vertreter der Gruppe der Chlorphenole wird im Folgenden Pentachlorphenol (PCP) hinsichtlich seiner Eigenschaften und seines Umweltverhaltens näher beschrieben.

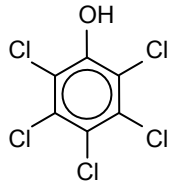


Abbildung 13: Strukturformel des Pentachlorphenols.

Verwendung

Pentachlorphenol und dessen Salze wurden als Algizide, Bakterizide, Herbizide, Insektizide und Molluskizide in vielen Anwendungen eingesetzt. Aufgrund seiner toxischen Eigenschaften wurde die Verwendung jedoch in den meisten europäischen Ländern verboten.

Eigenschaften/ Umweltverhalten

PCP ist flüchtig, die Salze sind gut wasserlöslich. Die Adsorptionsfähigkeit von PCP steigt mit sinkendem pH-Wert.

PCP ist in der Umwelt weit verbreitet und in allen Kompartimenten nachweisbar. Der Abbau erfolgt entweder mit Sonnenlicht zu geringer chlorierten Phenolen oder durch mikrobiellen Abbau in Böden mit hoher Bodenfeuchte, hohem pH-Wert, mittleren Temperaturen und einem hohem Anteil an organischer Substanz. Die Halbwertszeit liegt bei 7–14 Tagen; bei geringem Sauerstoffgehalt und schlechter Abbaubarkeit bei 10–70 Tagen. Zum Vergleich: die Halbwertszeit beträgt im Wasser 80–192 Tage (in anaerobem Milieu), in Sedimenten wird 0–10 % der Substanz innerhalb von fünf Wochen abgebaut. PCP kann auch von Pflanzen aufgenommen werden.

Biokonzentration

Die Biokonzentrationsfaktoren liegen bis 1.000 für Süßwasserfische.

Toxikologie

PCP weist eine hohe aquatische und akute Toxizität auf. Es kann fetotoxisch, entwicklungstoxisch, immuntoxisch, neurotoxisch, organtoxisch (Leber, Niere) oder kanzerogen wirken. Aufgrund der unzureichenden Datenlage erfolgte keine Bewertung durch die IARC. Von der WHO (WHO 1994) wurde es als Pestizid höchster Gefährlichkeit eingestuft (1B – Stufe 2 von 4 Stufen). Die Exposition der Menschen erfolgt über die Nahrung, das Trinkwasser und Kontaminationen in Innenräumen aufgrund alter Belastungen (ZNS-Symptome).

Der TDI wird mit 0,003 mg/kg KG (WHO, zitiert in OLLROGE 2004) angegeben.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3.7.2 Gehalte in Grünlandböden

Von den 19 möglichen Chlorphenolen wurden 18 Kongenere analytisch bestimmt. Keine Ergebnisse liegen zu 2,4,6-Trichlorphenol vor. Ein Großteil der Messung erbrachte keine gesicherten Nachweise – 59 % der Proben liegen unter der Nachweis-, weitere 16 % unter der Bestimmungsgrenze. Deshalb wurden die Analysen vorerst nur für die erste Tiefenstufe durchgeführt.

Die Gehalte der Chlorphenole liegen durchwegs im Bereich weniger µg/kg TS. 2,4 + 2,5 Dichlorphenol ist als einziges Kongener in allen Proben nachweisbar und weist einen Schwankungsbereich von 1,7 bis 34,2 µg/kg TS auf.

Tabelle 22: Statistische Kennwerte ausgewählter Chlorphenole (µg/kg TS; n = 14).

Substanz	Min.	25. Perz.	Median	75. Perz.	Max.	MW	Std-Abw.	IntQuart-Abst.	n > BG	NG > n > BG	N < NG
4-Chlorphenol	< NG	0,75	6,43	9,35	62,54	9,59	15,83	8,60	10	1	3
2,4 + 2,5-Dichlorphenol	1,74	1,92	2,79	4,60	34,17	5,43	8,45	2,69	14	0	0
3,5-Dichlorphenol	< NG	< NG	1,44	4,49	13,25	3,20	4,31	-	8	2	4
2,3,4-Trichlorphenol	< NG	0,75	1,80	2,07	3,00	1,61	0,93	1,32	10	2	2
Pentachlorphenol	< NG	< NG	< NG	1,00	2,83	0,65	0,93	-	2	4	8
Summe Chlorphenole	9,4	14,3	15,5	25,6	125,6	26,0	29,3	11,3	14	0	0

Die Summengehalte aller Mono-, Di-, Tri-, Tetra- und Pentachlorphenole betragen zwischen 9,4 µg/kg TS und 125,6 µg/kg TS, wobei der Maximalgehalt am Standort BGL 2 um ein vielfaches (Faktor 4,5) über jenen der anderen Standorte liegt. Besonders fallen an diesem Standort die Werte zu 4-Chlorphenol, 2,4+2,5-Dichlorphenol sowie 2,3,4,5- und 2,3,4,6-Tetrachlorphenol auf (siehe Tabelle 36, Anhang 2).

Bestimmbare Gehalte von Pentachlorphenol betreffen die beiden Standorte KTN 3 und OÖ 1 (2,8 bzw. 2,2 µg/kg TS). Die Messwerte stimmen größenordnungsmäßig ungefähr mit dem einzigen nachweisbaren Gehalt an PCP in Österreichs Hintergrundwaldstandorten (UMWELTBUNDESAMT 1998) überein. Bei der landesweiten Inventur für das Bundesland Bayern konnten an 32 Grünlandstandorten ländlicher Räume Chlorphenolgehalte (Summe Tri-, Tetra- und Pentachlorphenole) zwischen < 1 µg/kg TS und 61 µg/kg TS (Median < 1 µg/kg TS) festgestellt werden. In Verdichtungsräumen erreichte der Maximalgehalt 381 µg/kg TS (JONECK & PRINZ 1993).

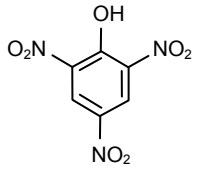
Mit Ausnahme des Standortes BGL 2, bei dem eine genauere Abklärung der Situation anzustreben ist, stellen die übrigen Standorte typische Hintergrundstandorte ohne auffällige Gehalte an Chlorphenolen dar.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3.8 Nitrophenole

3.8.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Nitrophenole sind eine Gruppe von organischen Stoffen, für deren derzeitigen Nachweis in der Umwelt vor allem luftchemische Umwandlungsprozesse aus Vorläufersubstanzen wie z. B. Benzol und Toluol, oxidierte Stickstoffverbindungen oder Hydroxyl-Radikale maßgeblich sind (UMWELTBUNDESAMT 2000). Ihre allgemeine Strukturformel lautet $C_6H_5NO_3$. Je nach Position der funktionellen Gruppen am aromatischen Ring gibt es drei isomere Verbindungen.



2,4,6 Trinitrophenol

Abbildung 14: Strukturformel von 2,4,6- Nitrophenol

Verwendung

Mono-Nitrophenole werden bei der Produktion von Farben (Azofarbstoffe), Pigmenten, Pharmaka, Gummi, Munition, bei Holzbehandlungen, Photographien, Pestiziden und Fungiziden (bis in die 80er Jahre) eingesetzt. Verkehrsemissionen zählen ebenso als Verursacher von Nitrophenolen, wo sie in phenolreicher und NO_2-reicher Luft bei Anwesenheit von Sauerstoffradikalen entstehen. In den Boden gelangen sie durch nasse und trockene Deposition, insbesondere in der Nähe verkehrsreicher Straßen, infolge lokaler Kontaminationen (Sprengstoffe), durch Abbauprozesse von Pestiziden (z. B. Parathion, Parathion-Methyl, Carbofuran, Phosalon, Fluorodifen) und durch Herbizide (z. B. Bifenox and Nitrofen). Zu dieser Gruppe zählt auch der Sprengstoff Trinitrophenol.

Eigenschaften/ Umweltverhalten

Der Log K_{OW}-Wert liegt zwischen 1,79 und 2. Dissoziation erfolgt bei niedrigen pH-Werten.

Nitrophenole kennzeichnet eine ausgeprägte Toxizität gegenüber Pflanzen, aquatischen und anderen Organismen. In Böden gelten sie als mäßig mobil. Sie sind in relativ hohen Konzentrationen im Niederschlag enthalten. Der Abbau der Stoffe im Boden erfolgt eher sehr langsam. Die Halbwertszeit für Mono-Nitrophenole liegt bei 2 bis 14 Tagen. In anaerobem Milieu besteht eine deutliche Gefahr der Auswaschung ins Grundwasser.

Biokonzentration

Die Biokonzentrationsfaktoren sind mit 11–76 gering bis moderat.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Toxikologie

Toxische Effekte von Nitrophenolen betreffen das Zentralnervensystem, die Atmungskette und die Regulation der Schilddrüse. Ebenso wirken Nitrophenole reizend und Allergie auslösend. Die Exposition der Bevölkerung erfolgt hauptsächlich über die Luft (Anreicherung im Nebel) und das Trinkwasser.

3.8.2 Gehalte in Grünlandböden

Nitrophenole wurden im Bereich von 4–160 µg/kg FS in Fichtennadeln entlegener Waldstandorte nachgewiesen (UMWELTBUNDESAMT 1998, 2000, 2002). Aus der Literatur ist bekannt, dass Nitrophenole im Boden mäßig sorbiert werden, so dass sie sowohl für die Bodenlösung als auch für den Boden selbst Relevanz besitzen.

In der vorliegenden Studie wurde die oberste Bodenschicht auf 16 Kongenere analysiert (siehe Tabelle 37, Anhang 2). Bei Nachweisgrenzen zwischen 0,8 und 5,5 µg/kg TS (BG: 1,6–11,0 µg/kg TS) konnte jedoch in keiner einzigen Probe der Nachweis einer Nitrophenolverbindung erbracht werden.

Auch in der Literatur konnten keine Angaben zu Hintergrundgehalten von Nitrophenolen in Böden gefunden werden. In RIPPEN (1987) werden für 2- und 4-Nitrophenol Richtwerte für gereinigte Böden von 5 mg/kg TS angegeben.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse wird vermutet, dass die Gehalte von Nitrophenolen unbelasteter Gebiete eher im Bereich der PBDEs liegen und für weiterführende Untersuchungen eine deutlich geringere Nachweisgrenze angesetzt werden muss.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3.9 Phthalate

3.9.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Die Stoffklasse der Phthalate fasst Salze und Ester der o-Phthalsäure zusammen. In Abbildung 15 sind die Strukturformeln einiger ausgewählter Phthalatverbindungen dargestellt.

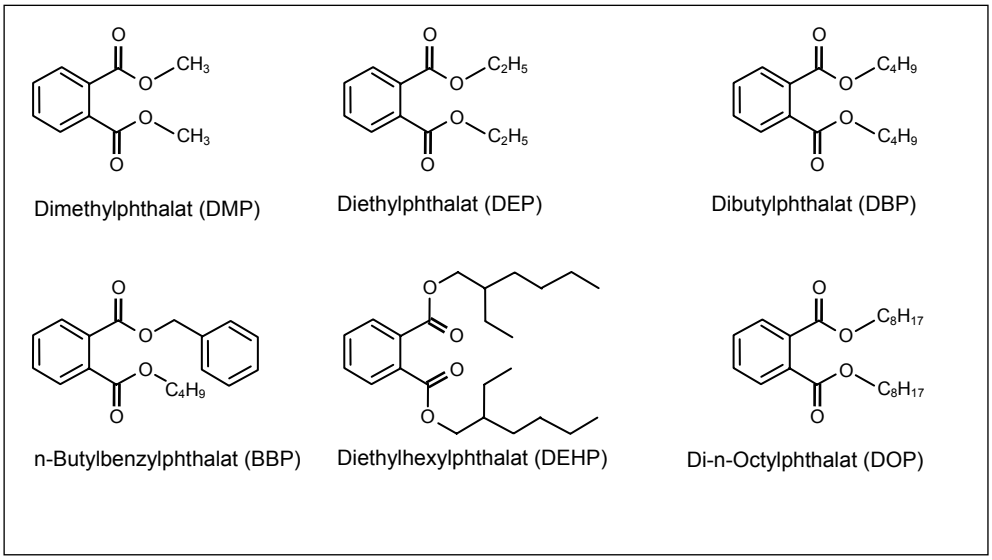


Abbildung 15: Strukturformel ausgewählter Phthalate.

Verwendung Phthalate werden hauptsächlich als Weichmacher in Kunststoffen (z. B. PVC, Polystyrol) eingesetzt. Sie werden den Materialien beigemischt, um deren Dehnbarkeit und Verarbeitbarkeit zu optimieren. Darüber hinaus verwendet man Phthalate unter anderem in kosmetischen und medizinischen Präparaten, als Additiv in Farben, Lacken, Dispersionen, in Munition sowie als Schmier- und Lösemittel oder Textilhilfsmittel. Der am häufigsten verwendete und toxikologisch am besten untersuchte Phthalat-Vertreter ist das DEHP (Diethylhexylphthalat). Weitere wichtige Angehörige dieser Stoffklasse sind Dibutylphthalat (DBP), n-Butylbenzylphthalat (BBP) und Diethylphthalat (DEP).

Eigenschaften Phthalate weisen eine hohe chemische Stabilität auf, sind farb-, geruchs-, geschmacksneutral.

Toxikologie Phthalate weisen eine geringe akute Toxizität auf. Die Datenlage zur Toxizität der Phthalate ist allerdings generell unbefriedigend. Die meisten Studien beziehen sich auf DEHP.

DEHP zeigt im Tierversuch kanzerogene und reproduktionstoxische Wirkung. Endokrin wirksam sind auch DBP und BBP. Bei hohen Dosierungen in Tierversuchen wurden Schäden von Hoden, Leber und Niere beobachtet.

Der Hauptaufnahmeweg beim Menschen erfolgt über die Nahrung, Innenraumluft, Hausstaub und Kontakt mit Konsumprodukten aus Kunststoffen.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Der TDI liegt laut SCF (Scientific Commitee of Food der EU) bei 0,05 mg/kg Körpergewicht und Tag. Überschreitungen dieser Dosis sind wahrscheinlich.

3.9.2 Gehalte in Grünlandböden

Im Rahmen dieser Studie wurden sechs Phthalat-Verbindungen analysiert: Dimethylphthalat (DMP), Diethylphthalat (DEP), Dibutylphthalat (DBP), Butylbenzylphthalat (BBP), Diethylhexylphthalat (DEHP) und Di-n-Octylphthalat (DOP).

In den obersten 5 cm konnten die beiden wichtigsten industriell hergestellten Phthalate – DBP und DEHP – in allen Proben quantitativ nachgewiesen werden (siehe Tabelle 23). Folglich wurden diese auch in der nachfolgenden Tiefenstufe analysiert. Die Werte aller anderen Vertreter dieser Gruppe liegen unter der Nachweis- bzw. Bestimmungsgrenze (siehe Tabelle 38, Anhang 2).

Tabelle 23: Statistische Kennwerte von DBP und DEHP (µg/kg TS; n = 14).

Substanz	cm	Min.	25. Perz.	Median	75. Perz.	Max.	MW	StdAbw.	IntQuart-Abst.	n > BG	NG > n > BG	n < NG
Dibutylphthalat (DBP)	0–5	5,1	7,8	17,0	30,8	43,0	19,7	13,5	23,0	14	0	0
	5–10	< NG	< NG	< BG	6,0	9,6	3,3	3,2	-	4	6	4
Diethylhexyl phthalat (DEHP)	0–5	20,0	39,5	47,5	59,8	100,0	51,6	21,4	20,3	14	0	0
	5–10	15,0	24,0	42,0	61,0	94,0	43,1	22,3	37,0	14	0	0

Die Gehalte von DBP bewegen sich zwischen 5,1 und 43,0 µg/kg TS (0–5 cm; Median: 17 µg/kg TS) bzw. < NG und 9,6 µg/kg TS (5–10 cm; Median: < BG). Es zeigt sich, dass die DBP-Gehalte in den obersten 5 cm deutlich über jenen der nachfolgenden Tiefenstufe liegen. Die Maximalgehalte von 43,0 µg/kg TS finden sich interessanterweise an den beiden räumlich benachbarten und von der Höhenlage ähnlichen Standorten STM 4und STM 5.

Der Standort STM 4 weist für die Tiefenstufe 0–5 cm auch den höchsten Gehalt an DEHP auf. Die Werte für DEHP liegen im Bereich von 20,0–100,0 µg/kg TS (0–5 cm; Median: 47,5 µg/kg TS) bzw. 15,0–94,0 µg/kg TS (5–10 cm, Median: 42,0 µg/kg TS).

Während bereits zahlreiche Informationen und Daten zu Phthalaten in Gewässern, Klärschlämmen, Komposten und Sedimenten vorliegen und verfügbar sind, sind die Literaturangaben bezüglich des Mediums Boden noch sehr rar. In den wenigen dazu recherchierbaren Literaturstellen werden für unbelastete Böden Gehalte bis zu 70 µg/kg TS für DEHP und bis zu 30 µg/kg TS für DBP angegeben (MÜLLER & KÖRDEL 1995). In mit Klärschlamm behandelten Böden können diese Werte jedoch auf einige mg/kg TS ansteigen. Auf solchen Böden werden in Holland und Deutschland (Land Brandenburg) DEHP-Gehalte von bis zu 70 mg/kg TS angegeben, für DBP bis zu 180 mg/kg TS (LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG 2000, BAARS et al. 2001).

Die vorliegenden Ergebnisse liegen daher im Bereich von in der Literatur beschriebenen Hintergrundbelastungen. Weiterer Forschungsbedarf ist für diese Stoffgruppe allerdings aufgrund ihres ubiquitären Vorkommens und ihrer Wirkungen gegeben.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

3.10 Organozinnverbindungen

3.10.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Zinnorganische Verbindungen (organic tin, OT) sind organische Derivate der Zinn(IV)-Halogenide SnX4, wobei die Halogenid-Ionen sukzessive durch organische Reste ersetzt werden (RnSnX4-n). Es entsteht eine Verbindungsklasse mit einer Vielzahl von Einzelverbindungen, die ein breites Spektrum von Eigenschaften aufweisen (UMWELTBUNDESAMT BERLIN 2004).

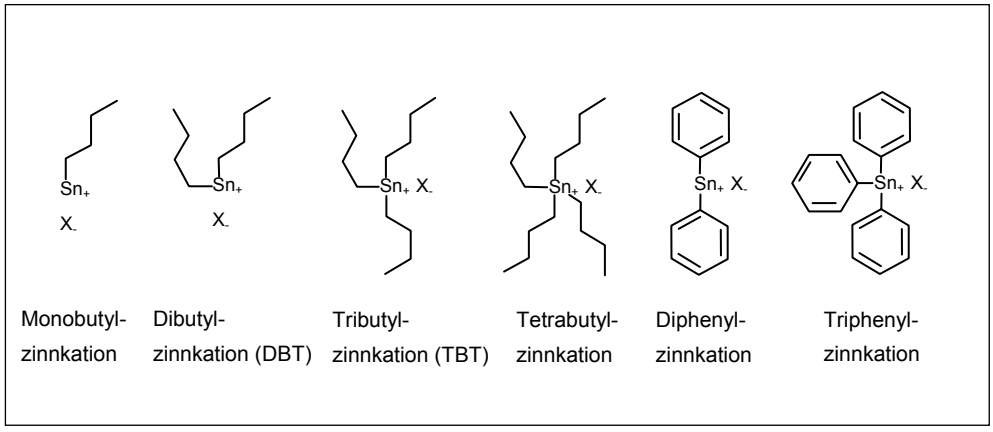


Abbildung 16: Strukturformel wesentlicher Organozinnverbindungen.

Verwendung Organozinnverbindungen werden vor allem als Antifouling bei Schiffsanstrichen, als Holz- und Materialschutzmittel, in Dämmstoffen, Dichtmassen, als Desinfektionsmittel, Pflanzenschutzmittel und als Additiv (Lichtschutz) in Kunststoffen verwendet. Tributyzinn (TBT) ist ein Biozid, das giftig für Bakterien, Schimmelpilze und Algen ist und Produkten zugesetzt wird, die ständig feucht werden oder hygienisch sehr sicher sein sollen.

Eigenschaften Aufgrund ihrer bioziden Wirkung und ihrer Persistenz besitzen Organozinnverbindungen eine hohe Umweltrelevanz. Die Anreicherung erfolgt in der Nahrungskette über Bioakkumulation.

Toxikologie Die endokrine Wirksamkeit von Organozinnverbindungen wurde durch das Auftreten androgener Effekte (Vermännlichung weiblicher Organismen) bei Schnecken in Häfen bekannt. Tributylzinn aber auch Triphenylzinn sind in sehr geringen Konzentrationen (< 1 ng/l Sn) für das Verschwinden von Populationen einzelner aquatischer Spezies (Meeresschnecken) verantwortlich (FENT 1998).

Die Toxizität der organischen Zinnverbindungen ist sehr unterschiedlich, besonders hohe Toxizität weisen di- und trialkylierte Verbindungen auf. Die Konzentrationen in Gewässern, bei denen chronische Effekte gefunden werden (z. B. bei Jugendstadien von Fischen, Muscheln, Krebstieren) liegen bei wenigen ng/l. Im Säugerorganismus werden Tributylverbindungen zu Dibutyl- und Monobutylverbindungen abgebaut. Tributylzinnverbindungen sind immuntoxisch und schädigen die Schilddrüse.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Die Datenlage zur Humantoxizität ist sehr lückenhaft. Die Aufnahme durch aquatische Nahrungsmittel dürfte von großer Bedeutung sein, ebenso ist die Aufnahme über den Hausstaub und Konsumprodukte relevant (EU 2005).

Der TDI-Wert wird für die Verbindungen TBT(Tributylzinn), DBT(Dibutylzinn), DOT (Dioctylzinn), TPT (Triphenylzinn) als Chlorid mit 0,27 µg/kg oder 0,1 µg/kg als Sn? angegeben (Gruppen-TDI) (EU, SCEE 2005).

Der PNEC liegt für terrestrische Organismen bei 47 µg/kg; $PNEC_{Wasser}$ als Chlorid wird folgendermaßen festgelegt: TBTC (Tributylzinnchlorid) 16 ng/l; DBTC (Dibutylzinnchlorid) 1.000 ng/l; DOTC (Dioctylzinnchlorid) 4.200 ng/l.

3.10.2 Gehalte in Grünlandböden

Die Gehalte aller Grünlandproben der Tiefenstufe 0–5 cm liegen für die sechs untersuchten Vertreter der Organozinnverbindungen unter der Bestimmungs- bzw. Nachweisgrenze von 4,0 bzw. 2,0 µg/kg TS (siehe Tabelle 39, Anhang 2).

Über das Verhalten der Organozinnverbindungen im Boden gibt es kaum gesicherte Erkenntnisse. Die bisherigen veröffentlichten Untersuchungsergebnisse beziehen sich auf die hauptsächlich in der Landwirtschaft eingesetzten Triphenylzinnverbindungen und auf Klärschlammuntersuchungen. In den meisten Veröffentlichungen werden Organozinnverbindungen als gemäßigt bis hoch persistent bezeichnet (MARCIC et al. 2006). Die angegebenen Halbwertszeiten betragen für TBT 6–10 Monate. Der bisher bekannte Abbaumechanismus geht über eine Dealkylierung zu anorganischen Zinnverbindungen.

Es ist zu vermuten, dass hauptsächlich intensiv landwirtschaftlich genutzte Flächen einer möglichen Kontamination mit Organozinnverbindungen ausgesetzt sind. Um weiträumige luftgetragene Verfrachtungen dieser Schadstoffgruppe ausschließen zu können, wäre bei weiteren Untersuchungen ein Herabsetzten der Nachweisgrenze unbedingt erforderlich.

3.11 Kohlenwasserstoffe (KW-Index)

3.11.1 Eigenschaften, Verwendung und Umweltrelevanz der Substanzen

Der KW-Index stellt einen Summenparameter dar, der alle Kohlenwasserstoffverbindungen (aliphatische, aromatische) von C10 (n-Dekan) bis C40 (n-Tetracontan) erfasst. Flüchtige Kohlenwasserstoffe, die eine Siedetemperatur unterhalb von n-Dekan aufweisen – das betrifft einen Großteil der gängigen Mineralölkohlenwasserstoffe wie Dieselkraftstoff, Heizöl EL, Motor-, Schmier- und Trafoöl – werden durch diese Methode ebenso wenig erfasst wie hoch siedende KWs, wie z. B. schweres Heizöl (siehe Abbildung 17).

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

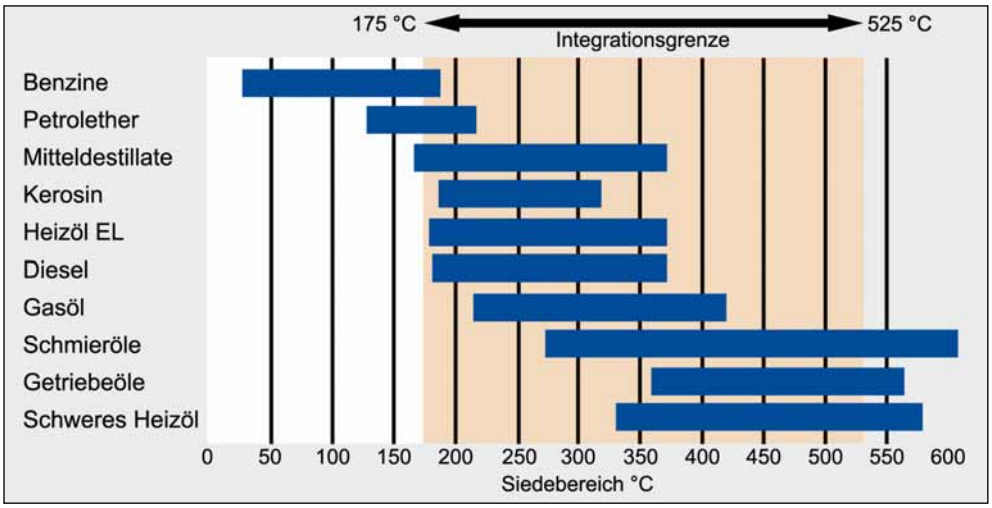


Abbildung 17: Siedebereiche typischer Mineralölprodukte in Relation zu den Integrationsgrenzen von n-Dekan und n-Tetracontan. Außerhalb des eingefärbten Bereichs liegende Fraktionen werden nicht oder nur teilweise im KW-Index erfasst.

Toxikologie

Toxikologische Bedeutung haben von den KWs Hexan und Heptan (Bestandteile des Benzins). Durch erhöhte Konzentrationen dieser Stoffe in der Atemluft kann es zu Störungen des Zentralnervensystems kommen.

Von den aromatischen Kohlenwasserstoffen (z. B. Benzol, Toluol, Xylol) ist hauptsächlich Benzol toxikologisch bedeutsam. Es kann zur Schädigung des Zentralnervensystems und des Blutsystems führen. Benzol ist kanzerogen und chronische Exposition gegenüber hohen Konzentrationen kann Leukämien verursachen.

Toxikologisch von Bedeutung sind außerdem halogenierte aliphatische Kohlenwasserstoffe. Diese können zu Störungen des Zentralnervensystems, sowie zu Leber- und Nierenschädigungen führen. Zu dieser Gruppe zählen: Trichlormethan (Chloroform), Tetrachlormethan (Tetrachlorkohlenstoff CCl4), Monochlormethan (Methylchlorid) und Dichlormethan (Methylenchlorid), Trichlorethen, Tetrachlorethen, Vinylchlorid (Chlorethen), Vinylidenchlorid, 1,1,2 Trichlorethan, 1,1,2,2, Tetrachlorethan, 1,2-Dichlorethan, 1,2-Dibromethan.

3.11.2 Gehalte in Grünlandböden

Die KW-Gehalte in Böden erlangen vor allem im Zusammenhang mit Hochwasserkatastrophen besondere Bedeutung. Über die natürlichen KW-Gehalte in Böden gibt es allerdings kaum Informationen, da aufgrund der vielfältigen KW-Verbindungen eine genaue Analytik schwierig ist. In den letzten Jahren hat sich für die KW-Bestimmung in Böden, ebenso wie im Abfallbereich, der KW-Index durchgesetzt.

An allen untersuchten Standorten liegt der KW-Index der obersten Tiefenstufe unter der Bestimmungsgrenze von 100 mg/kg TS.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

In diversen nationalen Regelwerken anderer Länder (z. B. Niederländische Liste, 1994, Orientierungswerte in diversen deutschen Bundesländern, welche in (ROSENKRANZ et al. 1988) zusammengestellt sind) werden Hintergrund- bzw. Richtwerte für Mineralölkohlenwasserstoff in Bereichen bis zu 100 mg/kg angegeben, teilweise sogar von nur 7–15 mg/kg.

Um diesbezüglich genauere Informationen zu erhalten, wird es notwendig sein, künftig die Nachweisgrenze für die Kohlenwasserstoffbestimmung niedriger anzusetzen.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN

In den Bodenproben von 14 unbelasteten Grünlandstandorten wurden eine Reihe persistenter organischer Schadstoffe (POPs), darunter sowohl Verbindungen, deren Persistenz und Umweltrelevanz schon seit langem bekannt ist, als auch einer breiteren Öffentlichkeit noch relativ unbekannte Stoffe – so genannte "upcoming pollutants" – nachgewiesen.

Hauptaussagen der Studie

Die Ergebnisse belegen daher eine weitgehend ubiquitäre Belastung von Grünlandböden mit teilweise hoch toxischen organischen Substanzen. Im Vergleich zu Böden mit anderen Nutzungen, wie z. B. Auflagehorizonten von Waldböden oder ackerbaulich genutzten Böden, weisen die Gehalte der im Rahmen dieser Studie beprobten Grünlandböden teilweise deutlich geringere Schadstoffgehalte auf. Die unterschiedlichen Bearbeitungsmethoden auf Ackerflächen sowie die besondere Akkumulations- und Eintragssituation von luftgetragenen Schadstoffen in Waldböden können dafür als Ursache angeführt werden.

Darüber hinaus konnte gezeigt werden, dass die Verteilung der maximalen Schadstoffkonzentrationen über alle Standorte stark gestreut ist. Einzelnen Auffälligkeiten von Belastungen wie z. B. die erhöhten I-TEQ Werte der PCDD/Fs an den Standorten STM 4 und BGL 3 weisen darauf hin, dass hier weitere Abklärungen der Belastungssituation notwendig wären.

Die Ergebnisse liefern somit einen ersten wesentlichen Beitrag zur Abschätzung von Gehalten an persistenten organischen Schadstoffen in Grünlandböden, die aus diffusen Eintragsquellen stammen. Dennoch wäre es wesentlich, zu folgenden Punkten weiterführende Untersuchungen durchzuführen, um eine allgemeinere Aussage über die ubiquitäre Belastungssituation mit POPs treffen zu können:

Weitere Anforderungen

- Ausdehnung des Projektumfangs auf mehrere Standorte und weitere Bundesländer,
- basierend auf einem größeren Stichprobenumfang und einer umfangreicheren Datengrundlage die Durchführung von statistischen Auswertung über Korrelationen zwischen allgemeinen Bodeneigenschaften wie z. B. pH-Wert, Humusgehalt, Karbonatgehalt und den einzelnen Schadstoffen, sowie zwischen den einzelnen Schadstoffgruppen,
- Vervollständigung der Analysen auf beide beprobten Tiefenstufen,
- im Einzelfall Einbeziehung anderer Grunddaten, zur Abklärung erhöhter Schadstoffgehalte (z. B. Emissions- und Depositionsdaten, mögliche lokale Verursacher),
- weiterführende Recherchen hinsichtlich der Festlegung relevanter Nachweisgrenzen zur Bestimmung und Ableitung von Hintergrundwerten,
- Überprüfung der kleinräumigen Variabilität und Feststellung der Streuung einer Mischprobe durch zusätzliche Gewinnung mehrerer Parallelproben an einem Standort.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass weiterhin großer Bedarf besteht, geeignete Grundlagen und eine Datenbasis für eine Bewertung der Belastungen von Grünlandböden mit organischen Schadstoffen zu schaffen.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

5 ABKÜRZUNGEN UND GLOSSAR

AAS ..... Atomabsorptionsspektroskopie

ADI ..... Acceptable Daily Intake: duldbare tägliche Aufnahmemenge (lebenslang); diejenige Aufnahmemenge, die bei derzeitigem Wissensstand zu keinen Schädigungen führt. Zunehmend von TDI ersetzt.

ATDSR ..... Agency for Toxic Substances and Disease Registry (gehört zum U.S. Department of Health and Human Services)

BaP ..... Benzo(a)pyren

Bioakkumulation .... beschreibt die Anreicherung einer Substanz durch die Nahrungskette

BCF ..... Biokonzentrationsfaktor: Quotient einer Substanz im Organismus zur Konzentration im umgebenden Medium (z. B. Wasser); ein BCF > 5.000 ist eines der Kriterien für POPs (Stockholm-Konvention, UN-ECE), ein BCF von > 2.000 ist ein Kriterium für PBT-Stoffe (EU).

Biokonzentration .... beschreibt die Anreicherung einer Substanz in Lebewesen im Vergleich zum umgebenden Medium

CAS-Nr. ..... Registriernummer des „Chemical Abstract Service“, bei der es sich um eine eindeutige Codierung für jeden Stoff und seine Struktur handelt. Jedes Isomer und jedes Salz davon erhalten eine eigene CAS-Nummer.

DBP ..... Di-n-Butylphthalat

DDX ..... Summe von DDT und Metaboliten

DEHP Bis-2-Diethylhexylphthalat

DL-PCB ..... Dioxin-like PCB

EPA ..... US Environmental Protection Agency

FS ..... Frischsubstanz

GC-MS ..... Gaschromatographie-Massenspektroskopie

GPC ..... Gelpermeationschromatographie

HCB ..... Hexachlorbenzol

IARC ..... International Agency for Research on Cancer: Internationales Krebsforschungszentrum

ICP ..... inductively coupled plasma

IPCS ..... International Programme on Chemical Safety

Isomer ..... chemische Verbindungen der gleichen Summenformel, aber unterschiedlicher chemischer Struktur und teilweise auch mit unterschiedlichen chemischen, physikalischen und biologischen Eigenschaften

I-TEQ ..... Internationale Toxizitätsäquivalenzfaktoren nach dem Schema der NATO (North Atlantic Treaty Organisation)

IUPAC ..... International Union of Pure and Applied Chemistry (deutsch: „Internationale Union für reine und angewandte Chemie“)

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Kongener..... chemische Verbindungen mit der gleichen Grundstruktur. Die jeweiligen Verbindungen können unterschiedliche chemische, physikalische und toxikologische Eigenschaften haben.

KW-Index ..... Kohlenwasserstoff-Index

Lipophil..... „Fettliebend“, fettlöslich (die Verteilung im Organismus betreffend: Anreicherung in der fettreichen Phase)

Log K_{OW}..... Maß für die Lipophilie; Verteilungskoeffizient K_{OW} einer Substanz in einem Gemisch von 1-Octanol und Wasser. Je höher der K_{OW} ist, desto eher findet eine Adsorption an organisches Material im Boden oder im Fett lebender Organismen statt. Je tiefer der K_{OW} ist, desto wasserlöslicher ist der Stoff; ein log $K_{OW} > 5$ ist eines der Kriterien für POPs.

LRTAP..... Long Range Transboundary Air Pollution (weiträumige, grenzüberschreitende Luftverunreinigungen)

LRTAP-Konvention..... Abkommen der vereinten Nationen, um Substanzen, die lange Strecken in der Luft transportiert werden können, zu beobachten und einzuschränken

Mmu ..... Millimasseneinheiten

NG..... Nachweisgrenze

NOAEL..... No Observable Adverse Effect Level: Dosis, bei der im Tierversuch keine Schädigung beobachtet wurde; wird in mg/kg Körpergewicht angegeben.

PAH..... Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

PBDE ..... Polybromierte Diphenylether

PBT ..... Persistent Bioaccumulative Toxic: Persistente, bioakkumulierende, toxische Stoffe: Klassifizierung durch die EU

PCB..... Polychlorierte Biphenyle

PCDD/F..... Polychlorierte Dibenzodioxine und -furane

PEC..... Predicted Environmental Concentration: Konzentration eines Stoffes in der Umwelt (gemessen oder durch Modellberechnungen ermittelt)

PNEC ..... Predicted No Effect Concentration: Konzentration eines Stoffes in der Umwelt, bei der mit keinen Schadwirkungen zu rechnen ist

PNEC/PNEC-Verhältnis..... Grundlage einer Risikobewertung; Vergleich der Konzentrationen in der Umwelt mit der Konzentration, bei der mit keinen Schadwirkungen zu rechnen ist. Ist das Verhältnis ≥ 1, ist Handlungsbedarf gegeben.

Persistenz ..... nur sehr geringe Abbaubarkeit in der Umwelt

POPs..... Persistent Organic Pollutants: persistente organische Schadstoffe

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

POP-Kriterien ..... Persistenz (Halbwertszeit in Wasser > 2 Monate; Halbwertszeit im Boden > 6 Monate), BCF > 5.000, oder log K_{OW} > 5 oder Nachweis in Lebewesen; Fähigkeit über lange Strecken transportiert zu werden: Verweilzeit in der Luft > 2 Tage; Nachweis in abgelegenen Regionen; Toxizität: Nachweis (oder auch Hinweise) von Schädigungen der Gesundheit des Menschen und/oder der Umwelt

POPs-Protokoll..... Protocol on Persistant Organic Pollutants.

PTWI ..... Provisional Tolerable Weekly Intake: Über eine Woche gemittelte tolerable Aufnahmemenge eines Schadstoffs, da durch unterschiedliche Gehalte verschiedener Lebensmittel die täglichen Aufnahmemengen sehr stark variieren können.

Risikobewertung .... Die Methode der Risikobewertung wird im Technical Guidance Document (TGD 2003) der EU beschrieben. Dieses enthält Richtlinien zur Durchführung einer Risikobewertung.

Ökotoxikologische Risikobewertung .... Das potenzielle Risiko einer Substanz wird als Verhältnis von der tatsächlich in der Umwelt nachweisbaren Konzentration zu der Konzentration, bei der keine ökotoxikologischen Effekte auftreten, beschrieben.

Stockholm-Konvention ..... Globales Abkommen, um Umwelt und Menschen vor den Gefahren durch persistente organische Schadstoffe (POPs) zu schützen. Durch Verbote und Einschränkungen sowie durch verbindliche Richtlinien sollen die Konzentrationen dieser Stoffe in der Umwelt verringert werden. Wurde von 50 Staaten ratifiziert und ist seit 17.5.2004 in Kraft (UNEP 2001).

TDI ..... Tolerable Daily Intake: Tolerierbare tägliche Aufnahmemenge (lebenslang). Ersetzt ADI zunehmend.

Teratogenität ..... Eigenschaft eines Stoffes, die während der Entwicklung von der befruchteten Eizelle zum Embryo zu Störungen (und in Folge zu Missbildungen und Fehlentwicklungen) führen kann.

TE-WHO..... Toxizitätsäquivalenzfaktoren nach WHO (World Health Organisation)

TS ..... Trockensubstanz

Ubiquitär..... überall verbreitet

UN-ECE ..... United Nations Economic Commission for Europe (ECE)

UNEP ..... United Nations Environment Programme

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

6 LITERATUR

AMAP (2004): Arctic Monitoring and Assessment Programme, AMAP Assessment 2002: Persistent Organic Pollutants in the Arctic. Oslo, Norway.

AMT DER KÄRNTNER LANDESREGIERUNG (1999): Bodenzustandsinventur Kärnten. Amt der Kärntner Landesregierung, Abteilung 15 Umweltschutz und Technik, Klagenfurt.

AMT DER OBERÖSTERREICHISCHEN LANDESREGIERUNG (1993): Oberösterreichischer Bodenkataster – Bodenzustandsinventur, Linz.

AMT DER STEIERMÄRKISCHEN LANDESREGIERUNG, LANDWIRTSCHAFTLICHES VERSUCHSZENTRUM STEIERMARK (1988–1998): Steiermärkische Bodenschutzberichte, Graz.

AMT DER VORARLBERGER LANDESREGIERUNG (Hg.) (2003): Umweltanalytik – Untersuchung schwer abbaubarer Schadstoffe in hochalpinen Regionen. Schriftenreihe Lebensraum Vorarlberg, Band 56.

B-GKV – Bundes-Grenzwerteverordnung (2002): Verordnung der Bundesregierung über Grenzwerte für Arbeitsstoffe und über krebserzeugende Arbeitsstoffe. 393. Verordnung.

BAARS, A.J.; THEELEN, R.M.C.; JANSSEN, P.J.C.M. et al. (2001): Re-evaluation of human toxicological risk maximum permissible risk levels. RIVM report – 711 701 025.

BBODSCHV: Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999.

BFR – Bundesinstitut für Risikobewertung (2003): Stellungnahme des BfR vom 17. April, 2003. Erbgutveränderungen durch Bisphenol A, - Studie von HUNT et al. http://www.bfr.bund.de/cm/252/erbgutveraenderungen_durch_bisphenol_a.pdf.

DÄNISCHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ (1999): Toxicological Evaluation and Limit Values for Nonylphenol, Nonylphenol Ethoxylates, Tricresyl, Phosphates and Benzoic Acid. http://www.mst.dk/udgiv/Publications/1999/87-7909-566-6/html/nonylphenol/kap07.htm.

ELLINGER, ST. (2003): Berechnung der Verteilungskonstanten log Kow und Untersuchung des Vorkommens in Fischen von bromierten Flammschutzmitteln vom Bromkal-DE Typ. Diplomarbeit an der Universität Ulm, Abteilung Analytische Chemie und Umweltchemie.

EU, SCEE (2005): Risk Assessment studies on targeted consumer applications of certain organotin compounds. Final Report. http://europa.eu.int/comm/enterprise/chemicals/docs/studies/organotins_3rd_report_16_sept_2005.pdf.

FATHEPURE, B.Z; TIEDJE, J.M. & BOYD, S.A. (1988): Reductive dechlorination of hexachlorobenzene to tri- and dichlorobenzenes in anaerobic sewage sludge. Appl Environ Microbiol. 54(2): 327–330.

FENT, G.; HEIN, W.J.; MOENDEL, M.J. et al. (2003): Fate of ^{14}C-bisphenol A in soils. Chemosphere. Vol. 51, Issue 8, p. 735–46.

FENT, K. (1998): Umweltchemie, Toxikologie, Ökologie. Georg Thieme Verlag. Stuttgart. New York.

FIEDLER, H.; HUB, M.; WILLNER, S. & HUTZINGER, O. (1995): Stoffbericht HCB. Handbuch Altlasten und Grundwasserschadensfälle. Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hg.).

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

HASSANIN, A.; BREIVIK, K.; MEIJER, S.N. et al. (2004): PBDEs in European background soils: level and factors controlling their distribution. Environmental Science Technology. Feb. 1 Vol. 38 (3), p. 738–45.

IPCS – International Programme on Chemical Safety (2003): Polychlorinated biphenyls: Human health aspects. (Concise international chemical assessment document; 55) 1. Polychlorinated biphenyls – toxicity, 2. Polychlorinated biphenyls – adverse effects, 3. Risk assessment, 4. Environmental exposure. I. International Programme on Chemical Safety, II. Series.
http://www.inchem.org/documents/cicads/cicads/cicad55.htm#1.0.

IPCS: INTERNATIONAL PROGRAMME ON CHEMICAL SAFETY (1989): Pentachlorophenol Poisons Information Monograph 405.
http://www.inchem.org/documents/pims/chemical/pim405.htm

JONECK, M. & PRINZ, R. (1993): Inventur organischer Schadstoffe in Böden Bayerns. Chlorierte Kohlenwasserstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und N-Herbizide in Böden unterschiedlicher Nutzung und Immissionssituation. Fachberichte Nr. 9. Bayerisches Geologisches Landesamt, München.

KOSS, G.; SCHRENK, D. & WÖLFLE, D. (2004): Polychlorierte Dioxine und Dibenzofurane. In: Marquard und Schäfer: Lehrbuch der Toxikologie. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft, Stuttgart. S. 703–730.

KRAUS, M. (2004a): PCB (Polyzyklische Aromatische Kohlenwasserstoffe, insbesondere Naphtalin und Benzo(a)pyren). In: LITZ, N., WILCKE, W., WILKE B.-M. (2004): Bodengefährdende Stoffe. Ecomed.

KRAUS, M. (2004b): PAK (Polychlorierte Biphenyle). In: LITZ, N., WILCKE, W., WILKE B.-M. (2004): Bodengefährdende Stoffe. Ecomed.

LABO – Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (1998): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 2. überarbeitete und ergänzte Auflage.

LABO – Bund-Länder-Arbeitsgemeinschaft Bodenschutz (2003): Hintergrundwerte für anorganische und organische Stoffe in Böden. 3. überarbeitete und ergänzte Auflage.

LANDESUMWELTAMT BRANDENBURG (2000): Endokrin wirksame Stoffe in der Umwelt. Literaturstudie zur Bedeutung dieser Stoffe. Studien und Tagungsberichte, Band 26.

LITZ, N. (2004): Nonylphenol (-Ethoxylate). In: LITZ, N., WILCKE, W., WILKE B.-M. (2004): Bodengefährdende Stoffe. Ecomed.

LFL – Bayrische Landesanstalt für Landwirtschaft (Hg.) (2005): 20 Jahre Boden-Dauerbeobachtung in Bayern. Schriftenreihe, ISSN 1611–4159.

MARCIC, CH.; LE HECHO, I.; DENAIX, L. & LESPES, G. (2006): TBT and TPhT persistence in a slugded soil. Chemosphere. Article in Press.

MINISTERIUM FÜR LANDWIRTSCHAFT, UMWELTSCHUTZ UND RAUMORDNUNG, LAND BRANDENBURG (Hg.) (2002): Umweltdaten aus Brandenburg – Bericht 2002.

MÜLLER, J. & KÖRDEL, W. (1995): Vorkommen von Phthalaten in Böden. In*:* Kriterien zur Beurteilung organischer Bodenkontaminationen: Dioxine (PCDD/F) und Phthalate. Dechema.

OLLROGE (2004): Grenzwerte, Richtwerte und Empfehlungen in in Marquardt und Schäfer (Hg.), Lehrbuch der Toxikologie. Wissenschaftliche Verlagsgesellschaft mbH, Stuttgart. S. 1263-1295.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

RIPPEN, G. (1987): Handbuch der Umweltchemikalien – Stoffdaten, Prüfverfahren, Vorschriften. Loseblatt-Ausgabe, laufende Ergänzungen. Ecomed.

RIVM (2006): Brominated Flame Retardents: Occurence, Dietary Intake and Risk Assessment Report.

ROBIN, J.L.; COLIN, R.A.; BOER, J. DE, et al. (2006): Levels and trends of brominated flame retardants in the European environment. Chemosphere 64. p. 187–208.

ROSENKRANZ D., BACHMANN G., EINSELE G. et al. (1988): Bodenschutz – ergänzendes Handbuch der Maßnahmen und Empfehlungen für Schutz, Pflege und Sanierung von Böden, Landschaft und Grundwasser. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

SCHEFFER, F. & SCHACHTSCHABEL, P. (2002): Lehrbuch der Bodenkunde. 15. Auflage. Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg; Berlin.

SCHMID, P.; GUJER, E.; ZENNEGG, M. & BUCHELI, T. (2004): Correlation of PCDD/F and PCB Concentration in Soil Samples from the Swiss Soil Monitoring Network (NABO) to Specific Parameters of the Observation Sites. Organohalogen Compounds.

UMWELTBUNDESAMT (1992): Weiss, P. & Riss, A. (1992): Schadstoffe im Raum Linz Teil B: Bodenuntersuchungen von Grünland und Waldböden im Raum Linz auf Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe und chlorierte KWS. Monographien, Bd. M-20. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (1995): Thanner, G. & Moche, W.: Dioxinimmissionsmessungen in Ulmerfeld/Amstetten. Berichte, Bd. BE-31. Umweltbundesamt, Wien. S. 26.

UMWELTBUNDESAMT (1998): Weiss, P.: Persistente organische Schadstoffe in Hintergrund-Waldgebieten Österreichs. Monographien, Bd. M-97. Umweltbundesamt, Wien. S.242.

UMWELTBUNDESAMT (2000): Weiss, P.: Pflanzentoxische organische Schadstoffe und enzymatische Reaktionen in Fichten emittentenferner Standorte Österreichs. Teil 1: Nitrophenole, leichtflüchtige halogenierte Kohlenwasserstoffe und Trichloressigsäure in Fichtennadeln. Monographien, Bd. M-123. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2002): Weiss, P.: Organische Schadstoffe an entlegenen Waldstandorten Sloweniens und Kärntens. Berichte, Bd. BE-195, Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2003): Freudenschuß, A.: Organische Schadstoffe in Böden – Auswertung aus dem Bodeninformationssystem BORIS (unveröffentlicht).

UMWELTBUNDESAMT (2004): Moche, W.; Stephan, K. & Thanner, G.: Bromierte Flammschutzmittel in der aquatischen Umwelt. Berichte, Bd. BE-243. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESAMT (2005): Sattelberger R., Gans O., & Martínez E.: Veterinärantibiotika in Wirtschaftsdünger und Boden. Berichte, Bd. BE-272. Umweltbundesamt, Wien.

UMWELTBUNDESDAMT BERLIN (2004): Untersuchung von Klärschlamm auf ausgewählte Schadstoffe und ihr Verhalten bei der landwirtschaftlichen Klärschlammverwertung. UBA Texte 20/2004. Berlin.

UNEP – United Nations Environment Programme (2001): Stockholm Convention on Persistent Organic Pollutants. http://www.pops.int/documents/convtext/convtext_en.pdf (2001).

UN-ECE – United Nations Economic Commission for Europe (2002): Executive Body for the Convention on Long Range Transboundary Air Pollution: Health risks of persistent organic pollutants from long-range transboundary air pollution. Working Group on Effects, GE.02-31616.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

UN-ECE – United Nations Economic Commission for Europe (1998): Convention on Long Range Transboundary Air Pollution: Protocol on Persistant Organic Pollutants, Aarhus Protocol.
http://www.unece.org/env/lrtap/full %20text/1998.POPs.e.pdf.

VAN DE PLASSCHE, E.; SCHWEGLER, A.; RASENBER, M. & SCHOUTEN, G. (2002): Pentachlorobenzene. Dossier prepared fort he third meeting of the UN-ECE Ad hoc Expert Group on POPs. Royal Haskoning report L0002.A0/R0010/EVDP/TL.

VERREAULT, J.; MUIR, D.C.; NORSTROM, R.J. et al. (2005): Chlorinated hydrocarbon contaminants and metabolites in polar bears (Ursus maritimus) from Alaska, Canada, East Greenland, and Svalbard: 1996–2002.

VERREAULT, J.; GABRIELSEN, G.W.; CHU, S. et al. (2005): Flame retardants and methoxylated and hydroxylated polybrominated di-phenyl ethers in two Norwegian Arctic top predators: Glaucous gulls and polar bears. Environ Sci Technol. 2005 39 (16): 6021-8.

WANG, X.M.; DING, X.; MAI, B.X. et al. (2005): Polybrominated diphenyl ethers in airborne particulates collected during a research expedition from the Bohai Sea to the Arctic. Environ Sci Technol. 39(20): 7803-9.

WHO – World Health Organization (1985): Guidelines for drinking-water quality. Vol. 2: Health Criteria and other supporting information, Geneva, World Health Organization, 335 pp.

WHO – World Health Organization (1989): International Programme on Chemical Safety: Environmental Health Criteria 93, Chlorophenols other than pentachlorophenol.

WHO – World Health Organization (1994): Recommended classification of pesticides by hazard and guidelines to classification 1994–1995, WHO/PCS/94.2. World Health Organization, IPCS, Geneva.

WHO – World Health Organization (2002): Safety evaluation of certain food additives and contaminants: Polychlorinated Dibenzodioxins, Polychlorinated Dibenzofurans and coplanar polychlorinated biphenyls. WHO food additives series, JECFA 48.
http://www.inchem.org/documents/jecfa/jecmono/v48je20.htm.

WINTER-SORKINA, R.; BAKKER, R.I.; WOLTERINK, G. & ZEILMAKER, M.J. (2006) Brominated flame retardants: Occurance, dietary intakes and risk assessment. RIVM Report 320100002.

Datenbanken

ESIS – Datenbank des Europäischen Chemikalien Büro: ECB: ESIS (existing chemicals).
http://ecb.jrc.it/.

Gefahrstoffdatenbank der Länder GLD.
http://www.gefahrstoff-info.de/

GESTIS Stoffdatenbank: Gefahrstoffinformationssystem der gewerblichen Berufsgenossenschaften.
http://www.hvbg.de/d/bia/gestis/stoffdb/index.html.

HSDB – Hazardous Substances Data Bank: a database of the National Library of Medicine's TOXNET system.
http://www.toxnet.nlm.nih.gov/.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

IPCS INCHEM: Chemical Safety Information from Intergovernmental Organizations. http://www.inchem.org/

IUCLID: International Uniform Chemical Information Data Base: ECB: European Chemicals Bureau: ESIS: European chemical Substances Information System. http://ecb.jrc.it/esis/.

PAN: Pesticide Database: Pesticide Action Network. http://www.pesticideinfo.org/Index.html.

PubMed, National Library of Medicine. http://www.ncbi.nlm.nih.gov/entrez/query.fcgi.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

ANHANG 1

Tabelle 24: Allgemeine Standortbeschreibungen.

Standort	Seehöhe (m)	Landnutzung	Tierhaltung	Geländeform	Nähe/Art zur nächsten Straße
BGL 2	287	ext. GL		Rücken	30 m – Zufahrtsweg
BGL 3	199	ext. GL		Ebene	30 m – Zufahrtsweg
OÖ 1	375	Weide	Schafweide	Ebene	50 m – Zufahrtsweg
OÖ 2	457	ext. GL		Hangfuß	30 m – Landesstraße
OÖ 3	272	einz. Obstb.		Ebene	200 m – W-Autobahn
OÖ 4	893	Wiese		Oberhang	k. A.
KTN 1	459	Weide	1 Pferd	Oberhang	50 m – Zufahrtsweg
KTN 2	427	Weide	Schafweide	Oberhang	50 m – Bundesstraße
KTN 3	440	GL		Ebene	20 m – Zufahrtsweg
STM 1	308	ext. GL		Ebene	30 m – Landesstraße
STM 2	295	einz. Obstb.		Ebene	30 m – Bundesstraße
STM 3	380	ext. GL		Oberhang	20 m – Zufahrtsweg
STM 4	800	ext. GL		Unterhang	150 m – Zufahrtsweg
STM 5	1.002	Weide	Kuhweide	Mittelhang	neben Forstweg

GL ..... Grünland

Tabelle 25: Parameter in internationalen Programmen.

Parameter	UN-ECE	Stockholm-Konvention	WRRL-prioritäre Stoffe
Aldrin	x	x	
Chlordan	x	x	
Chlordecon	x		
Dieldrin	x	x	
Endrin	x	x	
Hexabrombiphenyl	x		
Mirex	x	x	
Toxaphen	x	x	
DDT	x	x	
Heptachlor	x	x	
HCB	x	x	x
PCBs	x	x	
HCH	x		x
Dioxine	x	x	
Furane	x	x	
PAHs	x		x
C_{10-13} Chloralkane			x
Hexachlorbutadien			x
4Nonylphenol			x
Pentachlorbenzol			x
Tributylzinnverbindungen			x
Pentabromierte Diphenylether			x

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 26: CAS- und EG-Nummern ausgewählter Schadstoffe.

Substanz	CAS-Nr.	EG-Nr.
Aldrin[1)]	309-00-2	206-215-8
Dieldrin[1)]	60-57-1	200-484-5
Endrin[1)]	72-20-8	200-755-7
Chlordan[1)]	57-74-9	200-349-0
DDT[1)]	50-29-3	200-024-3
Mirex[1)]	2385-85-5	219-196-6
Heptachlor[1)]	76-44-8	200-962-3
Hexachlorbenzol[1)]	118-74-1	204-273-9
Hexachlorbutadien[2)]	87-68-3	201-765-5
Pentachlorbenzol[2)]	608-93-5	210-172-0
Endosulfan	115-29-7	204-079-4
γ-Hexachlorcyclohexan, HCH, Lindan	58-89-9	200-401-2
Pentachlorphenol	87-86-5	201-778-6

1) in Stockholm-Konvention

2) als neue POPs (UN-ECE – LRTAP Protokoll) in Diskussion

Tabelle 27: Log K_{OW} und Biokonzentrationsfaktoren (aquat.) von ausgewählten Organochlorverbindungen.

Substanz	Log K_{OW}	Biokonzentrationsfaktore (aquat.)
Aldrin	5,7–7,4[1)]	12.500, 13.300[1)]
Dieldrin	3,692–6,2[1)]	4.860–14.500[2)]
Endrin	3,209–5,339[1)]	6.400 [1)]
Chlordan	6[1)]	37.800, 16.000[1)]
DDT	4,86–6,914[1)]	51.335, 154.100[1)]
Mirex	5,28[2)]	2.600, 51.400[2)]
Heptachlor	6,10[2)]	200–37.000[2)]
Hexachlorbenzol	5,73[2)]	1.600–4.800[2)]
Pentachlorbenzol	4,8–5,18[1)]	3.400–13.000[1)]
Hexachlorbutadien	4,78[3)]	2.000–19.000[1)]
Endosulfan	3,83[2)]	2.650–11.583[2)]
HCH, Lindan	3,72[2)]	–1.246 [2)]

Quellen:

1) UN-ECE

2) HSDB

3) IUCLID

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 28: EU-Klassifizierung von ausgewählten Organochlorverbindungen: Toxizität, Umweltgefährdung, Kanzerogenität.

Substanz	Klassifizierung EU Toxizität, Umweltgefährdung	Kanzerogenität Einstufung EU	Kanzerogenität Einstufung IARC
Aldrin	T^1: R24/25-48/24/25 N^2; R50–53	3; R40	3
Dieldrin	$T^{1:}$ T+; R27; T; R25-48/25 N^2: R50–53	3; R40	3
Endrin	T^1:T+; R28 – T; R24 N^2: R50–53		3
Chlordan	T^1: Xn; R21/22 N^2: R50–53	3; R40	2B
DDT	T^1: T; R25-48/25 N^2: R50–53	3; R40	2B
Mirex	T^1: R62–63, R64, Xn; R21/22 N^2: R50–53	3; R40	2B
Heptachlor	T^1: R24/25, R33 N^2: R50–53	3; R40	2B
Hexachlorbenzol	T^1: R48/25 N^2: R50–53	2; R45	2B
Pentachlorbenzol	F; R11, T^1: Xn; R22, N^2: R50–53		
Endosulfan	T^1: R24/25 Xi; R36 N^2: R50–53		
Hexachlorbutadien	–		
HCH, Lindan	T^1: R25 Xn; R20/21-48/22, R64 $N^{2:}$ R50–53		
Pentachlorphenol	T^1: R26, T; R24/25, Xi; R36/37/38 N^2: R50–53	3; R40	

T^1: giftig, T+: sehr giftig, N^2: umweltgefährlich, Xn: gesundheitsschädlich,: Xi: reizend, F: leicht entzündlich

R11: leicht entzündlich

R20: gesundheitsschädlich beim Einatmen

R21: gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut

R20/21: gesundheitsschädlich beim Einatmen und bei Berührung mit der Haut

R21/23: gesundheitsschädlich bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken

R22: gesundheitsschädlich beim Verschlucken

R23: giftig beim Einatmen

R24: giftig bei Berührung mit der Haut

R25: giftig beim Verschlucken

R24/25: giftig bei Berührung mit der Haut und beim Verschlucken

R26: sehr giftig beim Einatmen

R27: sehr giftig bei Berührung mit der Haut

R28: sehr giftig beim Verschlucken

R33: Verdacht kumulativer Wirkungen

R36: reizt die Augen

R37: reizt die Atmungsorgane

R38: reizt die Haut

R39: ernste Gefahr irreversiblen Schadens

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

R40: *Verdacht auf krebserzeugende Wirkung*

R45: *kann Krebs erzeugen*

R48/25: *giftig: Gefahr ernster Gesundheitsschäden bei längerer Exposition durch Verschlucken*

R62: *kann möglicherweise die Fortpflanzungsfähigkeit beeinträchtigen*

R63: *kann das Kind im Mutterleib möglicherweise schädigen*

R64: *kann Säuglinge über die Muttermilch schädigen*

R50–53: *sehr giftig für Wasserorganismen, kann in Gewässern längerfristig schädliche Wirkungen haben*

IARC 2B: *möglicherweise beim Menschen krebserregend*

IARC 3: *krebserregend im Tierversuch, keine Hinweise auf Kanzerogenität im Menschen*

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

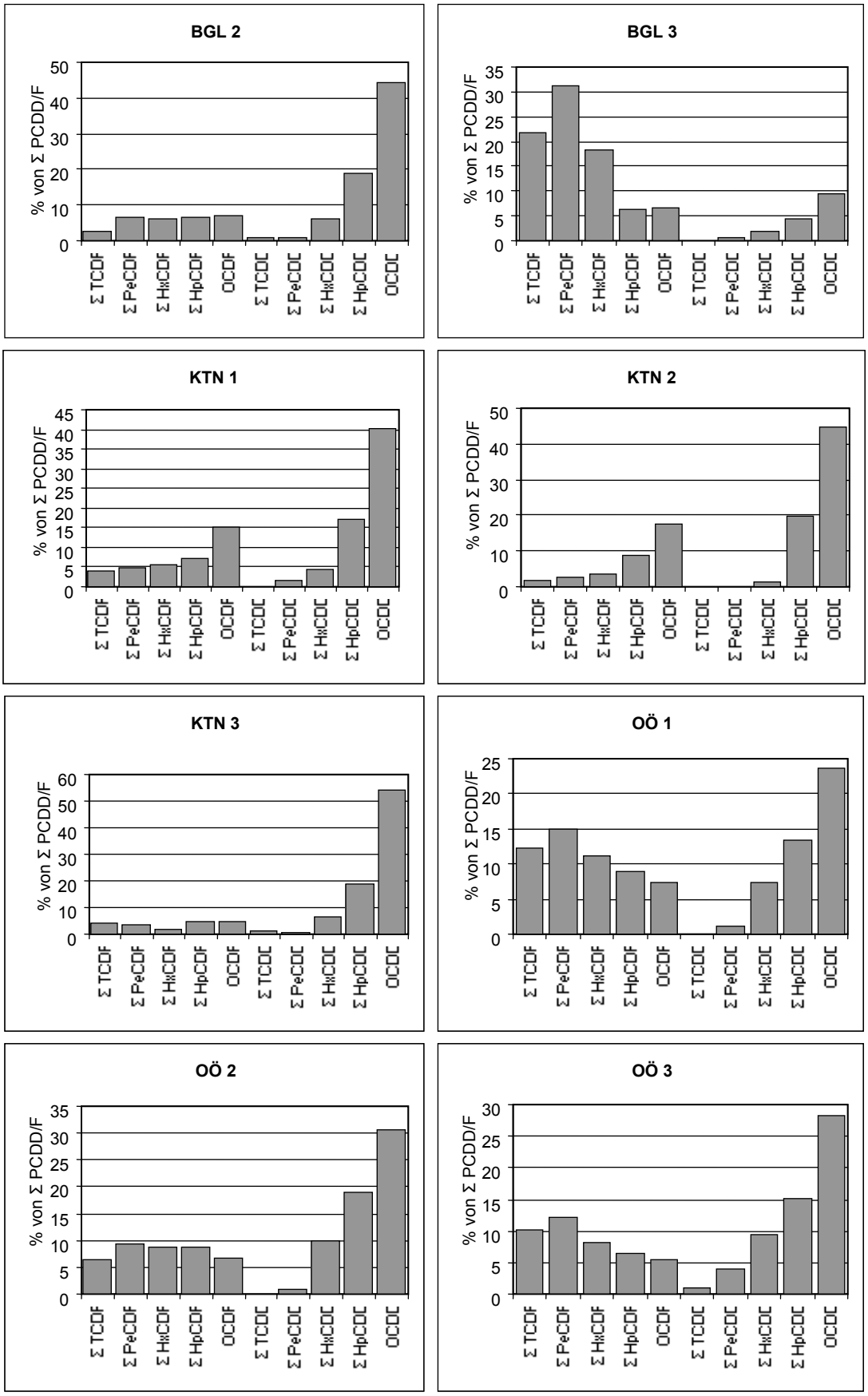


Abbildung 18: PCDD/F-Kongenerenverteilung der Standorte (Teil 1).

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

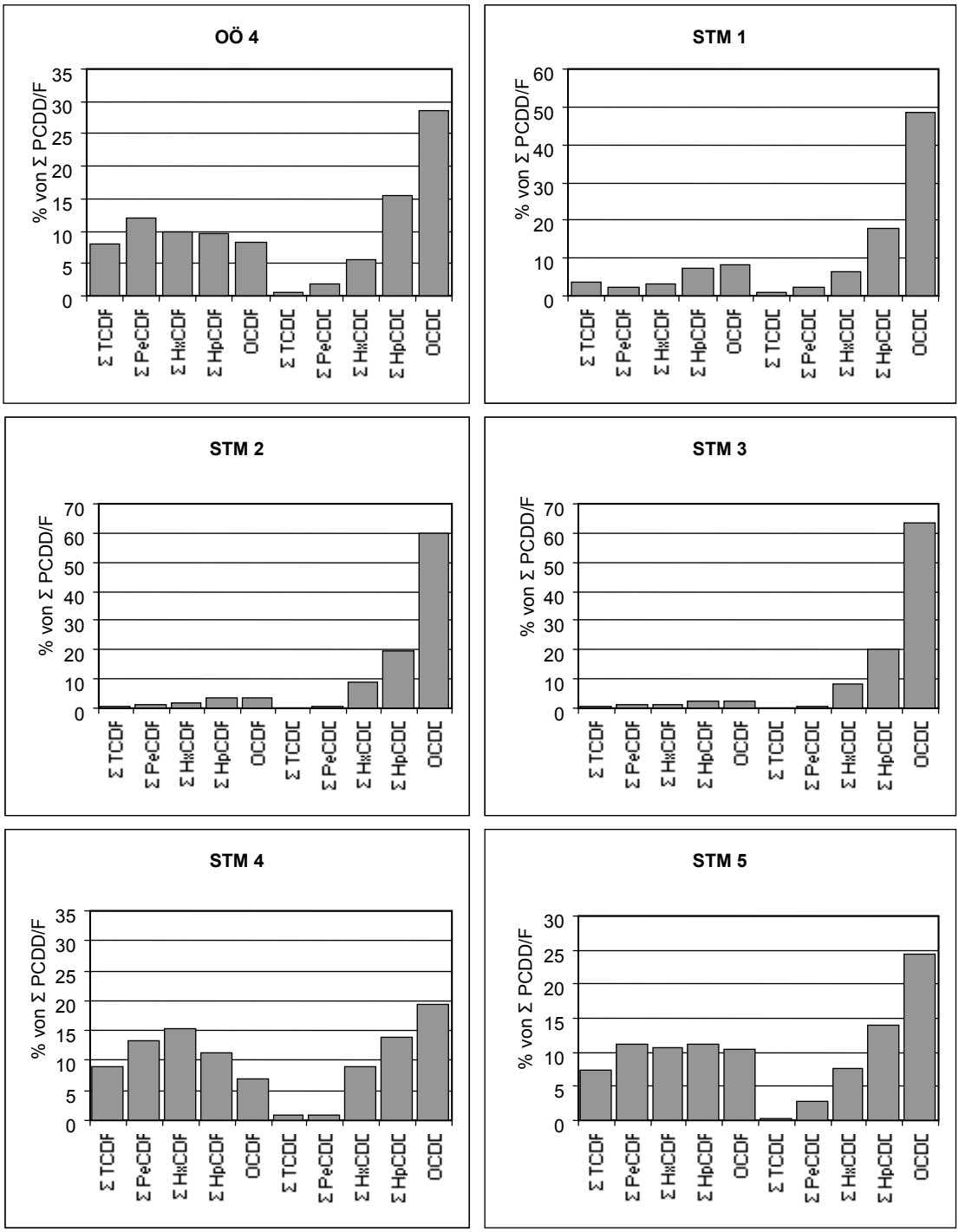


Abbildung 19: PCDD/F-Kongenerenverteilung der Standorte (Teil 2).

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

ANHANG 2

Die Ergebnisse in den Tabellen sind auf zwei signifikante Stellen angegeben und unterscheiden sich daher in der Anzahl der Kommastellen.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 29: Allgemeine Bodenparameter und Trockengewichte der Grünlandböden für die Tiefenstufen 0–5 cm und 5–10 cm.

Bezeichnung	Einheit	Tiefenst. cm	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5
Humus	%	0–5	9,3	13,5	7,7	6,7	7,8	8,2	7,4	11,7	10,2	6,6	7,9	4,2	15,7	25,0
		5–10	5,4	10,4	5,6	4,6	5,3	5,1	3,7	10,0	7,6	3,3	6,0	2,8	10,1	27,9
$CaCO_3$	%	0–5	0,0	14,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	20,5	2,0
		5–10	0,0	10,2	0,8	1,0	0,0	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	23,2	0,0
pH in $CaCl_2$		0–5	5,6	6,7	6,9	6,8	5,3	6,3	5,0	6,4	5,9	4,8	6,0	6,2	6,9	6,5
		5–10	5,6	6,8	7,1	7,0	5,2	6,5	4,9	6,4	6,1	4,8	6,1	6,4	7,0	6,6
Sand (< 2.000 µm bis 63 µm)	%	0–5	41,0	23,0	16,0	33,0	43,0	14,0	58,0	14,0	17,0	42,0	30,0	37,0	-	-
		5–10	36,0	15,0	12,0	28,0	45,0	12,0	54,0	15,0	5,0	39,0	26,0	37,0	25,0	-
Schluff (< 63 µm bis 2 µm)	%	0–5	36,0	46,0	65,0	55,0	45,0	71,0	34,0	56,0	55,0	46,0	52,0	41,0	-	-
		5–10	43,0	56,0	76,0	63,0	47,0	72,0	40,0	62,0	70,0	52,0	61,0	49,0	66,0	-
Ton (< 2 µm)	%	0–5	23,0	31,0	19,0	12,0	13,0	15,0	8,0	30,0	27,0	13,0	18,0	21,0	-	-
		5–10	22,0	29,0	12,0	9,0	8,0	16,0	7,0	23,0	25,0	10,0	13,0	13,0	10,0	-
Feinanteil < 2 mm	g	0–5	2.479,0	2.150,0	2.502,0	2.884,0	2.260,0	2.043,0	2.245,0	2.204,0	1.703,0	2.511,0	2.629,0	2.398,0	616,0	1.235,0
		5–10	2.053,0	2.096,0	2.557,0	2.908,0	2.279,0	2.196,0	3.339,0	1.910,0	1.645,0	3.118,0	2.461,0	2.897,0	2.054,0	1.061,0
Grobanteil > 2 mm	g	0–5	22,8	24,4	174,0	32,1	84,5	29,2	30,1	46,5	27,3	43,7	74,7	126,5	56,9	150,2
		5–10	1.054,0	637,0	290,0	108,0	252,0	159,0	80,0	106,0	364,0	115,0	389,0	295,0	467,0	191,0
Lyo-Rückstand	%	0–5	77,6	71,8	72,0	72,0	75,6	77,2	76,9	68,4	62,6	68,0	69,8	73,5	58,6	51,0
		5–10	85,0	79,4	78,3	79,7	80,9	82,1	84,3	75,1	67,9	78,6	78,2	79,7	79,0	67,5
TM Lyo-105 °C < 2 mm gesiebt	%	0–5	97,6	96,6	98,1	98,1	97,6	97,9	98,1	95,9	96,9	98,2	97,7	98,2	97,4	96,0
		5–10	97,2	95,2	95,5	92,2	97,4	97,9	98,1	93,5	97,7	94,6	94,6	96,2	81,8	75,2
TM Lyo-105 °C gemahlen	%	0–5	97,8	96,7	98,2	98,1	97,6	98,0	98,0	96,0	97,0	98,2	97,8	98,3	97,5	97,5

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 30: Organochlorpestizide (µg/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	Tiefenst.	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5
	cm	µg/kg TS													
Aldrin	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< 0,15	< 0,15	n.n.	n.n.	n.n.
cis-, trans-Chlordan	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Dieldrin	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Endrin	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Mirex	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Heptachlor	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Hexachlorbenzol (HCB)	0–5	n.n.	0,22	0,08	0,18	< 0,08	< 0,08	0,14	n.n.	< 0,08	0,12	< 0,08	< 0,08	0,082	< 0,08
	5–10	n.n.	0,34	0,14	n.n.	< 0,10	0,37	0,13	0,37	n.n.	n.n.	1.10	< 0,10	< 0,10	0,35
Pentachlorbenzol	0–5	0,49	0,59	0,39	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< 0,26	n.n.	2,40	0,41	0,59	0,97	n.n.
	5–10	0,59	0,69	n.n.	0,30	0,95	< 0,26	1.20	2.60	< 0,26	n.n.	0,80	1.20	0,72	2.00
Hexachlorbutadien	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
alpha Endosulfan	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< 0,12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
beta Endosulfan	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
DDX															
o,p DDE	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
p,p DDE	0–5	n.n.	0,54	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< 0,21	n.n.	0,37	n.n.	< 0,20	< 0,21
o,p DDD	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
p,p DDD	0–5	n.n.	< 0,10	n.n.	< 0,12	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
o,p DDT	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< 0,06	n.n.	n.n.	n.n.
p,p DDT	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< 0,07	n.n.	n.n.	n.n.
HCH															
Alpha HCH	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Beta HCH	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
Gamma HCH	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< 0,29	n.n.
Delta HCH	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 31: PCB und DL-PCBs (ng/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	**Tiefenst.**	**BGL 2**	**BGL 3**	**KTN 1**	**KTN 2**	**KTN 3**	**OÖ 1**	**OÖ 2**	**OÖ 3**	**OÖ 4**	**STM 1**	**STM 2**	**STM 3**	**STM 4**	**STM 5**	**NG = BG**
	cm	**ng/kg TS**														
PCB-28	0–5	100	96	100	91	70	160	160	110	190	100	120	90	140	230	0,4–3
PCB-52	0–5	77	69	74	64	58	88	110	71	110	66	70	87	91	110	0,4–3
PCB-101	0–5	160	180	190	150	140	110	230	180	120	170	150	280	84	110	0,4–3
PCB-153	0–5	260	360	580	260	420	380	610	430	420	350	220	1300	270	280	0,4–3
PCB-138	0–5	240	320	490	230	420	320	510	380	360	320	210	1100	250	230	0,4–3
PCB-180	0–5	100	150	260	100	270	160	230	160	170	140	83	660	130	110	0,4–3
Summe 6 PCB	**0–5**	**937**	**1.175**	**1.694**	**895**	**1.378**	**1.218**	**1.850**	**1.331**	**1.370**	**1.146**	**853**	**3.517**	**965**	**1.070**	
co-planar																
PCB-77	0–5	11,0	10,0	14,0	11,0	6,9	10,0	18,0	12,0	13,0	7,9	8,4	9,2	8,1	9,0	Siehe Bericht
	5–10	2,4	4,0	8,7	3,5	4,5	3,4	5,8	4,5	6,3	3,3	5,5	5,3	15,0	7,8	
PCB-81	0–5	2,1	2,0	2,0	1,6	1,2	1,8	3,0	1,8	1,5	2,1	1,3	2,5	1,1	1,3	
	5–10	n.n.	0,8	0,5	n.n.	0,4	n.n.	0,7	0,5	0,5	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	
PCB-126	0–5	1,3	2,7	4,7	1,2	3,2	2,5	4,8	1,9	4,3	1,6	1,6	2,6	2,3	2,2	
	5–10	n.n.	n.n.	3,9	3,2	0,9	1,3	3,5	1,9	2,3	n.n.	4,8	n.n.	6,7	2,4	
PCB-169	0–5	n.n.	0,5	0,5	0,3	0,4	0,7	0,5	0,5	0,8	0,7	0,3	0,6	0,4	0,6	
	5–10	n.n.	n.n.	0,6	0,7	0,3	1,1	0,6	0,4	0,2	0,7	0,7	n.n.	1,6	0,9	
Mono–ortho																
PCB-105	0–5	21,0	24,0	41,0	23,0	18,0	26,0	66,0	29,0	39,0	22,0	17,0	29,0	23,0	27,0	
	5–10	10,0	11,0	40,0	13,0	12,0	11,0	40,0	13,0	19,0	9,3	45,0	10,0	63,0	23,0	
PCB-114	0–5	1,5	1,5	2,2	1,3	1,1	1,2	2,5	1,6	1,3	1,5	1,4	1,2	1,5	1,4	
	5–10	n.n.	1,3	1,5	n.n.	1,0	n.n.	1,3	0,5	1,0	n.n.	n.n.	0,8	n.n.	n.n.	
PCB-118	0–5	37,0	43,0	60,0	37,0	31,0	44,0	98,0	44,0	59,0	37,0	29,0	70,0	35,0	42,0	
	5–10	22,0	22,0	67,0	29,0	26,0	27,0	77,0	27,0	44,0	22,0	150,0	23,0	120,0	47,0	
PCB-123	0–5	4,6	5,6	7,1	4,3	3,3	5,0	7,2	5,5	4,7	5,1	3,2	10,0	3,6	3,5	
	5–10	n.n.	1,5	1,6	2,4	1,4	n.n.	2,7	0,9	1,4	0,9	4,4	1,0	4,6	3,0	
PCB-156	0–5	14,0	19,0	41,0	15,0	24,0	n.n.	48,0	24,0	27,0	17,0	10,0	85,0	18,0	20,0	
	5–10	13,0	10,0	49,0	40,0	14,0	16,0	47,0	15,0	20,0	11,0	170,0	9,5	53,0	31,0	
PCB-157	0–5	1,5	3,1	5,6	0,9	3,2	4,4	8,6	4,1	4,9	3,1	0,3	10,0	2,9	3,2	
	5–10	2,4	1,6	7,1	5,6	2,9	3,0	10,0	n.n.	2,9	2,1	18,0	1,6	9,9	5,7	
PCB-167	0–5	6,9	11,0	18,0	6,5	13,0	14,0	23,0	12,0	15,0	10,0	5,2	40,0	8,3	9,4	
	5–10	7,2	4,9	26,0	21,0	8,0	12,0	25,0	8,2	9,1	7,4	78,0	4,0	26,0	18,0	
PCB-189	0–5	1,5	3,0	5,0	1,7	4,8	3,2	5,3	3,2	4,1	2,4	1,3	13,0	2,1	2,7	
	5–10	3,0	1,6	8,0	9,2	3,2	5,0	7,4	2,9	3,6	2,3	30,0	1,3	9,1	6,6	
WHO-TEQ	0–5	0,15	0,30	0,51	0,14	0,34	0,27	0,53	0,22	0,47	0,19	0,17	0,33	0,25	0,25	
	5–10	0,01	0,01	0,44	0,36	0,10	0,16	0,40	0,21	0,25	0,02	0,61	0,01	0,74	0,28	

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 32: PCDD/F (ng/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	Tiefenst.	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5	NG = BG
	cm	ng/kg TS														
2,3,7,8-TCDD	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,09	n.n.	0,082	n.n.	0,04–0,26
1,2,3,7,8-PeCDD	0–5	0,14	0,17	n.n.	n.n.	0,32	0,21	0,18	0,53	0,22	n.n.	n.n.	0,11	0,38	0,25	0,04–0,26
1,2,3,4,7,8-HxCDD	0–5	n.n.	0,19	n.n.	n.n.	0,39	0,29	0,18	0,46	0,31	n.n.	n.n.	n.n.	0,32	0,23	0,04–0,26
1,2,3,6,7,8-HxCDD	0–5	n.n.	0,22	n.n.	n.n.	0,63	0,25	0,28	0,47	0,45	n.n.	n.n.	n.n.	0,62	0,49	0,04–0,26
1,2,3,7,8,9-HxCDD	0–5	0,34	0,36	n.n.	n.n.	0,81	0,29	0,29	0,74	0,54	n.n.	0,6	0,37	0,64	0,53	0,04–0,26
1,2,3,4,6,7,8-HpCDD	0–5	3,3	3,4	1,7	1,3	10	2,9	3,1	4,3	5,9	3,6	4,1	4,6	5,5	6,8	0,04–0,26
OCDD		**16**	**14**	**7,2**	**5,6**	**61**	**9,4**	**9,2**	**14**	**24**	**17**	**26**	**34**	**14**	**21**	**0,04–0,26**
SummeTCDD	0–5	0,25	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	n.n.	0,47	0,39	0,35	0,09	n.n.	0,53	0,3	0,04–0,26
SummePeCDD	0–5	0,38	0,74	0,27	n.n.	0,9	0,41	0,28	2	1,6	0,79	0,27	0,42	0,66	2,3	0,04–0,26
SummeHxCDD	0–5	2,2	2,6	0,8	0,15	7	2,9	3	4,6	4,8	2,2	3,8	4,5	6,5	6,5	0,04–0,26
SummeHpCDD	0–5	6,9	6,5	3,1	2,5	21	5,3	5,7	7,5	13	6,2	8,6	11	10	12	0,04–0,26
2,3,7,8-TCDF	0–5	0,38	9,2	0,55	0,2	0,43	0,9	0,62	0,78	0,45	0,38	0,36	0,3	0,92	0,8	0,04–0,26
1,2,3,7,8-PeCDF	0–5	0,31	9,9	0,18	0,21	0,4	0,66	0,27	0,53	0,67	0,19	n.n.	0,16	1,1	0,81	0,04–0,26
2,3,4,7,8-PeCDF	0–5	0,27	11	0,15	0,12	0,41	0,78	0,29	0,54	0,87	0,17	0,18	0,12	1,6	1,1	0,04–0,26
1,2,3,4,7,8-HxCDF	0–5	0,41	16	0,57	0,23	0,85	1,1	0,4	0,72	1,3	0,35	0,41	0,26	2,1	1,8	0,04–0,26
1,2,3,6,7,8-HxCDF	0–5	0,29	3,2	0,17	0,14	0,4	0,56	0,34	0,51	0,87	0,18	n.n.	0,17	1,5	1,1	0,04–0,26
2,3,4,6,7,8-HxCDF	0–5	0,29	1,5	0,15	0,073	0,42	0,51	0,41	0,45	1	0,2	0,18	0,13	1,4	1,1	0,04–0,26
1,2,3,7,8,9-HxCDF	0–5	n.n.	0,5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,15	n.n.	0,04–0,26
1,2,3,4,6,7,8-HpCDF	0–5	1,9	5,6	1,3	1	3	2,4	2,1	2,5	5,6	1,7	1,2	1	5,9	6,6	0,04–0,26
1,2,3,4,7,8,9-HpCDF	0–5	0,25	1,8	n.n.	n.n.	n.n.	0,36	0,2	0,22	0,51	n.n.	n.n.	n.n.	0,6	0,71	0,04–0,26
OCDF		**2,5**	**9,9**	**2,7**	**2,2**	**5,2**	**2,9**	**2**	**2,7**	**6,9**	**2,9**	**1,5**	**1,2**	**4,9**	**8,9**	**0,04–0,26**
Summe-TCDF	**0–5**	**0,95**	**32**	**0,7**	**0,2**	**4,5**	**4,9**	**1,9**	**5**	**6,7**	**1,3**	**0,36**	**0,3**	**6,4**	**6,3**	**0,04–0,26**
Summe-PeCDF	**0–5**	**2,4**	**46**	**0,84**	**0,35**	**4**	**5,9**	**2,8**	**6**	**10**	**0,73**	**0,44**	**0,5**	**9,6**	**9,5**	**0,04–0,26**
Summe-HxCDF	**0–5**	**2,2**	**27**	**1**	**0,44**	**2,3**	**4,4**	**2,6**	**4**	**8,2**	**1,1**	**0,83**	**0,56**	**11**	**9,2**	**0,04–0,26**
Summe-HpCDF	**0–5**	**2,4**	**9,3**	**1,3**	**1,1**	**5,2**	**3,5**	**2,6**	**3,2**	**8**	**2,5**	**1,6**	**1,3**	**8,2**	**9,6**	**0,04–0,26**
Summe-PCDD	**0–5**	**25,73**	**23,84**	**11,37**	**8,25**	**91,2**	**18,01**	**18,18**	**28,57**	**43,79**	**26,54**	**38,76**	**49,92**	**31,69**	**42,1**	**0,04–0,26**
Summe-PCDF	**0–5**	**10,45**	**124,2**	**6,54**	**4,29**	**21,2**	**21,6**	**11,9**	**20,9**	**39,8**	**8,53**	**4,73**	**3,86**	**40,1**	**43,5**	**0,04–0,26**
Summe-PCDD/F	**0–5**	**36,18**	**148,04**	**17,91**	**12,54**	**112,4**	**39,61**	**30,08**	**49,47**	**83,59**	**35,07**	**43,49**	**53,78**	**71,79**	**85,6**	**0,04–0,26**
Summe 2,3,7,8-Isomere	**0–5**	**26,38**	**86,94**	**14,67**	**11,073**	**84,53**	**23,51**	**19,86**	**29,45**	**49,59**	**26,67**	**34,62**	**42,42**	**41,712**	**52,22**	**0,04–0,26**
I-TEQ	0–5	0,46	9,33	0,27	0,17	0,98	0,99	0,57	1,06	1,22	0,28	0,42	0,34	2,03	1,49	
WHO-TEQ	0–5	0,52	9,39	0,26	0,16	1,08	1,08	0,65	1,31	1,30	0,26	0,39	0,36	2,20	1,59	

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 33: PAHs (µg/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	Tiefenst.	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5	NG min	NG max
	cm	µg/kg TS															
Naphthalin	0–5	12	0,94	1,8	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	2,3	n.n.	n.n.	< 0,60	< 0,57	n.n.	1,5	0,16	0,23
Acenaphthylen	0–5	4,8	0,70	1,8	0,78	0,32	< 0,24	3,2	1,4	0,54	0,28	0,66	0,76	0,31	0,73	0,06	0,08
Acenaphthen	0–5	13	0,92	0,64	1,3	1,2	0,27	0,61	1,2	0,56	0,64	0,63	0,63	0,73	0,77	0,07	0,09
Fluoren	0–5	23	1,0	1,5	1,6	1,5	0,82	0,98	2,2	0,85	1,1	1,2	1,3	1,3	1,0	0,11	0,16
Phenanthren	0–5	700	5,2	6,5	12	6,2	1,3	7,2	21	3,1	5,0	6,7	3,7	5,2	7,8	0,08	0,09
Anthracen	0–5	6,7	n.n.	11	0,83	n.n.	n.n.	n.n.	2,1	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,44	0,02	0,03
Fluoranthen	0–5	540	14	8,8	27	13	< 0,36	22	50	7,4	9,5	15	7,8	4,1	26	0,09	0,10
Pyren	0–5	270	12	7,1	22	12	< 0,37	18	42	5,9	8,8	13	6,7	3,1	22	0,10	0,12
Benzo(a)anthracen	0–5	18	4,8	3,0	11	4,4	n.n.	8,2	18	2,2	4,4	6,0	4,1	1,1	8,8	0,17	0,26
Chrysen	0–5	96	7,5	4,2	15	5,8	n.n.	14	27	3,6	5,4	8,4	5,0	1,7	13	0,14	0,18
Benzo(b)fluoranthen	0–5	63	12	4,6	24	11	n.n.	22	39	9,5	9,7	13	7,0	3,5	21	0,20	0,28
Benzo(k)fluoranthen	0–5	23	4,9	2,0	9,3	4,6	n.n.	8,6	18	2,9	3,7	4,8	3,4	1,3	7,8	0,16	0,20
Benzo(a)pyren	0–5	15	6,8	12	13	10	n.n.	27	41	5,2	7,5	8,8	6,9	7,5	14	0,08	0,29
Indeno(1,2,3-c,d)pyren	0–5	15	5,7	0,65	11	4,9	n.n.	9,2	19	3,4	5,0	5,4	2,2	0,70	11	0,07	0,12
Dibenz(ac,ah)anthracen	0–5	2,0	n.n.	n.n.	2,0	< 0,44	n.n.	1,9	4,8	n.n.	n.n.	< 0,43	n.n.	n.n.	1,1	0,09	0,15
Benzo(ghi)perylen	0–5	17	6,7	0,88	13	6,4	n.n.	9,8	22	3,9	6,4	7,0	2,9	0,93	14	0,10	0,17
Summe EPA PAH 16	**0–5**	**1.818**	**82**	**67**	**163**	**82**	**2**	**154**	**313**	**49**	**67**	**90**	**52**	**32**	**152**	**0,16**	**0,23**
Summe DIN PAH 6	**0–5**	**674**	**50**	**29**	**98**	**51**	**n.n.**	**99**	**190**	**32**	**42**	**54**	**30**	**18**	**94**	**0,06**	**0,08**

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 34: Polybromierte Diphenylether (PBDE in ng/kg TS) in den Grünlandböden.

Bezeichnung	Tiefenst.	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5
	cm	ng/kg TS													
BDE-11	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	0,28	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	n.n.	0,47	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,27	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
BDE-17/25	0–5	n.n.	n.n.	0,28	1,8	0,15	n.n.	n.n.	0,45	0,079	0,19	n.n.	n.n.	0,054	0,07
	5–10	1,2	1,3	3,0	2,3	1,6	2,1	1,2	1,1	1,6	2,2	0,72	1,2	0,9	2,2
BDE-28	0–5	n.n.	0,16	0,65	3,3	0,46	n.n.	0,6	2,5	0,28	0,47	n.n.	n.n.	0,13	0,15
	5–10	2,8	1,4	8,9	1,8	2,9	6,9	0,9	2,2	3,9	2	3	7,9	2,1	4,5
BDE-47	0–5	8,6	11	150	110	51	28	120	590	16	3,6	2,6	9,6	7,6	4,6
	5–10	29	9	99	39	69	190	25	30	39	21	9	130	49	89
BDE-49	0–5	n.n.	0,4	1,3	4,6	0,72	n.n.	1,4	3,4	0,67	n.n.	n.n.	n.n.	0,23	0,31
	5–10	3,0	2,1	8,2	3,0	3,8	7,1	3,1	2,7	3,5	2,8	2,9	6,8	2,9	5,2
BDE-77	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	n.n.	0,37	0,26	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
BDE-85	0–5	n.n.	n.n.	3,8	n.n.	n.n.	n.n.	2,6	18	0,31	0,27	n.n.	n.n.	0,35	0,24
	5–10	n.n.	1,5	2,2	2,2	n.n.	17	1,3	1	1,7	1,5	1,8	2,1	1,1	1,9
BDE-99	0–5	5,5	4,9	120	36	19	23	130	560	7,7	1,7	1,9	3,6	4,8	4,6
	5–10	9	n.n.	46	17	25	400	18	12	21	5	1	53	14	31
BDE-100	0–5	1,5	1,7	29	11	5,1	5,9	28	120	3,4	0,65	0,55	1,1	1,7	1,7
	5–10	3,9	1,7	15	6,9	7,9	78	5,9	4,9	5,9	2,9	0,9	19	7,9	15
BDE-116	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	4,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
BDE-118	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
BDE-126	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	n.n.	n.n.	2	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	0,9	1,6	n.n.	2,6	3,2	0,99	1,7
BDE-138	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	2,4	n.n.	n.n.	n.n.	5,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	n.n.	1,7	1,2	3,8	0,95	13	n.n.	n.n.	1,6	11	5,6	4,1	n.n.	1,6
BDE-140	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	1,3	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

(Fortsetzung) Tabelle 34: Polybromierte Diphenylether (PBDE in ng/kg TS) in den Grünlandböden.

Bezeichnung	Tiefenst.	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5
BDE-153	0–5	0,36	0,2	9,5	2,2	3	2,3	7,9	33	4,5	0,89	n.n.	n.n.	4,3	6,1
	5–10	12	8,9	7,4	11	8,7	170	7,7	6,7	7,2	73	22	37	5,7	13
BDE-154	0–5	n.n.	n.n.	2,7	2,3	1,8	0,87	4,3	15	1,5	0,42	n.n.	n.n.	1,2	0,76
	5–10	4,8	2,2	4,7	12	2,7	110	2,6	3,4	3,3	21	14	2,9	2,1	6,2
BDE-155	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	1,9	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	n.n.	0,39	n.n.	n.n.	n.n.	6,6	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,45
BDE-166	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	3,4	n.n.	1,5	6,6	1,2	15	n.n.	n.n.	1,9	19	9,6	7,6	n.n.	n.n.
BDE-181	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	n.n.	n.n.	n.n.	26	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	21	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
BDE-183	0–5	n.n.	n.n.	5,9	n.n.	16	3,9	n.n.	n.n.	38	5,1	n.n.	n.n.	24	32
	5–10	15	33	16	15	15	52	14	13	16	81	32	56	7	56
BDE-196	0–5	n.n.	n.n.	7,2	7,1	15	10	6,6	12	23	2	n.n.	n.n.	15	16
	5–10	12	15	4	1	4	28	8	18	11	43	10	20	n.n.	15
BDE-197	0–5	n.n.	n.n.	7	7	26	9	5,7	12	27	8	n.n.	n.n.	22	20
	5–10	33	28	17	17	19	50	23	10	26	69	35	31	11	27
BDE-203	0–5	n.n.	n.n.	7	7,9	13	7,9	6	12	19	1,7	n.n.	n.n.	11	13
	5–10	19	14	9,5	9,5	7,5	37	11	3,8	14	32	17	19	5,5	12
BDE-209	0–5	240	90	130	970	80	110	2.000	3.900	870	60	40	n.n.	370	570
	5–10	n.n.	n.n.	n.n.	1700	n.n.	200	n.n.	n.n.	n.n.	2.800	600	2600	n.n.	n.n.
Summe 25 BDE	**0–5**	**256,0**	**108,4**	**474,3**	**1.173,3**	**231,2**	**200,9**	**2.313,1**	**5.283,9**	**1.011,4**	**85,0**	**45,1**	**14,3**	**462,4**	**669,5**
	5–10	**148,1**	**121,0**	**245,9**	**1.874,1**	**169,3**	**1.386,9**	**123,2**	**109,7**	**159,5**	**3.207,4**	**767,1**	**3.000,8**	**110,2**	**281,8**

Tabelle 35: 4Nonylphenol und Bisphenol A (ng/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	Tiefenst.	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5
	cm	**ng/kg TS**													
4Nonylphenol techn.	0–5	10	n.n.	n.n.	n.n.	12	< 10	12	13	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.
	5–10	11	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7,2	n.n.	n.n.	31	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	7,0
Bisphenol A	0–5	1,4	n.n.	1,1	n.n.	n.n.	1,0	< 1	2	< 1	n.n.	< 1	2,3	1,5	n.n.
	5–10	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 36: Chlorphenole (µg/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	**Tiefenst.**	**BGL 2**	**BGL 3**	**KTN 1**	**KTN 2**	**KTN 3**	**OÖ 1**	**OÖ 2**	**OÖ 3**	**OÖ 4**	**STM 1**	**STM 2**	**STM 3**	**STM 4**	**STM 5**	**NG**	**BG**
	cm	**µg/kg TS**															
2-Chlorphenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	2,0	0,66
3-Chlorphenol	0–5	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,91	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	2,0	0,66
4-Chlorphenol	0–5	63	n.n.	3,5	8,2	8,8	11	14	7,1	n.n.	7,5	4,9	5,8	n.n.	< BG	1,5	0,50
2,4 + 2,5-Dichlorphenol	0–5	34	1,8	2,6	3,2	3,9	7,4	6,6	3,3	1,9	3,0	2,5	2,1	1,9	1,7	1,5	0,50
3,4-Dichlorphenol	0–5	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	< BG	2,0	0,66
2,3-Dichlorphenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	2,0	0,66
3,5-Dichlorphenol	0–5	2,2	2,8	13	< BG	9,4	1,1	n.n.	n.n.	2,4	9,7	n.n.	n.n.	< BG	1,8	2,0	0,66
2,6-Dichlorphenol	0–5	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	2,0	n.n.	n.n.	n.n.	2,2	< BG	2,0	0,66
2,3,6-Trichlorphenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	0,5
2,3,5-Trichlorphenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	0,5
2,4,5-Trichlorphenol	0–5	n.n.	< BG	1,6	n.n.	n.n.	< BG	< BG	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	1,8	1,5	0,5
2,3,4-Trichlorphenol	0–5	n.n.	1,7	2,9	1,8	2,0	1,8	1,5	2,2	2,0	< BG	n.n.	< BG	2,0	3,0	1,5	0,5
3,4,5-Trichlorphenol	0–5	n.n.	n.n.	1,7	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	1,9	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	1,5	0,5
2,3,5,6-Tetrachlorphenol	0–5	5,5	2,2	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	6,7	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	0,5
2,3,4,5-Tetrachlorphenol	0–5	14	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5	0,5
2,3,4,6-Tetrachlorphenol	0–5	6,8	< BG	2,3	n.n.	n.n.	< BG	1,7	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	< BG	1,8	1,5	0,5
Pentachlorphenol	0–5	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	2,8	2,2	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	< BG	2,0	0,66
Summe Chlorphenole		**125,6**	**14,6**	**27,9**	**14,2**	**27,1**	**25,6**	**25,4**	**16,0**	**14,2**	**22,5**	**14,9**	**9,4**	**11,4**	**15,7**		

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 37: Nitrophenole (µg/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	**Tiefenst.**	**BGL 2**	**BGL 3**	**KTN 1**	**KTN 2**	**KTN 3**	**OÖ 1**	**OÖ 2**	**OÖ 3**	**OÖ 4**	**STM 1**	**STM 2**	**STM 3**	**STM 4**	**STM 5**	**NG**
	cm	**µg/kg TS**														
3-Nitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,88–0,91
2-Nitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1
3-Methyl-2-nitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1–1,4
4-Nitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,89
2-Methyl-3-nitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,2–1,4
4-Methyl-2-nitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1–1,3
3-Methyl-4-nitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,0–1,2
5-Methyl-2-nitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1–1,4
2,6-Dimethyl-4-nitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,4–1,7
2,6-Dinitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,8–1,0
4-Methyl-2,6-dinitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,97–1,2
2,5-Dinitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	0,92–1,2
6-Methyl-2,4-dinitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,1–1,6
3,4-Dinitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	3,8–5,5
2,4-Dinitrophenol	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,7–5,5
Dinoseb (2-sec,-Butyl-4-6-dinitrophenol)	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	1,5–2,3

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 38: Phthalate (µg/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	Tiefenst.	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5	BG	NG
	cm	µg/kg TS															
Dimethylphthalat DMP	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5,0	2,5
Diethylphthalat DEP	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	< BG	n.n.	5,0	2,5
Dibutylphthalat DBP	0–5	21	12	5,9	5,1	8,4	21	23	13	9,6	36	5,9	29	43	43	5,0	2,5
	5–10	< BG	< BG	n.n.	n.n.	8,8	< BG	< BG	9,6	< BG	n.n.	5,9	n.n.	< BG	6,30	5,0	2,5
Butylbenzylphthalat BBP	0–5	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	5,0	2,5
Diethylhexylphthalat DEHP	0–5	26	40	38	20	41	58	84	58	65	43	52	56	100	42	5,0	2,5
	5–10	33	61	26	15	44	24	44	57	94	24	64	40	17	61	5,0	2,5
Di-n-Octylphthalat DOP	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	5,0	2,5

Tabelle 39: Organozinnverbindungen (µg/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	Tiefenst.	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5	BG	NG
	cm	µg/kg TS															
Monobutylzinnkation	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	< BG	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,0	2,0
Dibutylzinnkation	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,0	2,0
Tributylzinnkation	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,0	2,0
Tetrabutylzinnkation	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,0	2,0
Diphenylzinnkation	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,0	2,0
Triphenylzinnkation	0–5	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	n.n.	4,0	2,0

Tabelle 40: KW–Index (mg/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	Tiefenst.	BGL 2	BGL 3	KTN 1	KTN 2	KTN 3	OÖ 1	OÖ 2	OÖ 3	OÖ 4	STM 1	STM 2	STM 3	STM 4	STM 5	NG
	cm	mg/kg TS														
KW-Index	0–5	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	< 100	100

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

Tabelle 41: Schwermetallgehalte (mg/kg TS) in Grünlandböden.

Bezeichnung	**Tiefenst.**	**BGL 2**	**BGL 3**	**KTN 1**	**KTN 2**	**KTN 3**	**OÖ 1**	**OÖ 2**	**OÖ 3**	**OÖ 4**	**STM 1**	**STM 2**	**STM 3**	**STM 4**	**STM 5**	**BG**	**NG**
	cm	**mg/kg TS**															
Arsen	0–5	12	11	25	22	44	11	5,7	8,7	19	12	12	11	8,7	15	0,05	0,025
Cadmium	0–5	0,26	0,16	0,33	0,22	0,22	0,27	0,21	1,0	0,56	0,17	0,26	0,16	1,3	0,89	0,05	0,0001
Quecksilber	0–5	0,092	0,12	0,11	0,082	0,11	0,091	0,071	0,15	0,12	0,072	0,092	0,12	0,13	0,16	0,025	0,0125
Molybdän	0–5	0,62	0,50	0,87	0,93	1,0	0,61	0,36	0,85	1,2	0,42	0,62	0,50	1,0	0,63	0,05	0,001
Selen	0–5	0,92	0,71	0,78	0,99	0,96	0,84	0,47	1,1	0,91	0,56	0,92	0,71	0,67	0,87	0,05	0,01
Vanadium	0–5	70	49	58	67	75	41	33	61	115	35	70	49	29	18	2,0	1,00
Kobalt	0–5	20	22	27	29	24	21	21	13	19	20	20	22	7,8	11	0,005	0,0002
Kupfer	0–5	26	30	43	48	37	26	9,1	30	13	21	26	30	11	16	0,25	0,01
Chrom	0–5	40	41	57	58	56	40	26	43	59	31	40	41	23	12	0,005	0,001
Nickel	0–5	31	44	62	64	46	32	18	44	38	32	31	44	14	16	0,10	0,0004
Blei	0–5	24	16	30	22	28	23	24	33	46	14	24	16	123	57	0,005	0,002
Antimon	0–5	0,76	1,2	1,5	1,5	0,76	0,75	0,41	0,96	1,4	0,86	0,76	1,2	0,65	1,0	0,005	0,0004
Thallium	0–5	0,20	0,19	0,24	0,42	0,38	0,20	0,16	0,26	0,46	0,15	0,20	0,19	0,21	0,27	0,005	0,0001
Zink	0–5	97	82	134	115	121	101	64	119	106	66	97	82	209	122	0,1	0,016

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

© Umweltbundesamt, Wien; download unter www.umweltbundesamt.at und www.biologiezentrum.at

umweltbundesamt

Umweltbundesamt GmbH
Spittelauer Lände 5
1090 Wien/Österreich

Tel.: +43-(0)1-313 04
Fax: +43-(0)1-313 04/5400

office@umweltbundesamt.at
www.umweltbundesamt.at

Das Umweltbundesamt hat für die Studie „Organische Schadstoffe in Gründlandböden“ Bodenproben aus 14 extensiv genutzten Grünlandböden genommen und deren Gehalt an persistenten organischen Schadstoffen (POP, Persistent Organic Pollutants) untersucht. Folgende organische Substanzen bzw. Substanzgruppen wurden analysiert und bewertet: Organochlorverbindungen, Polychlorierte Biphenyle (PCBs), Dioxine, Furane und DL-PCBs, Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAHs), Polybromierte Diphenylether (PBDE), 4Nonylphenol und Bisphenol A, Nitrophenole, Chlorphenole, Phthalate, Organozinnverbindungen und der Kohlenwasserstoff-Index. Die Ergebnisse liefern eine wesentliche Grundlage zur Beschreibung von ubiquitären Schadstoffbelastungen mit POP und Upcoming Organic Pollutants, neuartigen organischen Schadstoffen mit Umweltrelevanz, in Grünlandböden.

ISBN 3-85457-955-1

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Publikationen des Umweltbundesamtes, Wien

Jahr/Year: 2008

Band/Volume: REP_158

Autor(en)/Author(s): Freudenschuß Alexandra, Obersteiner Erik

Artikel/Article: Organische Schadstoffe in Grünlandböden. 1-190