

Leitfaden

Umweltschadstoffe in der Landbau-Praxis

BÖL

Bundesprogramm
Ökologischer
Landbau

Herausgeber:

GfRS Gesellschaft für Ressourcenschutz mbH
Prinzenstrasse 4
37073 Göttingen
<http://www.gfrs.de>

Autor:

Dr. Jochen Neuendorff
Prinzenstrasse 4
37073 Göttingen

Gefördert vom Bundesministerium für Ernährung,
Landwirtschaft und Verbraucherschutz (BMELV)
im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau

Forschungs- und Entwicklungsvorhaben 03OE461

Göttingen, im Mai 2010

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	1
2	Was sind Umweltkontaminanten und Rückstände?	2
3	Gesetzliche Rahmenbedingungen	3
3.1	Höchstmengenregelungen für Lebensmittel.....	3
3.2	Höchstmengenregelungen für Futtermittel	3
3.3	Bodenschutzrecht.....	4
4	Umweltkontaminanten	5
4.1	Wirkungen von Umweltkontaminanten	5
4.2	Transfers von Umweltkontaminanten in die Nahrungskette	6
4.3	Schwermetalle	10
4.4	Persistente organische Umweltkontaminanten	12
4.4.1	Chlorierte Kohlenwasserstoffe	12
4.4.2	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	14
4.4.3	Dioxine und Furane (PCDD/PCDF).....	15
4.4.4	Polybromierte Diphenylether (PBDE)	16
4.4.5	Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)	16
4.5	Potentielle Kontaminationsquellen	18
4.5.1	Geogene Vorbelastung	18
4.5.2	Erzabbau und -verhüttung.....	18
4.5.3	Industrie- und Recyclinganlagen als Einzelemittenten und Immissionsgebiete	20
4.5.4	Überschwemmungsgebiete	22
4.5.5	Straßenverkehr.....	22
4.5.6	Landwirtschaftliche Nutzung vor der Umstellung auf den Ökologischen Landbau...23	
4.5.7	Kontaminationsrisiken nach der Umstellung auf den Ökologischen Landbau.....26	
4.6	Risikomanagement für Umweltkontaminanten	28
4.6.1	Ackerbaukulturen, Obstbau und Gemüse	28
4.6.2	Grünlandbewirtschaftung	32
5	Produktionsbedingte Kontaminanten und Rückstände	34
5.1	Mykotoxine	34
5.2	Tierarzneimittel.....	39
6	Ausblick	41
7	Literaturverzeichnis	42

Abkürzungsverzeichnis

DDT	Dichloridphenyltrichlorethan (Insektizid)
DON	Deoxynivalenol (Mykotoxin)
HCB	Hexachlorbenzol
HCH	Lindan
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
PBDE	Polybromierte Diphenylether
PCB	Polychlorierte Biphenyle
PCDD	Polychlorierte Diabenzodioxine
PCDF	Polychlorierte Diabenzofurane
POP	„Persistent organic pollutants“
ZEA	Zearalenol (Mykotoxin)

1 Einleitung

Gut und gesund leben zu wollen, eine Beziehung zum Produkt haben, Verantwortung für sich, die Familie und die Natur übernehmen – das sind wichtige Motive für Verbraucherinnen und Verbraucher ökologisch erzeugter Lebensmittel.

Bio-Produkte sind im Vergleich zu konventionellen Erzeugnissen fast kaum mit Pflanzenschutzmittel-Rückständen belastet (CVUA, 2004; REINHARD & WOLFF, 1986; STOLZ et al., 2003) Dies ist darauf zurückzuführen, dass im Ökologischen Landbau ein Einsatz konventioneller chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel nicht zugelassen ist.

Durch den Nitrofen-Skandal 2002 wurde jedoch einer breiten Öffentlichkeit bewusst, dass auch Öko-Produkte mit persistenten Schadstoffen gesundheitsschädlich verunreinigt werden können. Ursache für den Nitrofen-Skandal war, dass die ehemalige Lagerstätte für Pflanzenschutzmittel der DDR-Nordbezirke später zur Lagerung von ökologisch erzeugtem Futtergetreide genutzt wurde, ohne dass zuvor eine sachgerechte Gefährdungsabschätzung vorgenommen wurde.

Der Nitrofen-Skandal zeigte in aller Deutlichkeit, welche Risiken in einem dicht industrialisierten Land wie der Bundesrepublik durch Umweltkontaminanten bestehen. Hochbeständige organische Stoffe, aber auch deren Abbauprodukte und unerwünschte Begleitsubstanzen und Schwermetalle können die Qualität pflanzlicher und tierischer Erzeugnisse beeinträchtigen. Auch bei Öko-Landwirten sind Verunreinigungen der Milch möglich, wenn in den Stallungen vor langer Zeit endosulfanhaltige Holzschutzmittel zum Einsatz kamen. Im Gartenbau können Altlasten des chemisch-synthetischen Pflanzenschutzes zu Kontaminationen führen, wenn zuvor intensiv gartenbaulich genutzte Gewächshäuser in Öko-Bewirtschaftung übernommen werden.

Flächen von ökologisch wirtschaftenden Landwirten, Gärtnern und Winzern sind wie die konventionelle Landwirtschaft von Schadstoff-Einträgen betroffen. Ökologischer Anbau kann daher in einem industrialisierten Land kein Garant für Schadstoff-Freiheit sein. Trotzdem muss es eine wichtige Bestrebung des Ökologischen Anbaus sein, ernährungsphysiologisch hochwertige und schadstoffarme Lebensmittel zu erzeugen.

(HESS et al.,1992)

Kenntnisse über Quellen und Kontaminationspfade wichtiger Umweltkontaminanten ermöglichen es, Beeinträchtigungen der Produktqualität über gezielte, vorbeugende Maßnahmen zu vermindern.

Diese Einführung verfolgt das Ziel, grundsätzliche Wirkungszusammenhänge von Produktbelastungen mit Umweltkontaminanten, Mykotoxinen und Arzneimitteln auf Stufe der landwirtschaftlichen und gartenbaulichen Erzeugung darzustellen. Anhand exemplarischer Fallbeispiele werden Handlungsvorschläge unterbreitet, die zu einer Problemlösung bzw. -abschwächung beitragen. Aufgrund der großen Vielfalt von Problemfällen musste eine Auswahl getroffen werden, um nicht den Rahmen dieser Einführung zu sprengen.

Diese Veröffentlichung wurde im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau gefördert.

2 Was sind Umweltkontaminanten und Rückstände?

Kontaminanten sind nach der Kontaminantenverordnung (VO (EWG) Nr. 315/93) alle Stoffe, die einem Lebensmittel nicht absichtlich hinzugefügt werden.

Hierbei kann es sich um **Umweltkontaminanten** handeln, die aufgrund einer Verunreinigung der Umwelt in das Lebensmittel gelangen. **Rückstände** entstehen dagegen im Zuge der Gewinnung, Fertigung, Verarbeitung, Zubereitung, Behandlung, Aufmachung, Verpackung, Beförderung und Lagerung von Lebensmitteln. Die Übergänge können fließend sein.

Dieser Leitfaden beschäftigt sich mit Umweltkontaminanten (Schwermetalle, organische Umweltkontaminanten), Mykotoxinen und Tierarzneimitteln auf Stufe der landwirtschaftlichen Erzeugung. Das Risikomanagement von Rückständen moderner, chemisch-synthetischer Pflanzenschutzmittel und von gentechnologisch veränderten Organismen (GVO) ist Gegenstand anderer Publikationen, die im Rahmen des Bundesprogramms Ökologischer Landbau gefördert wurden.

Hinsichtlich der Kontaminationsrisiken bei der Be- und Verarbeitung und Verpackung von Öko-Lebensmitteln sei auf die Veröffentlichung von MAHNKE-PLESKER & LACH (2005) verwiesen.

3 Gesetzliche Rahmenbedingungen

Nach der Verordnung (EG) Nr. 178/2002 („Basis-Verordnung“) gelten Landwirte als Lebensmittel- bzw. Futtermittelunternehmer. Sie sind gesetzlich verpflichtet, eigenverantwortlich die Einhaltung der geltenden gesetzlichen Grenzwerte sicherzustellen.

3.1 Höchstmengenregelungen für Lebensmittel

Für die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union legt die VO (EG) Nr. 1881/2006 (Kontaminantenverordnung) Höchstgehalte für Schwermetalle, PCDD/PCDF, dioxinähnliche PCB, PAK, Monochlorpropandiol (3-MCPD) und Mykotoxine für die in den Anhängen der Verordnung genannten Lebensmittel fest. In den Gründen der Verordnung wird die gesundheitliche Gefährdung die von den Stoffen ausgeht beschrieben, die zu der Festlegung der jeweiligen Grenzwerte geführt hat.

Für Kontaminanten, die (noch) nicht durch Verordnungen der Europäischen Union geregelt sind, gelten in Deutschland die Vorgaben der Verordnung zur Begrenzung von Kontaminanten in Lebensmitteln (KmV) vom 19. März 2010. Sie enthält Grenzwerte für Mykotoxine, Nitrat, halogenierte Lösungsmittel und PCB. Für Lebensmittel gilt ein Verdünnungsverbot: alle Einzelzutaten müssen die gesetzlich festgelegten Grenzwerte einhalten.

Rückstands-Höchstmengen für pharmakologisch wirksame Stoffe sind in der Verordnung (EG) Nr. 470/2009 niedergelegt.

Grenzwerte für Pestizid-Rückstände sind durch die VO (EG) Nr. 396/2005 geregelt. Sie regelt europaweit Höchstgehalte an Pestizidrückständen in oder auf Lebens- und Futtermitteln pflanzlichen und tierischen Ursprungs.

Die deutsche Verordnung über diätetische Lebensmittel legt hinsichtlich der Höchstgehalte an Pestiziden, Aflatoxin und Nitrat für diese Lebensmittel besonders strenge Anforderungen fest.

3.2 Höchstmengenregelungen für Futtermittel

Das deutsche Futtermittelgesetz legt fest, dass Futtermittel, bei deren Verfütterung die Qualität der erzeugten tierischen Produkte beeinträchtigt oder die Gesundheit der Tiere geschädigt wird, nicht eingesetzt werden dürfen. Wie bei der Kontaminantenverordnung gilt

ein Verdünnungsverbot. Zudem besteht dann, wenn eine Gefahr für die menschliche bzw. tierische Gesundheit oder schädliche Auswirkungen auf Umwelt und Natur vermutet werden, gemäß § 17 Nr. 5 eine Meldepflicht an die amtliche Futtermittelkontrolle.

Die Futtermittelverordnung legt in Anhang 5 zulässige Höchstgehalte von Futtermitteln für unerwünschte Stoffe (z.B. Schwermetalle, Chlorpestizide, PCDD/PCDF, Mykotoxine). Anhang 5a definiert Höchstgehalte für Schädlingsbekämpfungsmittel, wobei auch hier künftig die Verordnung (EG) Nr. 396/2005 zu beachten ist (vgl. Kapitel 3.6). Anlage 6 der Futtermittelverordnung benennt verbotene Stoffe.

3.3 Bodenschutzrecht

Das Bundes-Bodenschutzgesetz ist die Rechtsgrundlage für die Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung, in der Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmewerte für verschiedene Umweltkontaminanten (z.B. Schwermetalle, Benz-a-pyren, PCB) festgelegt sind.

Bei Überschreitung der in Anhang 2 der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) genannten Prüfwerte im Boden liegen konkrete Anhaltspunkte für eine schädliche Bodenveränderung vor. „Schädliche Bodenveränderungen“ sind Beeinträchtigungen der Bodenfunktionen – u.a. durch Schadstoffbelastung –, die geeignet sind, Gefahren, erhebliche Nachteile oder Beeinträchtigungen für den Einzelnen oder die Allgemeinheit herbeizuführen, z.B. durch die gesundheitsgefährdende Schadstoffbelastung von Lebensmitteln, die auf diesem Boden erzeugt wurden. Landwirte sind bei schädlichen Bodenveränderungen verpflichtet, Maßnahmen der Gefahrenabwehr zu ergreifen.

Ein Landwirt, der auf Grund von Bodenuntersuchungen Anhaltspunkte dafür hat, dass seine Schläge durch Schwermetalle oder persistente organische Umweltkontaminanten verunreinigt sind, ist nach dem Bodenschutzgesetz und der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung verpflichtet, diesem Verdacht nachzugehen. Zur weiteren Gefahrenermittlung sind dann Untersuchungen gemäß EU-Kontaminantenverordnung bzw. Futtermittelverordnung durchzuführen. Eine landwirtschaftliche Nutzung ist nur dann zulässig, wenn der landwirtschaftliche Betrieb durch einzelfallbezogene Prüfungen und Untersuchungen nachweisen kann, dass die Grenzwerte der VO (EWG) Nr. 466/2001 (bei Vermarktung als Speiseware) bzw. der Futtermittelverordnung (bei Vermarktung als Futtermittel) nicht überschritten werden.

4 Umweltkontaminanten

4.1 Wirkungen von Umweltkontaminanten

Schwermetalle können im Boden weder abgebaut noch zerstört werden. Persistente organische Umweltkontaminanten sind äußerst stabil und werden nur sehr langsam abgebaut. In der Umgebung von industriellen Anlagen und in Überschwemmungsgebieten werden sie im Boden angereichert. Ihre Wirkungen auf Pflanzen, Tiere und Menschen sind sehr unterschiedlich.

Die Emissionen von Schwermetallen sind in Deutschland in den letzten Jahren durch die strenger werdende Umweltgesetzgebung, Modernisierungsmaßnahmen und die Verwendung von bleifreiem Benzin deutlich zurückgegangen.

Schwermetalle wie Kupfer, Nickel und Zink sind essentielle Spurenelemente. Kupfer und Zink sind unerlässlich für das Funktionieren verschiedener Enzyme. Eine regelmäßige, geringe Zufuhr dieser Elemente über die Nahrung ist also lebensnotwendig. Werden diese Schwermetalle jedoch in überhöhter Dosis aufgenommen, rufen sie bei Mensch und Tier Krankheiten oder Vergiftungen hervor. Erhöhte Gehalte der Elemente Chrom, Kupfer, Nickel und Zink mindern vorrangig die Ertragsleistung landwirtschaftlicher Kulturpflanzen, bevor es zu Gesundheitsbeeinträchtigungen von Mensch und Tier kommt.

Die Schwermetalle Blei, Cadmium, Quecksilber und Thallium haben im Gegensatz zu den vorgenannten Elementen für Pflanze, Tier und Mensch keine Funktion. Sie entfalten bei überhöhter Aufnahme besonders für Mensch und Tier schädliche Wirkungen und sind aus diesem Grund von besonderer Bedeutung. Sichtbare Pflanzenschäden treten bei Blei, Cadmium, Quecksilber und Thallium erst dann auf, wenn Gehalte im Pflanzengewebe erreicht werden, die bei Tier und Mensch zu Leistungsminderungen und Gesundheitsstörungen führen. Blei, Cadmium, Quecksilber und Thallium können in inneren Organen von Tieren, besonders in Leber und Niere, so stark angereichert werden, dass lebensmittelhygienisch bedenkliche Gehalte erreicht werden. Während Blei besonders für Kinder und Schwangere gefährlich ist und zu Störungen im Nervensystem, im blutbildenden System und zu Herz-Kreislauf-Problemen führen kann, bewirkt Cadmium Nierenprobleme und Skelettschäden. Auch Quecksilberkontaminationen äußern sich durch Nierenschäden.

Schwer abbaubare, persistente organische Umweltkontaminanten können ebenfalls die Gesundheit von Mensch und Tier nachhaltig schädigen. In der Regel reichern sich diese

Stoffe in der Nahrungskette an. Erkennbare gesundheitliche Folgen treten erst nach langen Zeiträumen ein. Auch bei diesen Schadstoffen führten Verbote, gesetzliche Auflagen und Modernisierungsmaßnahmen zu einem deutlichen Rückgang der Umweltbelastungen (FIEDLER, 2006).

Verschiedene Verbindungen aus der Gruppe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) gelten als krebserregend und schädigen das Erbgut. Polychlorierte Biphenyle (PCB) dürfen seit den 80er Jahren in Deutschland nicht mehr Inverkehr gebracht werden. Sie reichern sich im Fettgewebe und in inneren Organen von Mensch und Tier an. Giftwirkungen äußern sich als Gewichtsverlust, Hautveränderungen und Leberschäden. Auch krebserregend Wirkungen wurden nachgewiesen. Einige PCB schädigen auch das Erbgut. Polychlorierte Dibenzodioxine und Dibenzofurane (PCDD/PCDF) werden, wenn sie von Mensch und Tier über die Nahrung aufgenommen worden sind, ebenfalls im Fettgewebe und in Leber und Niere angereichert. Dioxine und Furane schädigen die Haut, die Leber sowie das Nerven- und Immunsystem. Beim „Seveso-Dioxin“ und anderen Dioxinen und Furanen ist eine krebserzeugende Wirkung eindeutig nachgewiesen.

4.2 Transfers von Umweltkontaminanten in die Nahrungskette

Schwermetalle und organische Umweltkontaminanten gelangen auf unterschiedlichen Wegen in Boden und Pflanze. Sie werden durch Primärquellen (z-B. Industrieanlagen) in die Umwelt freigesetzt und können mit der atmosphärischen Luft, durch Bodenerosion, mit dem Wasser von Flüssen und Bächen und mit Abfällen weiträumig umgelagert werden. So können örtliche Belastungsschwerpunkte entstehen, die außerhalb des unmittelbaren Einflussbereiches von primären Schadstoffquellen liegen.

Anreicherungen und Belastungen von Böden mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen durch Verfrachtungsprozesse sind möglich

- in dichtindustrialisierten Gebieten (Immissionsbelastungsgebieten)
- in Überschwemmungsgebieten belasteter Flüsse und Bäche
- bei einer der ökologischen Bewirtschaftung vorangegangenen
 - Abwasserverrieselung
 - langjährigen Ausbringung von Klärschlamm oder Müllkompost
 - Ausbringung von schadstoffbelastetem Baggergut
- bei Verwendung von Schlacken und Aschen zur Befestigung von Wegen und Flächen auf dem landwirtschaftlichen/gärtnerischen Betrieb

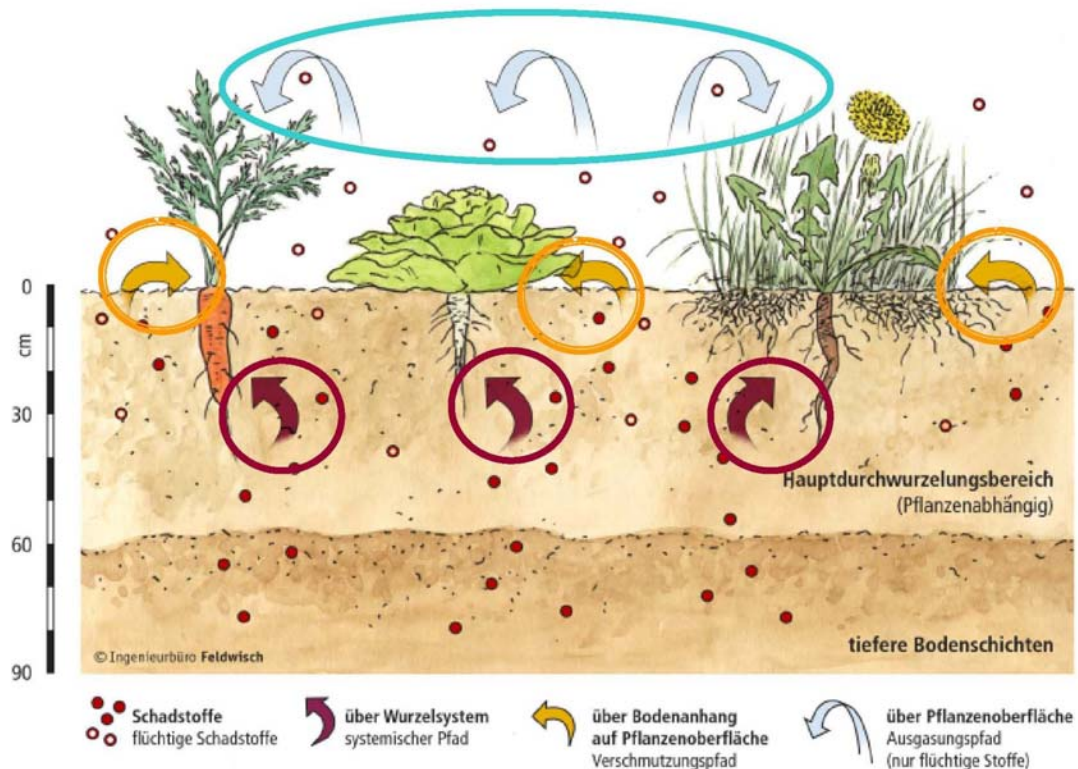


Abb. 1: Schadstoffübergang vom Boden in die Pflanze (FELDWISCH, 2006)

Umweltkontaminanten aus der Luft werden auf Futter- und Nahrungspflanzen entweder über die Pflanzenoberfläche mit dem Staub, Nebel und Regen oder bei der Ernte aus der bodennahen Schicht abgelagert (Verschmutzungspfad). Oder sie werden über die Wurzeln aus dem Boden aufgenommen (systemischer Pfad) (vgl. Abb. 1). Welchen Weg die Umweltkontaminanten nehmen, ist von der Art des Schadstoffes, den Gehalten im Boden sowie von den Boden- und Pflanzeigenschaften abhängig.

Bei der Verunreinigung von Nutz- und Futterpflanzen mit Umweltschadstoffen durch äußerliche Ablagerung spielen folgende Faktoren eine wichtige Rolle:

- Witterung und Klima (z.B. Niederschläge, Nebel, Luftfeuchtigkeit, Windgeschwindigkeit)
- Pflanzeigenschaften (z.B. Pflanzenart, Pflanzenorgan, Oberflächenbeschaffenheit)
- Bodeneigenschaften (z.B. Bodenart)
- Produktionstechnik (z.B. Technik der Futterwerbung)

(SOMMER, 1987)

Ein häufiges Auftreten von Nebel, eine hohe Luftfeuchtigkeit und geringe Windgeschwindigkeiten begünstigen die Ablagerung von Umweltschadstoffen auf Pflanzenoberflächen. Bei starken Niederschlägen können oberflächlich abgelagerte Schadstoffe dagegen auch abgewaschen werden.

Bei der oberflächlichen Anlagerung von Schadstoffen bestehen deutliche Unterschiede zwischen den Pflanzenarten. Pflanzenarten mit großen, rauen und behaarten Blattoberflächen wie Grünkohl, Futterrüben, Kohlrüben, Petersilie, Salat und Spinat lagern mehr Schadstoffe als Arten mit kleinen und glatten Blättern an. Samen besitzen im Gegensatz zu Blättern meistens glatte Oberflächen, im Verhältnis zu ihrem Volumen geringe Oberflächen und sie sind von Blättern oder Spelzen abgeschirmt. Aus diesem Grund sind sie von einer oberflächlichen Ablagerung weniger betroffen.

Der Massenwuchs bzw. Wachstumsrhythmus ist vor allem beim Grünland von Bedeutung. Ein im Winter mit Umweltschadstoffen angereicherter Aufwuchs weist zu Beginn der Vegetationsperiode hohe Gehalte auf. Diese nehmen mit zunehmendem Wachstum im Frühjahr stetig ab (*Verdünnungseffekt*).

Hinsichtlich der Bodenart gilt es zu bedenken, dass Schwermetalle bevorzugt an Tonteilchen gebunden sind. Diese haften gut an pflanzlichen Oberflächen und erhöhen so deren Schadstoffgehalt.

Produktionstechnische Maßnahmen können eine Verunreinigung von Nutzpflanzen mit schadstofftragenden Bodenteilchen verstärken. Wenn in Überschwemmungsgebieten keine Weidepflege (Nachsaat, Nachmahd, Abschleppen von Maulwurfshaufen) betrieben wird, kann später Bodenmaterial beim Aufnehmen mit der Pick-Up in das geworbene Futter gelangen. Die Kontamination von Nutz- und Futterpflanzen mit Umweltschadstoffen durch Aufnahme über die Wurzeln aus dem Boden ist von folgenden Faktoren abhängig:

- Bodeneigenschaften (z.B. Bodengehalt an Schadstoffen, Bindungsform der Schadstoffe, Kationenaustauschkapazität, pH-Wert, Gehalt an organischer Substanz)
- Pflanzeigenschaften (z.B. Pflanzenart und -sorte, Pflanzenorgan)

Der Gesamtgehalt an Schadstoffen im Boden allein ist kein Maßstab für die Anreicherung. Entscheidend ist viel mehr der Anteil der ökologisch wirksamen Schadstoffmenge an der Gesamtmenge. Unter ökologisch wirksamen Schadstoffen versteht man diejenigen, die entweder bereits in der Bodenlösung unmittelbar pflanzenverfügbar oder aber relativ leicht in diese überführbar sind (SOMMER, 1987).

Bodenbestandteile wie Ton- und Humusteilchen sowie Oxide (Austauscher) können an ihrer Oberfläche Nährstoffe und Schadstoffe anlagern (Sorption). Die Kationenaustauschkapazität beschreibt die Menge der im Boden vorhandenen Austauscher und deren Qualität. Durch Sorptionsprozesse können Schwermetalle im Boden gebunden werden und sind dann nicht mehr pflanzenverfügbar (Pufferwirkung).

Der pH-Wert beeinflusst die Schwermetallverfügbarkeit besonders. Höhere pH-Werte verringern in der Regel die Verfügbarkeit von Schwermetallen in der Bodenlösung.

Auch zwischen Pflanzenarten und -sorten bestehen Unterschiede in der Aufnahme von Umweltkontaminanten aus dem Boden. Bei den Pflanzenorganen kann als prinzipieller Grundregel davon ausgegangen werden, dass der Schadstoffgehalt in folgender Reihenfolge abnimmt:

Wurzel → Spross → unterirdische Speicherorgane → Blätter → Früchte → Samen.

4.3 Schwermetalle

Metalle mit einer Massendichte über 4,5 g/cm³ werden als Schwermetalle bezeichnet. Zu den umwelt- und humantoxikologisch besonders relevanten Schwermetallen gehören:

Blei (Pb), Cadmium (Cd), Chrom (Cr), Kupfer (Cu), Nickel (Ni), Quecksilber (Hg), Thallium (Tl) und Zink (Zn).

(BRÜNE, 1982)

Böden verfügen von Natur aus über unterschiedlich hohe Gehalte an einzelnen Schwermetall-Elementen (geogene Grundlast). Die Gehalte wechseln regional und lokal relativ stark. Die Konzentrationen von Schwermetallen in Gesteinen und Böden sind überwiegend sehr niedrig. Gesteinsbürtige und durch die Bodenbildung beeinflusste, geogene Schwermetall-Verbindungen sind zudem häufig fest gebunden und für die Pflanzen kaum verfügbar. So ist Cadmium und Zink geogener Herkunft im Vergleich zu atmosphärisch eingetragenem Cadmium und Zink deutlich weniger mobil (FILIPINSKI & GRUPE, 1988).

Schwermetalle werden durch Erzabbau und die Herstellung von Metallerzeugnissen, durch Wärmegewinnungsprozesse, durch Korrosion und bei der Abfallverbrennung in die Umwelt freigesetzt. Sie gelangen dann durch Einträge aus der Atmosphäre in landwirtschaftlich genutzte Böden. Auch durch die Ausbringung von Abfallstoffen wie Klärschlamm, Bioabfallkomposten und Abwässern kommt es zu einer Verunreinigung von Böden. Schließlich werden Schwermetalle auch durch die Ausbringung von landwirtschaftlichen Produktionsmitteln (Phosphatdünger (Cadmium), Wirtschaftsdünger (Kupfer und Zink), Cu-haltige Pflanzenschutzmittel (Kupfer) in landwirtschaftlich genutzten Böden angereichert (KTBL, 2005).

Die Bleiemissionen in die Atmosphäre sind seit Jahren rückläufig. Primärquellen von Blei sind der Erzabbau und dessen Halden, die Nichteisen-Metallindustrie und die Abfallverbrennung. Cadmium ist häufig mit dem Schwermetall Zink vergesellschaftet und findet sich beispielsweise in der Umgebung von Blei-, Zink- und Kupferhütten. Böden können auch durch die Ausbringung cadmiumhaltiger Klärschlämme in der Vergangenheit kontaminiert worden sein. Zu Quecksilberemissionen kommt es beispielsweise durch die Verbrennung fossiler Brennstoffe, die Abfallverbrennung, die Erzverhüttung und in der Umgebung von bestimmten Industrieanlagen (Chloralkali-Elektrolyse, Acetaldehydsynthese). Thalliumkontaminationen treten beispielsweise in der Umgebung von Zementwerken auf.

Die durch menschliche Aktivitäten bedingten Einträge von Schwermetallen in Böden führen zu einer oberflächennahen Anreicherung von Schwermetallen im Bereich der Hauptwurzelzone landwirtschaftlicher und gärtnerischer Nutzpflanzen. Im Gegensatz zu natürlich vorkommenden Schwermetallen können sie wegen ihrer weniger stabilen Bindungsform im Boden oft leichter von Pflanzen aufgenommen werden.

Während Blei vorrangig durch atmosphärische Deposition auf Pflanzenoberflächen abgelagert wird, werden die Schwermetalle Cadmium, Nickel, Zink und Thallium dagegen bevorzugt aus dem Boden aufgenommen. Bei den letztgenannten Elementen hängt die Pflanzenverfügbarkeit im Boden maßgeblich vom pH-Wert des Standorts ab (vgl. Tabelle 1).

Insbesondere auf leichten Böden, deren standortbedingtes pH-Optimum (Kalkversorgungszustand nach VDLUFA) niedrig liegt, sind Schwermetalle weniger stark gebunden und können von Nahrungs- und Futterpflanzen leichter aufgenommen werden. Nach FELDWISCH sind bei pH-Werten unter 5,5 Überschreitungen der Prüf-Maßnahmenwerte für mobile Gehalte von Schwermetallen zu erwarten.

Tab. 1: pH-Wert-Schwellen im Boden, deren Unterschreitung zu einer deutlichen Schwermetallmobilisierung führt

Blei	Cadmium	Chrom	Kupfer	Nickel	Quecksilber	Thallium	Zink
4,0	6,5	4,5	4,5	5,5	4,0	6,0	6,0

(BRÜMMER et al, 1986)

Auch der Bodengehalt an organischer Substanz bestimmt die Verfügbarkeit von Schwermetallen. Steigende Gehalte an organischer Substanz führen zu einer geringeren Pflanzenverfügbarkeit von Schwermetallen (BRUMMER et al., 1986).

Die Schwermetallaufnahme wird zudem von Pflanzenart und –sorte bestimmt. Während beispielsweise Weizen und Hafer Cadmium anreichern, nehmen andere Getreidearten wie Gerste und Roggen nur wenig Cadmium aus dem Boden auf. Bei Weizen waren auch Sortenunterschiede bei der Cadmiumaufnahme nachweisbar. Auch Öllein reichert Cadmium stark an (CRÖSSMANN, 1982; SPÄTE et al., 1992).

4.4 Persistente organische Umweltkontaminanten

Persistente organische Schadstoffe („persistent organic pollutants =POP) sind hochtoxisch. Sie sind in der Umwelt ubiquitär verbreitet und reichern sich aufgrund ihrer i.d.R. hohen Fettlöslichkeit in der Nahrungskette an.

Das „Stockholmer Übereinkommen über persistente organische Schadstoffe“ trat am 17. Mai 2004 in Kraft und verbietet bzw. beschränkt die folgenden zwölf organischen Umweltkontaminanten:

Chlorpestizide: Aldrin, Chlordan, DDT, Dieldrin, Endrin, Heptachlor, Hexachlorbenzol (HCB), Mirex, Toxaphen

Industriechemikalien: polychlorierte Biphenyle (PCB)

Nebenprodukte: polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/PCDF)

(FIEDLER, 2006)

Nach heutigem Kenntnisstand sind neben den vorgenannten Stoffen auch die folgenden zwei Stoffgruppen für die Umwelt und die menschliche Gesundheit besonders bedeutsam:

**Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK),
polybromierte Diphenylether (PBDE).**

Bei den persistenten organischen Umweltkontaminanten umfasst jede Stoffgruppe (chlorierte Kohlenwasserstoffe, PCDD/PCDF, PCB, PAK, PBDE) eine Vielzahl unterschiedlicher chemischer Verbindungen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Die Gemeinsamkeit der Verbindungen einer Stoffgruppe findet sich in ihrer chemischen Grundstruktur.

Persistente organische Umweltkontaminanten werden kaum über die Wurzeln aufgenommen. Oberirdisch wachsende Pflanzenteile werden eher über Bodenpartikel und über die Luft verunreinigt.

4.4.1 Chlorierte Kohlenwasserstoffe

Chlorierte Kohlenwasserstoffe (Chlorpestizide) lassen sich aus Erdöl bzw. Erdgas und Chlor sehr einfach und kostengünstig herstellen. Die meisten Vertreter dieser Gruppe wirken als völlig unspezifische Insektizide und sind besonders stabil. Daher ist der Einsatz der meisten Wirkstoffe in Deutschland schon lange Zeit verboten. Problematische Rückstände wurden, oft als Folge einer zurückliegenden, direkten Anwendung in Getreidelagern, Stallungen, in Gewächshäusern und vielfach in Böden nachgewiesen.

Bei Aldrin handelt es sich um ein breitenwirksames Bodeninsektizid, das in Deutschland seit 1981 nicht mehr im Handel ist. Der Wirkstoff wurde zum Beispiel gegen Drahtwürmer eingesetzt.

Chlordan ist ein Gemisch aus verschiedenen Organochlorkomponenten. Die Substanz kam als breitenwirksames Bodeninsektizid für den Gemüse-, Mais-, Frucht- oder Kartoffelanbau auf den Markt. Die Stockholmer Konvention untersagt die Herstellung von Chlordan weltweit.

Dichlordiphenyltrichlorethan (DDT) ist ein Insektizid mit Wirkung als Kontakt- und Fraßgift, das um 1940 entwickelt wurde und gegen landwirtschaftliche Schädlinge und zur Malariabekämpfung verwendet wurde. Heute kommt DDT noch in einigen Entwicklungsländern vor allem zur Malaria-Bekämpfung zum Einsatz. Die Verwendung in Deutschland ist seit 1979 verboten. Da DDT nur sehr langsam enzymatisch abbaubar ist, können Rückstände von DDT und dessen Abbauprodukten DDE und DDD noch lange Zeit nach einer Anwendung nachgewiesen werden.

Dieldrin war in Deutschland als Mittel zur Saatgutbeizung im Einsatz und entsteht auch als Abbauprodukt von Aldrin. Dieldrin wurde verbreitet im Unterglasanbau eingesetzt. Obwohl der Wirkstoff seit 1990 in Deutschland nicht mehr angewendet werden darf, werden in damals genutzten Gewächshäusern nach wie vor Rückstände gefunden, wenn nicht das Bodensubstrat ausgetauscht wurde.

Endrin wurde als breitenwirksames Kontakt- und Fraßinsektizid verwendet.

Heptachlor ist ein Insektizid, das als Kontakt- oder Fraßgift wirkt. Es wurde vor allem gegen Bodeninsekten und Termiten verwendet.

Hexachlorbenzol ist ein Fungizid, dessen Einsatz bis 1965 zur Beizung von Saatgut weit verbreitet war. Hexachlorbenzol wurde auch bei der Produktion von Sprengstoff und synthetischem Gummi verwendet. Vor allem entsteht es als Nebenprodukt bei der Synthese verschiedener organischer Verbindungen. In erster Linie bei der Herstellung chlorierter Lösungsmittel und Pestizide.

Mirex ist ein insektizides Fraßgift. Es wurde vor allem gegen Ameisen und Termiten eingesetzt und fand auch als Flammenschutzmittel Verwendung.

Toxaphen ist ein Kontaktinsektizid, das im Getreide- und Gemüseanbau verwendet wurde.

Neben den vorgenannten Wirkstoffen aus der Gruppe der Chlorpestizide gibt es noch weitere umweltgefährliche und toxikologisch bedenkliche Verbindungen aus dieser Substanzgruppe. Hierzu gehören beispielsweise PCP (Pentachlorphenol), Endosulfan und Lindan.

Chlorierte Kohlenwasserstoffe können von Wurzelgemüse, besonders Umbelliferen wie zum Beispiel Möhren, besonders intensiv aus dem Boden aufgenommen werden. Auch Gurken und Paprika eignen sich diese Wirkstoffe gut an.

4.4.2 Polychlorierte Biphenyle (PCB)

Zur Gruppe der ausschließlich synthetisch hergestellten polychlorierte Biphenyle (PCB) gehören 209 verschiedene Verbindungen unterschiedlicher chemischer Struktur und räumlicher Anordnung (Isomere). 12 Verbindungen aus dieser Gruppe werden als „dioxinähnliche PCB“¹ bezeichnet. Sie zeigen ein ähnliches toxikologisches Verhalten wie Dioxine.

PCB wurden in offenen Systemen als Schmiermittel in Getriebeölen und Schraubenfetten, als Imprägnier- und Flammschutzmittel für Holz, Papier, Stoffe und Leder, zur Beschichtung von Transparent- und Durchschlagpapier, als Zusatzmittel in Klebstoffen, Dichtungsmassen und Fugenkiten und als Dispergierungsmittel in Druckfarben, Farbpigmenten und Wachsen eingesetzt. In geschlossenen Systemen fanden sie Verwendung als Zusatzdielektrikum für Kondensatoren, Isolier- und Kühlflüssigkeit für Transformatoren und als Hydraulikflüssigkeit für Hubwerkzeuge, Hochdruckpumpen und automatische Getriebe, vor allem im Bergbau.

Die PCB-Produktion in Deutschland wurde 1983 eingestellt. Seit 1989 gilt die PCB-Verbotsverordnung. Für die Mitgliedsstaaten der Europäischen Union besteht gemäß der Richtlinie 96/59/EG bis zum 31. Dezember 2010 die Verpflichtung, PCB und PCB-haltige Geräte zu dekontaminieren und zu entsorgen (BRUNS-WELLER, 2005).

PCB werden durch die Humuspartikel im Boden fest gebunden und durch die Pflanzenwurzeln kaum aufgenommen. Sie lagern sich jedoch über die Luft, Bodenpartikel und Überschwemmungswasser auf pflanzlichen Oberflächen ab. Weidetiere nehmen PCB über den Aufwuchs und Bodenpartikel auf und lagern diese im Fettgewebe ein. Aufgrund der hohen Persistenz kommt es zu einer Anreicherung in der Nahrungskette.

¹ PCB 77, PCB 81, PCB 126, PCB 169, PCB 105, PCB 114, PCB 118, PCB 123, PCB 156, PCB 157, PCB 167, PCB 189

4.4.3 Dioxine und Furane (PCDD/PCDF)

Die öffentliche Diskussion über Dioxine (polychlorierte Dibenzodioxine und -furane (PCDD/PCDF)) begann in Europa nach dem Unfall in einer norditalienischen Fabrikanlage in Seveso. In dieser Fabrik wurden Pflanzenschutzmittel hergestellt. Infolge des Unfalls wurden in kurzer Zeit mehr als 2 kg 2,3,7,8 TCDD ("Seveso-Dioxin") mit gravierenden Folgen für Umwelt, Natur und die dort lebenden Menschen freigesetzt.

Nach heutigem Wissensstand gibt es 210 verschiedene PCDD/PCDF („Kongenerere“), die sich in ihren Eigenschaften unterscheiden. PCDD/PCDF wurden nie in technischem Maßstab hergestellt und sind ein unerwünschtes Nebenprodukt menschlichen Ursprungs. Dioxine und Furane entstehen bei der Herstellung chlororganischer Verbindungen (z.B. Pentachlorphenol (PCP) und PCB), bei unvollständigen Verbrennungsprozessen in Anwesenheit von Chlorquellen (z.B. Müllverbrennung, Industriefeuerungen, Kraftwerke), bei der Metall-erzeugung und -verarbeitung (z.B. Kabelverschmelungsanlagen, Aluminium-Umschmelzwerke) und in der Vergangenheit auch bei der Chlorbleiche von Zellulose (BRUNS-WELLER, 2005).

PCDD/PCDF liegen stets als Gemische verschiedener Einzelverbindungen vor. Aus diesem Grund wurden so genannte Toxizitätsäquivalentfaktoren (TEF) als Hilfsmittel zur Bewertung von Analysedaten eingeführt. Die Giftwirkung der einzelnen PCDD/PCDF wird relativ auf die des "Seveso-Dioxins" (2,3,7,8 TCDD) bezogen. 2,3,7,8 TCDD erhält immer den Faktor 1, andere PCDD/PCDF Faktoren von 0,0001 bis 0,5. PCDD/PCDF-Kongenenmuster können Hinweise auf die Kontaminationsquelle geben.

PCDD/PCDF lagern sich oberflächlich über die atmosphärische Luft, Staub und Bodenpartikel auf Pflanzenteilen ab. PCDD/PCDF reichern sich in der Nahrungskette an und finden sich aufgrund ihrer hohen Fettlöslichkeit vor allem in fetthaltigen Geweben. Hühner können PCDD/PCDF über den Boden aufpicken, Kühe nehmen PCDD/PCDF über das Gras und den Boden auf (BRUNS-WELLER, 2005).

Da die Sicherheitsspanne zwischen der beim Menschen tolerierbaren und der tatsächlichen Aufnahme gering ist, sollten mögliche PCDD/PCDF-Kontaminationen besonders beachtet werden (HAMSCHER, 2006).

4.4.4 Polybromierte Diphenylether (PBDE)

Bei der Gruppe der polybromierten Diphenylether (PBDE) sind bislang 209 Einzelverbindungen („Kongenere“) bekannt.

PBDE werden vorwiegend als bromierte Flammschutzmittel eingesetzt, so zum Beispiel im Polyurethanschaum für Möbel und Polsterungen, in Kleidung, Teppichen, elektronischen Bauteilen und bei festen Kunststoffen.

PBDE werden bei der Herstellung und Verarbeitungsprozessen, durch Ausgasung und die Reinigung der genannten Stoffe und bei der Müllverbrennung in die Umwelt freigesetzt. Bei der Verbrennung entstehen zudem hochgiftige polybromierte Dioxine und Furane,

PBDE sind sehr persistent und weltweit in Lebewesen nachweisbar. Sie werden äußerlich auf pflanzlichen Oberflächen abgelagert und reichern sich im Fettgewebe von Mensch und Tier an (TERNES; 2005).

4.4.5 Polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Zur Stoffgruppe der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) gehören mehr als 300 Einzelverbindungen. PAK können auch auf natürlichem Weg entstehen. Wegen ihrer Persistenz, ihrer Toxizität und ihrer ubiquitären Verbreitung wird PAK eine große Bedeutung als Schadstoffe in der Umwelt beigemessen.

Die amerikanische Umweltbehörde EPA legte 1976 in der sogenannten Priority Pollutant List 16 PAK² fest, die erfahrungsgemäß am häufigsten in der Umwelt bzw. im Abwasser vorkommen (FLIEGNER & REINIRKENS, 1993). Die für die Bewertung von PAK-Belastungen herangezogene Leitsubstanz ist das Benzo[a]pyren.

PAK kommen in fossilen Brennstoffen (Kohle und Erdöl) sowie deren Destillationsprodukte (Steinkohlenteer, Bitumen, Asphalt, Otto- und Dieselkraftstoff bzw. Heizöl) vor. Auch Teerpappe oder Teerfarben, die z.B. für Telegrafmasten oder Eisenbahnschwellen verwendet wurden, enthalten PAK.

PAK entstehen bei der Pyrolyse und bei allen unvollständigen Verbrennungsprozessen, so zum Beispiel bei Industriefeuerungsanlagen, der Müllverbrennung, dem Hausbrand und den KFZ-Verkehr (Dieselmotore, Feinstaub).

² Acenaphthylen, Acenaphthen, Anthracen, Benzo(a)anthracen, Benzo(a)pyren, Benz-ghi-perylen, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Chrysen, Dibenzo(a,h)anthracen, Fluoranthren, Fluoren, Indeno(1,2,3-c,d)pyren, Naphthalin, Phenanthren, Pyren

In der Umgebung von ehemaligen Gaswerken und Kokereien sind häufig erhöhte PAK-Gehalte feststellbar. Auch die Teerölverarbeitung ist eine Quelle für PAK-Kontaminationen.

Das Holzbehandlungsmittel Carbolineum enthält ebenfalls PAK-Verunreinigungen.

PAK werden von den Pflanzen nur in geringem Maß aus dem Boden aufgenommen und vorrangig auf pflanzlichen Oberflächen abgelagert (DELSCHEN et al., 1999). Sie reichern sich in der Nahrungskette an.

4.5 Potentielle Kontaminationsquellen

Informationen über die Belastung vor Ort kann in der Regel die Untere Bodenschutzbehörde geben. Sie ist verpflichtet schädliche Bodenveränderungen und Verdachtsflächen zu erfassen. In Belastungsgebieten wurden inzwischen vielfach digitale Bodenbelastungskarten erstellt, die eine Einschätzung der Gefährdungssituation zulassen.

4.5.1 Geogene Vorbelastung

Bestimmte Böden können aufgrund der chemischen Zusammensetzung des Ausgangsgesteins natürlich erhöhte Schwermetallgehalte aufweisen (FLEIGE & HINDEL, 1988).

Bei Böden, die mit geogenen Schwermetallen angereichert sind, ist der Schwermetall-Grundgehalt (Hintergrundgehalt) erhöht. Dies betrifft oftmals nur einzelne Schwermetalle. Geogene Schwermetallverbindungen sind in der Regel fester gebunden als solche, die aus der Atmosphäre in die Böden eingetragen wurden und daher für die Pflanzen schlechter verfügbar.

Bei Erosionsereignissen können Bodenpartikel von Böden mit erhöhtem Schwermetall-Hintergrundgehalt in Fließgewässer eingetragen werden und so die Kontaminationsproblematik in Überschwemmungsgebieten verschärfen.

Problematische Schwermetallgehalte von Böden können eng regional begrenzt auftreten, besonders dort, wo Erzadern oberflächennah anstehen. Dies ist zum Beispiel im Harz der Fall.

4.5.2 Erzabbau und -verhüttung

Der Erzbergbau war schon im frühen Mittelalter ein wichtiger Wirtschaftszweig. Bereits im Jahr 964 wurde mit dem Erz-Abbau am Rammelsberg im Harz begonnen. Der planmäßige Abbau größerer Lagerstätten begann im Gebiet der heutigen Bundesrepublik Deutschland flächendeckend im 13. bzw. 14. Jahrhundert. Im 18. Jahrhundert entwickelten sich dann Grubenbetriebe. Bergtechnik und Hüttentechnik wurden verbessert und Grundlagen für eine moderne Hüttentechnik gelegt. Die Mehrzahl der Gruben waren im Vergleich zu den heutigen Größenordnungen sehr kleine Betriebe.

Im späten 19. Jahrhundert setzte dann eine Umstrukturierung des Bergbaus ein. Es entstanden immer mehr Großbetriebe. Mit dem Einsatz besserer Techniken bei Gewinnung, Förderung, Aufbereitung und Verhüttung wurden auch früher nicht genutzte Erze einbezogen. Später, zu Zeiten des Dritten Reiches und nach dem Ende des Zweiten Weltkrieges in der Bundesrepublik Deutschland, wurden sogar ausgesprochene Armerze abgebaut (SLOTTA, 1983). Heute ist der Erzbergbau auf dem Gebiet der Bundesrepublik Deutschland weitgehend eingestellt. Roherze, die zur Verhüttung bestimmt sind, werden zum überwiegenden Teil importiert.

In Erzabbaugebieten sind verschiedene Altlaststandorte zu nennen: Abbaustellen, Halden und Hüttenbetriebe (KÖNIG & KRAMER, 1985). Erhebliche Bodenbelastungen finden sich beispielsweise im Raum Stolberg bei Aachen (Nordrhein-Westfalen), und im Schwarzwald. Auch der gesamte Harzraum ist aufgrund der geogenen Vorbelastung und der Jahrhunderte langen Erzgewinnung als Belastungsgebiet einzustufen (SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2006).

Im engeren Harzgebiet und seinem unmittelbaren Vorland sind die Böden durch die Emissionen der Metallhütten stark mit den Elementen Arsen, Blei, Cadmium, Zink, Thallium angereichert; im Harzvorland sind die Flussgebiete von Oker, Innerste, Leine und Aller infolge fluviatiler Verfrachtung von Haldenmaterial und Schwebstoffen vorwiegend mit Blei, Cadmium, Zink und Kupfer belastet.

Fallbeispiel

Ein am Harzrand wirtschaftender Öko-Betrieb verfügt über Ackerflächen, auf denen nach Mitteilung des Landkreises mit Schwermetallkontaminationen der Böden gerechnet werden muss. Der Betriebsleiter veranlasst Bodenuntersuchungen. Die Ergebnisse belegen für zwei Schläge Überschreitungen des Maßnahmewertes der Bundes-Bodenschutzverordnung für Cadmium.

Der Betriebsleiter stellt für die betroffenen Schläge die Fruchtfolge um und verzichtet auf einen Anbau von Pflanzenarten, die Cadmium bevorzugt aus dem Boden aufnehmen, insbesondere auf einen Anbau von Winterweizen. Ferner werden die Kalkgehalte im Boden alle zwei Jahre geprüft, um die Cadmiumaufnahme der angebauten Nutzpflanzen möglichst gering zu halten.

4.5.3 Industrie- und Recyclinganlagen als Einzelemittenten und Immissionsgebiete

Industrieanlagen können in vielfältiger Weise zu einer Belastung von Böden und Aufwuchs mit persistenten Umweltschadstoffen beitragen.

In der **Nichteisen-Metallindustrie** werden unter anderem Aluminium, Blei, Kupfer, Zinn oder Zink verarbeitet. Die Rohstoffe stammen aus importiertem Erz oder aus Recyclingmaterial von gebrauchten Metallteilen. Während des Betriebes von Nichteisen-Metallhütten wurden in der Vergangenheit erhebliche Mengen an Blei, Cadmium, Kupfer, Zink und anderen Schwermetallen in die Umwelt abgegeben.

Auch bei der **Eisen- und Stahlerzeugung** wurden in der Vergangenheit beträchtliche Schadstoffmengen emittiert. Hierbei waren Hochöfen, Stahlwerke, Gießereien und Kokereien relevant. Sinteranlagen, die zum Stückigmachen von Erzen dienen, wiesen im Jahr 1982 einen Anteil von über 40% an der gesamten Schwermetallemission der Eisen- und Stahlindustrie auf (JOCKEL & HARTJE, 1991). Auch PCDD/PCDF-Emissionen wurden festgestellt.

In der Umgebung von **Aluminium-Umschmelzwerken** wurden PCDD/PCDF– sowie PAK-Kontaminationen festgestellt. Beim Schadensfall Crailsheim-Maulach in Baden-Württemberg wurden in der Umgebung einer **Kabelverschmelzungsanlage** zur Kupferrückgewinnung Böden erheblich mit Dioxinen und Furanen verunreinigt (LfU, 2001).

Anlagen der **Petrochemie** und der **Kohleverkokung** gelten als PAK-Quellen. Stillgelegte Mineralölläger, Kokereien sowie teer- und pechverarbeitende Betriebe sind im Hinblick auf PAK als altlastverdächtig einzustufen.

Auch der **Hausbrand und Industriefeuerungsanlagen** sind als mögliche Kontaminationsquellen zu nennen. Als emittierte Umweltschadstoffe sind in erster Linie PAK zu nennen. Ferner enthalten Kohle und schweres Heizöl auch Schwermetallspuren.

Zementwerke verarbeiten große Mengen von Rohstoffen. Die Verarbeitung erfolgt bei hohen Temperaturen. In Abhängigkeit von den eingesetzten Rohstoffen, den eingesetzten Brennstoffen (z.B. Altholz, Autoreifen, PCB-haltige Abfälle) und den Maßnahmen zur Emissionsminderung können verschiedene Schadstoffe an die Umwelt abgegeben werden.

In der **Glasindustrie** kam es bei der Herstellung von Spezialgläsern, insbesondere bei Bleikristallglas, zu Schwermetallemissionen. In der Umgebung von Bleiglashütten ist mit erheblichen Schwermetallkontaminationen zu rechnen (VDI, 1984).

Auch durch **industrielle Anlagen zur Produktion von Farben und Pigmenten** können Schwermetalle wie zum Beispiel Blei, Cadmium, Chrom und Zink in die Umwelt abgegeben werden.

In Immissionsgebieten wie zum Beispiel Ballungsräumen überlagern sich die Einflüsse zahlreicher Einzelemittenten. Generell ist hier mit einem im Vergleich zu ländlich geprägten Regionen erhöhten Belastungsrisiko zu rechnen.

Fallbeispiel

Ein landwirtschaftlicher Betrieb liegt in etwa 4 km Entfernung vom ehemaligen Kombinat VEB Chemische Werke Buna in Schkopau in Sachsen-Anhalt. Dort produziert seit 1936 die chemische Industrie, bis 1990 mit Hilfe der stark umweltbelastenden Carbid-Acetylen-Chemie. Die Grünlandflächen des Betriebes liegen zum Teil im Überschwemmungsbereich der Elster.

Der Betriebsleiter lässt Untersuchungen durchführen, um mögliche Belastungen seiner Acker- und Grünlandflächen mit Schwermetallen und organischen Umweltschadstoffen erkennen zu können.

Erfreulicherweise sind die Analysebefunde für die Ackerschläge unauffällig. Auf zwei kleineren Grünlandflächen werden dagegen erhebliche Schwermetallanreicherungen mit Arsen, Blei, Cadmium, Nickel, Quecksilber und Zink nachgewiesen. Beide Grünlandflächen werden aus der landwirtschaftlichen Nutzung genommen.

4.5.4 Überschwemmungsgebiete

Zahlreiche Untersuchungsergebnisse zeigen, dass in Überschwemmungsbereichen schadstoffbelasteter Flüsse und Bäche Böden und Aufwuchs oft sehr stark mit Schwermetallen und organischen Umweltschadstoffen belastet sind. Die mit dem Überschwemmungswasser verfrachteten Schadstoffe entstammen unter anderem Erosionsprozessen, Altlasten und Einleitungen industrieller Anlagen (HELLMANN, 1993).

Aufgrund des wiederholten Eintrages von Umweltschadstoffen sind Böden und Aufwuchs oft kritisch belastet. Daher sollte in den betroffenen Gebieten besonders darauf geachtet werden, durch vorbeugende Maßnahmen einen Schadstofftransfer in die Nahrungskette so weit wie möglich zu reduzieren.

Erste Hinweise auf eine mögliche Belastung in Überschwemmungsgebieten liefern Gewässergütekarten.

4.5.5 Straßenverkehr

Durch die Einführung bleifreier Kraftstoffe sind die Bleiemissionen durch den Kraftfahrzeugverkehr deutlich zurückgegangen. Durch Reifenabrieb, den Abrieb von Bremsbelägen und Korrosion von Lacken und Stahllegierungen werden jedoch Schwermetalle in die Umwelt freigesetzt (GÄTH et al., 1990). Kraftfahrzeuge gelten zudem als wichtige Emittenten von PAK und PCDD/PCDF. PAK werden besonders durch Dieselfahrzeuge emittiert (Feinstaubproblematik).

Schwermetalle und organische Umweltkontaminanten, die dem Straßenverkehr entstammen, werden besonders im straßennahen Bereich in Böden und Kulturpflanzen angereichert. Oftmals sind bereits in 25 m Entfernung vom Fahrbahnrand keine erhöhten Schadstoffeinträge von Böden und Kulturpflanzen mehr feststellbar (UNGER & PRINZ, 1992).

4.5.6 Landwirtschaftliche Nutzung vor der Umstellung auf den Ökologischen Landbau

4.5.6.1 Klärschlammausbringung und Abwasserverrieselung

Im konventionellen Landbau wird die Klärschlammausbringung durch die 1982 in Kraft getretene, zuletzt im Jahr 2003 geänderte Klärschlammverordnung (AbfKlärV) gesetzlich geregelt. Die in der Verordnung festgelegten Grenzwerte für den Klärschlamm (PCB, PCDD/PCDF und Schwermetalle) und die zur Aufbringung vorgesehenen Böden (Schwermetalle) dürfen nicht überschritten werden.

Bei Schlägen, auf denen langjährig Klärschlamm ausgebracht wurde, ist im Hinblick auf mögliche Belastungen des Bodens mit Schwermetallen und organischen Umweltschadstoffen Vorsicht geboten. Durch Klärschlamm können Böden mit den Schwermetallen Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer und Zink angereichert werden (KÖNIG, 1986; CRÖßMANN & SEIFERT, 1981). Auch organische Schadstoffe wie PAK, PCB und PCDD/PCDF werden mit Klärschlamm auf den Boden aufgebracht (UMWELTBUNDESAMT, 1992).

Seit dem Inkrafttreten der Klärschlammverordnung unterliegen Betreiber von Abwasserbehandlungsanlagen (Kläranlagen) einer Dokumentationspflicht. Klärschlamm-Abnehmer erhalten bei der Ausbringung Lieferscheine. Sie können als Informationsgrundlage für ausgebrachte Mengen und Schadstoff-Frachten dienen.

Fallbeispiel

Ein Öko-Betrieb in Hessen übernimmt zwei Ackerschläge, für die der Vorbesitzer eine Klärschlammausbringung in den letzten Jahren erklärt. Entsprechende Dokumentationen werden vorgelegt (Schwermetall-Untersuchungsergebnisse für die Ackerschläge vor der Schlammausbringung, Schlammuntersuchungen). Im Auftrag des Öko-Betriebs wird eine Modellrechnung erstellt. Diese ergibt, dass die Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutzverordnung nicht überschritten werden. Später durchgeführte Bodenanalysen bestätigen das Ergebnis des Berechnungsmodells.

Auch ehemalige Rieselfelder und Böden, auf die Aushub aufgebracht wurde, können in erheblichem Maß mit Umweltschadstoffen kontaminiert sein.

4.5.6.2 Altlasten des chemisch-synthetischen Pflanzenschutz

Die Böden von ehemals als Baumschule genutzten Flächen und alte Gewächshäuser können mit Chlorpestiziden kontaminiert sein. Der Einsatz dieser Alt-Pestizide ist in Deutschland schon seit langen Jahren verboten. Trotzdem können Substanzen wie Dieldrin, DDT, HCB und Heptachlor wegen ihrer hohen Beständigkeit auch heute noch in Einzelfällen in kritischen Konzentrationen in Erscheinung treten.

Fallbeispiel

2004 wurden bei Analysen von Bio-Gurken aus dem norddeutschen Raum im Rahmen des Obst- und Gemüse-Monitorings vom Bundesverband Naturkost Naturwaren Herstellung und Handel (BNN) Dieldrin- und Heptachlor-Kontaminationen zum Teil oberhalb der Grenzwerte der Rückstands-Höchstmengenverordnung gefunden. Betroffene Ware wurde zurückgerufen.

In nachfolgenden Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass die Ursache der Belastungen eine Verunreinigung von Gewächshausböden mit Chlorpestiziden war.

Neben den Chlorpestiziden weisen auch weitere in der konventionellen Bewirtschaftung eingesetzte Wirkstoffe eine hohe Persistenz auf und können Kontaminationen in ökologisch erzeugten Lebensmitteln hervorrufen. Chlormequat (CCC) ist ein Beispiel für einen solchen Stoff. CCC wird im konventionellen Landbau als Halmverkürzungsmittel im Getreidebau und fand früher auch Verwendung als Stauchungsmittel im Zierpflanzenbau. Obwohl im konventionellen Obstbau in Deutschland nie eine Zulassung bestand, wurde CCC illegal zur Ertragsverbesserung vor allem bei Birnen eingesetzt. Die Substanz wurde als Folge dieser unzulässigen Anwendung in Triebe und Holz eingelagert. Im Jahr 2002 aufgetretene Verunreinigungen von birnenhaltiger Öko-Babykost mit Chlormequat wird auf einen Transfer des sehr persistenten CCC aus dem Holz in die Früchte nach der Umstellung zurückgeführt. Mittlerweile zählt es zur Guten Fachlichen Praxis im Ökolandbau, dass bei der Umstellung von Birnenkulturen Holzproben untersucht werden (LEOPOLD 2003).

4.5.6.3 Holzschutz

In Stallungen werden zum Holzschutz chemische Mittel eingesetzt. Diese Holzschutzmittel enthalten in der Regel biozide Wirkstoffe.

Während die Verwendung des im Rahmen verschiedener Kontaminationsfälle bekannt gewordenen Fungizids Pentachlorphenol (PCP) seit 1989 verboten ist, darf Lindan noch immer verwendet werden. In Holzschutzmitteln kann eine Vielzahl unterschiedlicher Pestizidwirkstoffe enthalten sein (WOLFF, 1994).

In der ehemaligen DDR kamen bis 1990 auch noch Mittel auf den Markt, denen das in Westdeutschland fast vollständig verbotene DDT (Dichlordiphenyltrichlorethan) zugesetzt war.

Fallbeispiel

In Geflügelfleisch aus ökologischer Erzeugung eines süddeutschen Bio-Betriebes wird bei der Eingangskontrolle durch das Labor eines Babykostherstellers eine Kontamination mit DDT und dessen Metaboliten festgestellt. Die angelieferte Charge wird zurückgewiesen.

Umfangreiche Untersuchungen des Betriebes in Zusammenarbeit mit seiner Öko-Kontrollstelle ergeben, dass die Verunreinigung durch Holzwände einer Altstallung, die nur zeitweise genutzt wurde, verursacht wurde.

Generell sollte ein Einsatz von Holzschutzmitteln im nichtkonstruktiven Bereich unterbleiben. Tragende Teile in baulichen Anlagen müssen mit Holzschutzmitteln geschützt werden.

4.5.6.4 Vorratsschutzmittel

Auch in Lagereinrichtungen sind Kontaminationen mit unzulässigen Pestiziden möglich. Beim Nitrofenfall wurde ein Alt-Pestizid durch Stäube und Bodenabrieb in einer Lagerhalle in Öko-Getreide eingetragen. Die nachfolgende Verschleppung in einer Futtermühle verursachte Kontaminationen von Geflügel- und Schweinefutter und führte letztendlich zum wohl größten Öko-Skandal der vergangenen Jahre.

Vor der erstmaligen Einlagerung von Öko-Ware in zuvor konventionell genutzte Getreidelager muss eine sachgerechte Gefährdungsabschätzung durchgeführt werden. Die Entnahme einer Staubprobe mit nachfolgender Analyse auf gängige Pflanzenschutzmittelwirkstoffe bietet die Sicherheit, in ein nicht risikobehaftetes Lager einzulagern.

Fallbeispiel

Die Durchführung von Staubanalysen in einem Getreidelager eines neu umstellenden Öko-Betriebes zeigt deutliche Rückstände von Pirimiphos-Methyl und von DDT-Derivaten an. Die zuständige Öko-Kontrollstelle untersagt eine Nutzung des Lagers für Öko-Ware. Vor der Nutzung muss eine aufwendige Sanierung durchgeführt werden.

4.5.7 Kontaminationsrisiken nach der Umstellung auf den Ökologischen Landbau

4.5.7.1 Einsatz zulässiger Betriebsmittel

Auch Öko-Betriebe setzen eine Vielzahl von Betriebsmitteln, technischen Hilfsstoffen und sonstigen Materialien ein. Diese Stoffe enthalten zum Teil Begleitsubstanzen oder sind mit Stoffen verunreinigt, die zu den Umweltkontaminanten gerechnet werden. So gelten Mineralfutter, organische Zukaufsdünger, Komposte, Rohphosphate und kupferhaltige Pflanzenschutzmittel als mögliche Schwermetallquellen (KTBL, 2005).

Eine bedarfsdeckende Versorgung der Tiere mit Spurenelementen ist unabhängig von der Wirtschaftsweise zu gewährleisten. Allerdings weisen die Elemente Kupfer und Zink bei hoher Dosierung eine leistungsfördernde Wirkung auf und tragen zur Schwermetallbelastung

von Böden bei. Der Anbauverband BIOLAND e.V. hat daher 2005 Höchstgehalte für Kupfer und Zink für Mineralfuttermittel für BIOLAND-Betriebe festgelegt (LANGERBEIN, 2005).

Wirtschaftseigene Düngemittel, die von konventionellen Betrieben in Öko-Betriebe eingeführt werden, können aufgrund des Mineralfuttereinsatzes im konventionellen Betrieb erhöhte Schwermetall-Gehalte aufweisen. Die Nährstoffversorgung der Öko-Kulturen sollte sich daher vor allem auf eine geeignete Fruchtfolge mit ausreichendem Leguminosenanteil stützen.

Für kompostierte Haushaltsabfälle aus Getrenntsammlung und Rohphosphate sind in den EG-Rechtsvorschriften zum Ökologischen Landbau Schwermetallgrenzwerte festgelegt, die für die bezogenen Chargen nicht überschritten werden dürfen.

Gleiches gilt für die im Ökologischen Landbau zulässigen kupferhaltige Pflanzenschutzmittel, die im Kartoffelanbau und in Sonderkulturen verwendet werden. Ein Einsatz von kupferhaltigen Pflanzenschutzmitteln führt besonders in Dauerkulturen zu einer allmählichen Kupferanreicherung in der obersten Bodenschicht, die nachteilige Folgen für das Bodenleben aufweist (KARALUS, 1992). Ein Einsatz sollte deshalb so weit wie möglich eingeschränkt werden. Durch die EG-Rechtsvorschriften zum Ökologischen Landbau und die Richtlinien der Anbauverbände sind maximale jährliche Ausbringungsmengen festgelegt, die nicht überschritten werden dürfen.

4.5.7.2 Trocknung von Erntegut

Dann, wenn zur Verbesserung der Haltbarkeit über die Flammen eines Brenners geführte Luft in das Erntegut geblasen wird („direkte Trocknung“), besteht in Abhängigkeit vom Brennmaterial das Risiko einer Dioxinkontamination. Hierbei spielen das Brennmaterial, die Regelungstechnik und die Temperaturführung eine Rolle. Eine Verbrennung von Gas ist in der Regel unschädlich. Dann, wenn naturbelassenes Holz eingesetzt wird, muss der Chlorgehalt minimiert werden. Verunreinigte Heizöle und andere risikobehaftete Brennmaterialien sind nicht geeignet.

Eine indirekte Trocknung, bei der ein Wärmeaustauscher erhitzt wird, der dann die Trocknungsluft erhitzt, ist ebenfalls eine Alternative, jedoch mit geringerer Energieeffizienz.

4.6 Risikomanagement für Umweltkontaminanten

Die nachfolgend dargestellten Maßnahmen, die für landwirtschaftlichen und gärtnerischen Betriebe in Frage kommen, um Anreicherungen und Belastungen ihrer Erzeugnisse mit Umweltkontaminanten zu verringern, sichern eine hohe ernährungsphysiologische Qualität von Öko-Produkten. Dieser Leitfaden kann jedoch nur erste Hinweise zu möglichen Strategien zur Risikominimierung geben. Die konkreten Maßnahmen müssen sich immer nach den Verhältnissen im Einzelfall richten. Für ausführlichere Darstellungen sei an dieser Stelle auf die Veröffentlichungen der LfL (2003) und der LUA (2006) verwiesen.

4.6.1 Ackerbaukulturen, Obstbau und Gemüse

Bei Ackerbaukulturen steht im Allgemeinen die Aufnahme von Umweltkontaminanten über die Pflanzenwurzeln aus dem Boden im Vordergrund (systemischer Pfad, vgl. Kap. 4.2). Bei Kulturen, die bodennah wachsen (z.B. Klee gras im Feldfutterbau) und die schlecht gereinigt werden können (z.B. Erdbeeren) kann auch der Verschmutzungspfad, das heißt die Verunreinigung über Spritzwasser etc., von Bedeutung sein (LUA, 2006).

Wenn die Kontamination über den systemischen Pfad erfolgt, kommen auf Ackerland vorrangig folgende Maßnahmen zur Minderung der Kontaminationsgefahr in Betracht:

Anhebung des pH-Wertes auf das standortabhängige pH-Optimum

Der Transfer der Schwermetalle Cadmium, Nickel, Thallium und Zink vom Boden in die Nutzpflanzen wird mit steigendem pH-Wert erheblich reduziert (vgl. Tabelle 1). Schwermetalle werden dann weitgehend an Bodenaustauschern gebunden und werden dann kaum von den Pflanzenwurzeln aus der Bodenlösung aufgenommen.

Kalkversorgung optimieren!

Der pH-Wert eines Bodens ist ein Maß für dessen Säuregrad und damit für die Kalkversorgung. Gerade auf durch Schwermetallanreicherungen betroffenen Standorten sollte der pH-Wert im Oberboden stets auf dem optimalen, der Bodenart angepassten Wert gehalten werden. Es ist zu empfehlen, in Abständen von drei bis vier Jahren auf allen betroffenen Schlägen Bodenproben zur Bestimmung des pH-Wertes und des Kalkbedarfes zu entnehmen (KOLBE, 2001). Die Aufkalkung ist nach Empfehlung regelmäßig durchzuführen.

Eine allmähliche Versauerung von Böden kann schon bei Schwermetallgehalten des Bodens, die im Bereich der Vorsorgewerte der Bundes-Bodenschutzverordnung (vgl. Kap. 3.3) liegen, zu einer deutlich erhöhten Schwermetallaufnahme von Kulturpflanzen führen. Auch aus diesem Grund ist es wichtig, im Ökologischen Landbau einer optimalen Kalkversorgung der bewirtschafteten Flächen besondere Aufmerksamkeit zu schenken.

Erhöhung der Humusgehalte des Bodens

Viele Umweltschadstoffe werden von der organischen Substanz im Boden sehr fest gebunden (BUCHNER & RIESS, 1984; FELDWISCH et al., 2003). Aus diesem Grund können steigende Gehalte an organischer Substanz im Boden eine Schadstoff-immobilisierung bewirken.

Vermeidung von Bodenverdichtungen

Schwermetalle und organische Umweltschadstoffe reichern sich besonders in der oberen, bearbeiteten Bodenschicht an. Bodenverdichtungen, zum Beispiel aufgrund von Pflugsohlenverdichtungen, haben zur Folge, dass tiefere schadstoffärmere Bodenschichten weniger stark von den Pflanzen durchwurzelt werden können. Dies bedeutet, dass die Pflanzen Wasser und Nährstoffe vor allem aus der oberen, mit Umweltkontaminanten angereicherten Schicht aufnehmen. Bodenverdichtungen sollten daher besonders auf mit Umweltschadstoffen belasteten Böden vermieden werden, um eine verstärkte Schadstoffaufnahme der Pflanzen aus der oberflächennahen Bodenschicht zu vermeiden.

Arten- und Sortenwahl

Eine gezielte Auswahl von landwirtschaftlichen und gärtnerischen Kulturpflanzen ist eine wichtige Maßnahme, um überhöhte Gehalte an für Mensch und Tier schädlichen Umweltkontaminanten bei belasteten Standorten zu vermeiden.

Tabelle 2 liefert Hinweise, bei welchen Pflanzenarten im Acker- und Gemüsebau das Risiko einer Kontamination mit bestimmten Schwermetallen besonders hoch ist. Im Obstbau ist das Risiko einer Kontamination in der Regel nur gering.

Bei Weizen bestehen hinsichtlich der Cadmiumaufnahme auch Sortenunterschiede. Die Sorten Bandit, Ritmo, Tilburi, Victo und Windsor nahmen in Untersuchungen im Vergleich zur Sorte Batis mehr als die doppelte Cadmiummenge aus dem Boden auf (LfL, 2003).

Im Feldfutterbau ist zwischen bodenfern und bodennah beernteten Kulturen zu unterscheiden. Bei bodennah beernteten Pflanzen kann auch der Verschmutzungspfad eine wesentliche Rolle spielen. Einige mögliche Gegenmaßnahmen sind in Kapitel 4.6.2 genannt.

Für Chlorpestizide gilt, dass diese von Wurzel- und Knollengemüse in der Regel stärker als von Blattgemüse angereichert werden. Für Möhren wurde eine besonders starke Aneignung nachgewiesen, die wohl auf die ätherischen Öle in der Rinde zurückzuführen ist. Blattgemüse kann jedoch auch durch aufspritzende Bodenpartikel mit Chlorpestiziden verunreinigt werden (LfU, 1992).

Tab. 2: Schwermetall-Aneignungsvermögen verschiedener Kulturpflanzenarten

Anreicherungsvermögen	Cadmium	Blei	Thallium
Hoch (kursiv = unsicher)	Endivien Lollo rosso Mangold	Endivie Lollo rosso	Grünkohl Grünraps
	Öllein Sellerie Spinat Weizen Zuckerrübenblatt	Blumenkohl Broccoli Chinakohl Feldsalat Gerste Grünkohl Hafer Kohlrabi Kopfsalat	Broccoli Mangold Radies/Rettich Rote Bete Schwarzwurzel Sellerie Spinat Wirsing
Mäßig (kursiv = unsicher)	Blumenkohl Broccoli Chinakohl Grünkohl		
	Hafer Kopfsalat Möhren Porree Rote Bete Schwarzwurzel	Mangold Möhren Porree Radies/Rettich Roggen Rosenkohl Rote Bete Schwarzwurzel Sellerie Spinat Spitzkohl Weißkohl Weizen Wirsing Zwiebel	Blumenkohl Buschbohne Chinakohl Endivie Erbse Gurke Kohlrabi Kürbis Möhren Paprika Porree Rosenkohl Rotkohl Salat Spitzkohl Stangenbohne Tomate Weißkohl Zucchini Zwiebel
Niedrig (kursiv = unsicher)	Buschbohne Erbse Feldsalat Gerste Gurke Kartoffel Kohlrabi Kürbis Paprika Radies/Rettich Roggen Rosenkohl Rotkohl Spitzkohl Stangenbohnen Tomate Weißkohl Wirsing Zucchini Zwiebel	Buschbohne Erbse Gurke Kartoffeln Stangenbohne Tomate Zucchini	

(LUA, 2006, verändert)

Änderung der Nutzung

Auf belasteten Ackerschlägen kann auch eine Änderung der Nutzung sinnvoll sein indem Kulturen angebaut werden, die nicht für den direkten menschlichen Verzehr oder zur Verfütterung bestimmt sind. Bei der Produktion von Saatgetreide, von Kartoffeln und Getreide zur Brennereinsatzung oder bei der Zuckerrübenproduktion ist keine für Mensch und Tier problematische Belastung der Ernteprodukte zu befürchten. Auch eine Umwandlung von Acker zu Grünland kann in Erwägung gezogen werden.

4.6.2 Grünlandbewirtschaftung

Grünland und bodennah wachsende Feldfutterbaupflanzen (z.B. Klee gras) werden in der Regel vor allem über den Verschmutzungspfad mit Umweltschadstoffen verunreinigt. ELSÄSSER et al. (2004) gehen bei optimaler Bewirtschaftung von etwa 3% Verschmutzungsanteil am Futter aus. Dieser Wert kann sich jedoch bei ungünstiger Witterung und nicht standortangepasster Erntetechnik auf über 10% erhöhen.

Anhebung des pH-Wertes auf das standörtliche pH-Optimum

Auch auf Grünlandflächen sollten regelmäßig, das heißt im Abstand von etwa drei Jahren, Bodenuntersuchungen auf pH-Wert und Kalkbedarf durchgeführt werden. Die Aufkalkung sollte sich an den Empfehlungen orientieren, um den Transfer von Umweltschadstoffen über den systemischen Pfad in die Pflanzen zu verringern.

Erhaltung einer dichten Grasnarbe

Bei lückigen Narben steigt das Risiko einer Verschmutzung des Futters erheblich an. Eine dichte und leistungsfähige Grasnarbe senkt dagegen den Verschmutzungsanteil. Aus diesem Grund sollten beispielsweise ein Befahren von Grünlandflächen in zu nassem Zustand vermieden werden, da sonst die Grasnarbe zerstört wird. Auch über- und unternutzte Grünlandnarben reagieren mit zunehmender Lückigkeit und Verunkrautung. Eine optimale Nutzungsintensität sowie regelmäßig durchgeführte Nachsaaten mit Deutschem Weidelgras und Weißklee tragen dazu bei, Lücken zu schließen.

Schnittnutzung (Silage und Heu)

Eine Mahd bei feuchter und nasser Witterung sollte vermieden werden, da die Grundfutterqualität negativ beeinflusst wird und auch die Schmutzanteile am Schnittgut steigen. Die Schnitthöhe sollte zwischen 5 bis 7 cm liegen, um eine Verschmutzung des Futters mit Bodenteilchen durch zu tiefes Abmähen zu verhindern. Eine reduzierte Häufigkeit des Wendens und Schwadens trägt dazu bei, die Schmutzanteile weiter zu reduzieren. Schließlich sollte auch bei der Futtereinlagerung auf eine verschmutzungsarme Technik (z.B. Verzicht auf Überfahren mit verschmutzten Schlepperreifen) geachtet werden.

Weidemanagement

Auch für die Weidewirtschaft gilt, dass eine Beweidung in zu nassem Zustand Narbenschäden verursacht und daher vermieden werden sollte. Auf eine Winterweide sollte bei kontaminierten Flächen verzichtet werden. Es kann zudem sinnvoll sein, den Weideauftrieb im Frühjahr zu verzögern und den Weideabtrieb im Herbst zeitlich vorzuziehen. Nasse oder schlecht abtrocknende Weideareale können ausgezäunt werden.

Die Besatzdichte muss der Tragfähigkeit der Narbe angepasst sein. Eine Überweidung führt zu Trittschäden und zu einer lückigen Weidenarbe. Ein Verzicht auf eine Beweidung durch Pferde und Schafe mindert ebenfalls das Risiko von Narbenschäden (LUA, 2006).

Abgestorbene Futterreste und Futterschmutzungen sollten im Frühjahr durch Abschleppen beseitigt werden. Maulwurfshaufen werden eingeebnet und das Risiko von Futterschmutzungen vermindert. Eine regelmäßig durchgeführte Nachmahd beseitigt Weidereste und verhindert eine Entstehung von Lücken und eine Verunkrautung der Narbe.

Wechsel der Nutzungsart

Ein Wechsel von Beweidung zu einer reinen Schnittnutzung bewirkt bei sachgerechter Durchführung eine deutliche Absenkung des Schmutzanteils.

5 Produktionsbedingte Kontaminanten und Rückstände

5.1 Mykotoxine

Bei den Mykotoxinen handelt es sich um sekundäre Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen. Insgesamt sind heute über 300 verschiedene Mykotoxine bekannt, die von über 250 Pilzarten und –stämmen im Labor oder unter Feldbedingungen gebildet werden können (LfE, 2004). Nach heutigem Kenntnisstand ist davon allerdings nur ein geringer Teil von praktischer Bedeutung und kann auf den menschlichen und tierischen Organismus schädigende Wirkungen entfalten (sog. Mykotoxikose). Allerdings ist bei Mykotoxinen aus lebensmitteltoxikologischer Sicht die Spanne zwischen tatsächlicher und tolerierbarer Aufnahme nur gering. Mögliche Mykotoxinkontaminationen sollten daher mit besonderer Sorgfalt ausgeschlossen werden (HAMSCHER, 2005). Relevante Mykotoxine sind Aflatoxine, Fusarientoxine (Trichothecene, Fumonisine, Zearalenon), Ochratoxin A (OTA) und Patulin. Als Leit-Mykotoxine werden **Deoxynivalenol (DON)** und **Zearalenon (ZEA)** angesehen.

Mykotoxine können bei Menschen und Tieren

- karzinogen wirken, insbesondere die Aflatoxine auf Nüssen
- das zentrale Nervensystem schädigen
- das Immunsystem schädigen
- das Erbgut schädigen
- Organschäden (z. B. an Leber oder Niere) verursachen
- enzymatische Stoffwechselprozesse hemmen oder einleiten, z. B. unspezifisch suchtfördernd oder appetithemmend, weil Mykotoxine im Darm in direkter Nachbarschaft zum Zentralnervensystem wirken, chronische Erkrankungen differentialdiagnostiziert, zeigen diesen Zusammenhang.
- Das Pilzgift Zearalenon (ZEA) kann eine östrogene Wirkung entfalten und die hormonelle Steuerung beeinflussen. In Sauenherden kann ZEA zu verminderten Wurfgrößen und vermehrtem Umrauschen führen.

Bei den Mykotoxinen besteht in der menschlichen Ernährung weniger die Gefahr in einer akuten Vergiftung als in der kontinuierlichen Aufnahme geringer Mengen, weshalb nach dem Prinzip des vorbeugenden Verbraucherschutzes auf das niedrigste, technisch erreichbare Niveau zu senken ist (ALARA-Prinzip = as low as reasonably achievable) (MAHNKE-PLESKER, S. & G. LACH, 2005).

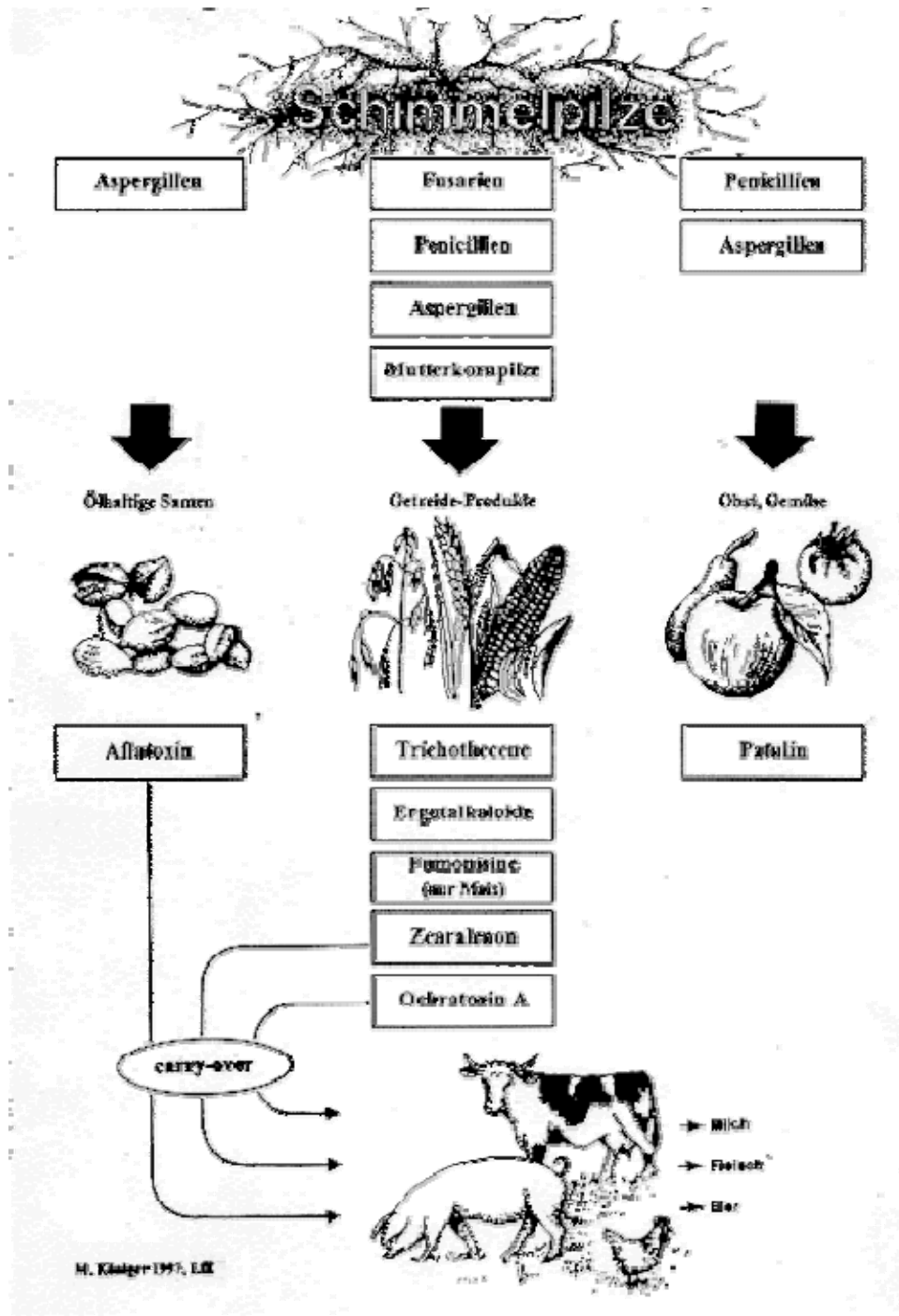


Abb. 2: Mykotoxintransfer in pflanzliche und tierische Lebens- und Futtermittel (LfE, 2004)

Mykotoxine können auf unterschiedlichen Wegen in Lebensmittel gelangen (vgl. Abb. 2). Beim Anbau von Nahrungs- und Futterpflanzen kann es zu Primärkontaminationen kommen. Dabei wird zwischen Feldpilzen, durch die Mykotoxine im stehenden Bestand gebildet werden, und Lagerpilzen, die zu Mykotoxinrückständen in eingelagerten Ernteprodukten führen, unterschieden.

Wenn mykotoxinbelastete Futtermittel an Nutztiere verfüttert werden, können nachfolgend auch tierische Erzeugnisse mit Mykotoxinen verunreinigt werden („carry over“). Sekundärkontaminationen entstehen durch unsachgemäße Lagerung und das Verschimmeln von Lebensmitteln.

Aflatoxinrückstände finden sich vor allem bei ölhaltigen Samen. Von den verschiedenen Aflatoxinen ist das Aflatoxin B₁ die toxische Substanz und kann schwere Leberschäden verursachen.

Bei den Fusarientoxinen handelt es sich um Feldpilze, die bei feuchten Witterungsverhältnissen im stehenden Getreidebestand gebildet werden. Zu den Fusarientoxinen gehören eine Reihe von Giften wie das besonders toxische T-2 Toxin, Diacetoxyscirpenol, Nivalenol, Deoxynivalenol (DON) und Zearalenone (ZEA).

Ochratoxin A (OTA) wird erst durch Lagerpilze nach der Ernte gebildet, wenn die Lagerbedingungen ungünstig sind.

Bei Patulin handelt es sich um ein Mykotoxin, das auf Obst und in Obstsäften (z.B. Apfelsaft) vorkommt. Im Gegensatz zu den übrigen Mykotoxinen wird es als toxikologisch weniger relevant angesehen.

Tab. 3: Maßnahmen zur Vermeidung von Mykotoxinen (nach WYSS, 2003)

Feldpilze		
	Ursache	Maßnahmen
Witterung	Regenfälle während der Blüte	Keine Gegenmaßnahmen möglich.
Bestandesführung	Zu dichte Bestände fördern die Ähreninfektion mit Fusarienpilzen	Anzustreben ist ein gleichmäßig schließender Bestand; die im Biolandbau wegen der mechanischen Unkrautregulierung leicht erhöhte Saatmenge sollte 10% nicht überschreiten.
Fruchtfolge	Verbreitung der Erreger abhängig von der Vorfrucht. Körnermais ist die schlechteste Vorfrucht, da das langsam verrottende Stroh Überlebensort für Fusarien und andere Pilze ist. Die Weiterverbreitung erfolgt im folgenden Jahr über Regenspritzer.	Ausgewogene Fruchtfolge. Getreide und Mais sich weniger häufig folgen lassen, kein Körnermais vor Getreide, andere Hackfrüchte einfügen.
Ernte	Unsorgfältiges Ernten führt zu Beschädigungen der Körner	Mähdrescher optimal einstellen.
	Dreschen bei zu hoher Feuchtigkeit.	Getreide vor Drusch gut abtrocknen lassen. Bei einer Feuchtigkeit über 14% ist eine Trocknung erforderlich.
	Überreifes Getreide kann Mykotoxine an benachbarte Rauhfutterparzellen abgeben.	Getreide ernten, sobald es reif ist.

Tab. 2 (fortgesetzt)

Lagerpilze		
	Ursache	Maßnahmen
Körnerlagerung	<p>Förderung des Pilzwachstums durch:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Ungenügende Trocknung der Rohware vor der Einlagerung • Temperaturgradienten, z.B. höhere Korntemperatur im oberen Teil des Silos, kann zu Feuchtigkeitsverschleppung führen • Insektenbefall <p>Deutliche Zunahme von DON und OTA bei</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kornfeuchten von 17 bis 20% • Lagertemperaturen ab 18° 	<ul style="list-style-type: none"> • Einwandfreie Trocknungsanlagen • Erntegut nur trocken einlagern (max. 14% Feuchte; wenn nötig, sofort und zügig nachtrocknen; Kondenswasserbildung vermeiden) • Tiefe Lagertemperatur anstreben (optimal unter 17°) • Gute Reinigung der Vorratslager • Richtlinienkonforme Bekämpfung von Vorratsschädlingen
Ausmahlung		Entfernung der äußeren Kornschicht reduziert DON-Belastung um 50%.
Verarbeitung		<ul style="list-style-type: none"> • Wind- oder Siebreinigung können befallene Körner aus der Ernteprobe entfernen • Hydrothermische Behandlung der Rohwaren. Der Gehalt an OTA kann so bei Weizen vermindert werden. DON hingegen ist sehr stabil

5.2 Tierarzneimittel

Ein Medikamenteneinsatz bei Nutztieren ist wegen der möglichen Ausbildung bakterieller Multiresistenzen gegenüber Antibiotika und möglicher toxikologischer Risiken nicht unkritisch. In jüngerer Zeit wurde zudem verstärkt über Umweltprobleme, die aus dem Einsatz von Antibiotika resultieren, berichtet (KTBL, 2005). Antibiotika gelangen im Stall über die Ausscheidungen der Tiere in wirtschaftseigene Düngemittel. Für Tetracycline wurde nach der Ausbringung von Gülle eine Anreicherung im Boden nachgewiesen, während Sulfonamide ins Grundwasser ausgetragen werden (HAMSCHEER et al., 2003).

Auch in ökologisch wirtschaftenden Betrieben kommen Antibiotika, Antiparasitika und weitere Tierarzneimittel zum Einsatz, wenn Tiere erkranken. Zunächst gilt jedoch, dass die Tiergesundheit durch vorbeugende Maßnahmen wie die Wahl geeigneter Rassen, eine artgerechte Haltung und die Verwendung hochwertiger Futtermittel sichergestellt werden muss. Die Tiergesundheit in Öko-Betrieben hängt entscheidend von den Kenntnissen und Fertigkeiten des Tierhalters ab. SUNDRUM (2004) geht davon aus, dass dieser Managementeinfluss wesentlich bedeutsamer als die Haltungsform (konventionell/ökologisch) ist.

Arzneimittel dürfen in der ökologischen Tierhaltung dann eingesetzt werden, wenn diese zugelassen sind und in Anhang I, II oder III der Verordnung (EWG) Nr. 2377/90 (vgl. Kap. 3.1) aufgenommen sind. Diese Verordnung teilt zugelassene Tierarzneimittel ein in Medikamente ohne und mit Höchstmengenbegrenzung in tierischen Produkten, sowie Medikamente, die für Lebensmittel liefernde Tiere verboten sind. Tierarzneimittel mit Höchstmengenfestsetzung lassen sich den folgenden sechs Stoffgruppen zuordnen: Antiinfektiva, Antiparasitika, auf das Nervensystem wirkende Mittel, Antiphlogistika, Corticoide und auf den Geschlechtsapparat wirkende Medikamente.

Regelungen in der Verordnung (EWG) Nr. 2092/91

Dem Einsatz von Tierarzneimitteln in der ökologischen Tierhaltung wird durch die Verordnung (EWG) Nr. 2092/91 (EU-ÖkoVO) ein strenger gesetzlicher Rahmen gesetzt. Er wird in Anhang I Teil B dieser Verordnung geregelt. Ein vorbeugender Einsatz chemisch-synthetischer allopathischer Medikamente ist verboten.

Wachstums- und Leistungsförderer wie Avilamycin, Flavophospholipol, Monensin und Salinomycin, die in der konventionellen Tierhaltung noch bis 2006 eingesetzt werden dürfen, sind in der ökologischen Tierhaltung nicht zulässig. Ein Einsatz von Hormonen zur Brunstsynchronisation ist untersagt. Coccidiostatika dürfen nicht verabreicht werden.

In der ökologischen Tierhaltung ist nach dem Einsatz allopathischer Medikamente die doppelte Wartezeit einzuhalten. Wenn keine Wartezeit angegeben wird, müssen mindestens 48 Stunden verstreichen, bevor wieder Produkte geliefert werden dürfen.

Behandlung mit Antibiotika und Antiparasitika

In der Veterinärmedizin werden Antibiotika und Antiparasitika am häufigsten eingesetzt. Bei einer Verwendung von Antibiotika können neben Rückständen Resistenzen bei bakteriellen Krankheitserregern induziert werden. Aus diesem Grund muss ihr Einsatz auf das unbedingt notwendige Maß beschränkt werden. Hierbei sind die „Leitlinien für den sorgfältigen Umgang mit antimikrobiell wirksamen Tierarzneimitteln“ (BFT, 1999) einzuhalten (KTBL, 2005).

β -Lactam-Antibiotika (Penicilline, Cephalosporine) sind zwar toxikologisch als eher unproblematisch einzustufen, können aber im Einzelfall Allergiker erheblich gefährden. Tetracycline werden in der Praxis sehr häufig eingesetzt und müssen hinsichtlich ihrer Persistenz und toxikologischen Eigenschaften eher zu den problematischen Wirkstoffen gezählt werden. Bei einem Einsatz von Aminoglykosid-Antibiotika (z.B. Spektinomycin, Gentamycin, Streptomycin) müssen wegen der hohen toxischen Potenz lange Wartezeiten eingehalten werden (KIETZMANN, 2003).

Der Sulfonamideinsatz sollte wegen der ungünstigen Resistenzlage so weit wie möglich reduziert werden. Auch bei den häufig verwendeten Wirkstoffen der Fluochinole (z.B. Danofloxain) sollte streng auf die Indikation geachtet werden, da diese Wirkstoffe auch in der Humanmedizin stark verwendet werden.

Makrolide (z.B. Tylosin, Spiramycin), Linosamide und Ansamycine sowie Poypetid-Antibiotika (z.B. Polymyxine, Bacitracin) gelten dagegen als toxikologisch eher unbedenklich.

Antiparasitika werden oft bestandesweise eingesetzt. Oft müssen lange Wartezeiten eingehalten werden. Als eher unproblematisch gelten die Wirkstoffgruppen der Tetrahydropyrimidine (z.B. Pyrantel, Morantel) und der Imidazothiazole (z.B. Tetramisol, Levamisol). Avermectine und Milbemycine (z.B. Ivermectin, Doramectin, Abamectin, Moxidectin) reichern sich dagegen in tierischen Fettgeweben und in der Leber an. Es müssen sehr lange Wartezeiten eingehalten werden.

Leberegelmittel dürfen bei laktierenden Tieren, also auch bei trockenstehenden Kühen, nicht eingesetzt werden.

Bei wiederkehrenden Problemen hinsichtlich der Tiergesundheit ist es unbedingt empfehlenswert, möglichst frühzeitig die Hilfe qualifizierter Tierärzte oder Berater in Anspruch zu nehmen, um die Ursache des Problems zu klären und beseitigen zu können. Dabei sind vor allem stallklimatische Bedingungen, das Fütterungskonzept und die allgemeine Herdengesundheit zu berücksichtigen. Nicht durch Symptombehandlung sondern durch die Beseitigung krankmachender Ursachen kann Gesundheit und Wohlbefinden der Nutztiere sichergestellt werden und eine an den Grundsätzen des Tierschutzes und des Verbraucherschutzes orientierte ökologische Tierhaltung etabliert werden.

6 Ausblick

Gesetzlich festgelegte Grenzwerte für Rückstände und Kontaminanten dürfen in Öko-Lebens- und Futtermitteln keinesfalls überschritten werden.

Diese Broschüre liefert erste Hinweise zu möglichen Belastungsursachen und den Gegenmaßnahmen. Aufgrund der großen Vielfalt von Einzelproblemen werden auch in Zukunft immer wieder Betriebe vor spezifische Schadstoff-Probleme gestellt sein. Aus diesem Grund ist es dann, wenn konkrete Verdachtsmomente vorliegen, sehr zu empfehlen, die Hilfe qualifizierter Fachberater in Anspruch zu nehmen, eine sachgerechte Ursachenermittlung zu betreiben und geeignete Maßnahmen einzuleiten. Behördliche Stellen sollten erforderlichenfalls in dieses Konzept umfassend einbezogen werden.

7 Literaturverzeichnis

BECK, Th., 1981: Untersuchungen über die toxische Wirkung der in Siedlungsabfällen häufigen Schwermetalle auf die Bodenmikroflora. *Z. Pflanzenern., Bodenk.*, 144, 613-627

BRÜMMER, G. J. GERTH, U. HERMS, 1986: Heavymetal species and availability in soils. *Z. Pflanzenern. Bodenk.*, 176, 382-396.

BRÜNE, H., 1982: Zur Aufnahme von Schwermetallen durch Pflanzen und Möglichkeiten der Reduzierung. 125 Jahre Hess. Landw. Versuchsanstalt, 57-83.

BRUNS-WELLER, E., 2005: Organohalogenkontaminanten in Lebensmitteln: Vorkommen, Aufnahme, Bedeutung. In: Rückstände und Kontaminanten: Risiken und Verbraucherschutz. Akademie für tierärztliche Fortbildung, 5. und 6. September 2005, Hannover.

BUNDESMINISTERIUM FÜR UMWELT, NATURSCHUTZ UND REAKTORSICHERHEIT, 2005: Müllverbrennung – ein Gefahrenherd? Bonn.

BUNDESÄRZTEKAMMER BfT, 1999: Leitlinien für den sorgfältigen Umgang mit antimikrobiell wirksamen Tierarzneimitteln.

Abruf unter: <http://www.uni-leipzig.de/~vetppt/aktuell/ableitli.htm>.

CRÖSSMANN, G. & D. SEIFERT, 1981: Zur klärschlammbedingten Schwermetallbelastung von Böden und Futterpflanzen im Raum Hagen. Ruhrverband, Essen.

CRÖSSMANN, G., 1992: Untersuchungen zum Transfer ausgewählter PAK bei gärtnerischen und landwirtschaftlichen Nutzpflanzen. Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, 133-146.

CVUA, 2004: Öko-Monitoring 2004. Chemisches und Veterinäruntersuchungsamt Stuttgart, http://www.mlr.baden-wuerttemberg.de/cgi/styleguide/content.pl?ARTIKEL_ID=23230

DELSCHEN, T., A. HEMBROCK-HEGER, J. LEISNER-SAABER & D. SOPCZAK, 1999: Verhalten von PAK im System Boden/Pflanze – PAK-Belastung von Kulturpflanzen über den Luft/Bodenpfad. *Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie*, 11, 79-87.

ELSÄSSER, M., N. FELDWISCH, H. NUSSBAUM & O. EHRMANN, 2004:
Maßnahmenkonzept zur verschmutzungsarmen Nutzpflanzenernte. Abschlussbericht zum gleichnamigen LABO-Vorhaben.

FELDWISCH, N., P. GÜNTHER & D. BARKOWSKI, 2003: *Arbeitshilfe zur Untersuchung und Bewertung von altlastverdächtigen Flächen und Verdachtsflächen – Wirkungspfad Boden(-Pflanze)-Tier. Fachbeiträge des Landesumweltamtes Brandenburg, Potsdam. Heft Nr. 81.*

FELDWISCH, N. (2006): *Handlungsempfehlungen zur Gefahrenabwehr bei schädlichen Bodenveränderungen in der Landwirtschaft. Vortrag auf dem BEW-Seminar „Bodenschutz in der Landwirtschaft“ am 23.03.2006 in Essen.*

FIEDLER, H., 2006: *Entstehung, Struktur und Verbreitung von Dioxin. In: Dioxine in der Lebensmittelkette, 34. Seminar Umwelthygiene, Stiftung Tierärztliche Hochschule Hannover, 10. Februar 2006.*

FILIPINSKI, M., M. GRUPE & E. PLUQUET, 1988: *Mobilität geogener und anthropogener Schwermetalle. In: ROSENKRANZ, D., G. EINSELE & H.-M. HARRESS: Bodenschutz, Erich Schmidt Verlag, Berlin.*

FLIEGNER, M. & P. REINIRKENS, 1993: *Vorliegende Referenzwerte für PAK in Böden Nordrhein-Westfalens. Bodenschutzzentrum Nordrhein-Westfalen, Oberhausen.*

FLEIGE, H. & R. HINDEL, 1988: *Geogene Grundgehalte von Schwermetallen in Böden. In: ROSENKRANZ, D., G. EINSELE & H.-M. HARRESS: Bodenschutz, Erich Schmidt Verlag, Berlin.*

FLEISCHMANN, S. & B.M. WILKE, 1991: *Paks in Straßenböden. Mitteilgn. Dt. Bodenkundl. Ges., 63, 99-102.*

GÄTH, S., M. STERNHEIM & H.G. FREDE, 1990: *Einfluß des Kraftfahrzeugverkehrs auf den Schwermetallgehalt von Straßenabflußwasser. Forum Städte-Hygiene, 41, 235-238.*

HAMSCHER, G., H. T. PAWELZICK, H. HÖPER, H. NAU, 2003:
Tierarzneimittelrückstände in Wirtschaftsdüngern, Boden, Sicker- und Grundwasser. In: Spurenstoffe in Gewässern: Pharmazeutische Reststoffe und endokrin wirksame Substanzen. VCH-Verlag, Weinheim.

- HAMSCHER, G., 2005: Rückstände und Kontaminanten in konventionell und ökologisch erzeugten Lebensmitteln: Gibt es produktionsbedingte Unterschiede? In: *Workshop: Konventionelle und ökologische Lebensmittel: ein Vergleich. Heinrich-Stockmeyer-Stiftung, Werkstattberichte, 11, 29 – 41.*
- HAPKE, H.-J., 1982: Schwermetalle in der Nahrungskette-Belastungsgrenzen für Mensch und Tier. *Landw. Forsch., SH 39, 1-11.*
- HELLMANN, H., 1993: Hochflutablagerungen und ihre Schwermetallbelastung — Beispiel Neckar. *Wasser + Boden, 804-823.*
- HEMBROCK-HEGER, A., A. ROTHKRANZ, & M. WILKENS, 1992: Untersuchungen zur Istbelastung von Böden und Nutzpflanzen mit PAK und PCB. *Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, 7, 147-172.*
- HESS, J., A. PIORR, K. SCHMIDTKE, 1992: Grundwasserschonende Landbewirtschaftung durch Ökologischen Landbau? *Veröff. Inst. Wasserf u. Stadtwerke Dortmund, 45, Dortmund.*
- HOLSTER, A. & H. MARSCHNER, 1992: Transfer von Dioxinen aus unterschiedlich stark dioxinbelasteten Böden in Nahrungs- und Futterpflanzen. *Abschlußbericht BMFT-Projekt 0339353A.*
- KARALLUS, W., 1992: Kupfer im ökologischen Kartoffelbau wieder zulassen? *bioland, 2/92, 29-30.*
- KIETZMANN, M., 2003: Rückstände von Stoffen mit pharmakologischer Wirkung. In: *Lebensmitteltoxikologie. Parey Buchverlag, Berlin.*
- KÖNIG, W. & F. KRÄMER, 1985: Schwermetallbelastung von Böden und Kulturpflanzen in Nordrhein-Westfalen. *Schriftenreihe der Landesanstalt für Ökologie, Landschaftsentwicklung und Forstplanung Nordrhein-Westfalen, 10, Recklinghausen.*
- KÖNIG, W., 1986: Ursachen und Einflußfaktoren für die Schwermetallgehalte von Böden und Kulturpflanzen. *Forschung und Beratung, Reihe C, 43, Münster-Hiltrup.*
- KÖSTER, W. & D. MERKEL, 1985: Schwermetalluntersuchungen landwirtschaftlich genutzter Böden und Pflanzen in Niedersachsen. *LUFÄ, Hameln.*
- KOLBE, H., 2001 *Anleitung zur P-, K-, Mg- und Kalk-Düngung im ökologischen Landbau. SÖL-Berater-Rundbrief, 3, 3-9.*

KTBL KURATORIUM FÜR TECHNIK UND BAUWESEN IN DER LANDWIRTSCHAFT, 2005: Schwermetalle und Tierarzneimittel in Wirtschaftsdüngern. KTBL-Schrift 435. Darmstadt.

LANGERBEIN, R., 2005: persönliche Mitteilung. Bioland_Bundesverband, Fachstelle Qualitätssicherung, Mainz.

LEOPOLD, J., 2003: Beschreibung der Guten Fachlichen Praxis (GFP) in der Erzeugung von Bio-Lebensmitteln, Darmstadt

LfE BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR ERNÄHRUNG; 2004: Mykotoxine. München.

LfL SÄCHSISCHE LANDESANSTALT FÜR LANDWIRTSCHAFT, 2006 Hinweise und Empfehlungen zum Umgang mit arsen- und schwermetallbelasteten landwirtschaftlich und gärtnerisch genutzten Böden. Faltblatt 84. Dresden

LFU LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ, 1992: Dioxine in Böden Baden-Württembergs. Karlsruhe.

LFU LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ, 1998: Literaturstudie zum Transfer von organischen Schadstoffen im System Boden/Pflanze und Boden/Sickerwasser. Karlsruhe.

LFU LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ, 2001: Dioxinfall Crailsheim-Maulach, Karlsruhe.

LUA LANDESUMWELTAMT NORDRHEIN-WESTFALEN, 2006: Handlungsempfehlungen zu Maßnahmen der Gefahrenabwehr bei schädlichen stofflichen Veränderungen in der Landwirtschaft. Merkblatt 55. Essen.

LITZ, N., 1992: Verhalten von Umweltchemikalien in Böden - Bewertungsverfahren für die Umweltplanung. Z. Pflanzenern. Bodenk., 156, 203-208.

MAHNKE-PLESKER, S. & G. LACH, 2005: Qualitätssicherung von Öko-Lebens-mitteln. Behr's Verlag, Hamburg.

OFFENBÄCHER, G. & H. POLETSCHNY,, 1992: PCB in durch Siedlungsabfälle beeinflussten Böden und Transfer von PCB in die Pflanze. Materialien zur Ermittlung und Sanierung von Altlasten, 7, 71-132.

REINHARD, C. & I. WOLFF, 1986: Rückstände an Pflanzenschutzmitteln bei alternativ und konventionell angebautem Obst und Gemüse. *BIOLAND* 2, 1986, 14-17

SCHNEIDER, F.K., 1982: Untersuchungen über den Gehalt an Blei und anderen Schwermetallen in den Böden und Halden des Raumes Stolberg (Rheinland). *Geol. Jahrbuch*, 53.

SLOTTA, L., 1983: Gemeinsamkeiten im Metallerzbergbau auf dem Boden der Bundesrepublik. *Technische Denkmäler in der Bundesrepublik Deutschland*, Deutsches Bergbau-Museum, Bochum.

SPÄTE, A., T. DELSCHEN & B. KRÄLING, 1992: Untersuchungen zum Cadmium-Transfer in Leinsamen aus Böden der Grundbelastung. *Landw. Forsch.*, 45, 65-68.

STOLZ, P., A. WEBER & J. STRUBE, 2003: Analytik und Bewertung der Untersuchungsergebnisse zu Pestiziden in Lebensmitteln. Vortrag auf der Grünen Woche am 24. Januar 2003 auf einem BÖLW-Kolloquium zum Tag des Ökologischen Landbaus, www.boelw.de.

SUNDRUM, A., 2004: Statusbericht zum Stand des Wissens über die Tiergesundheit in der ökologischen Tierhaltung – Schlussfolgerungen und Handlungsoptionen für die Agrarpolitik. *Schlußbericht BÖL-Projekt 03OE672*.

TERNES, W., 2005: Eine neue Schadstoffklasse: Polybromierte Diphenylether. In: *Rückstände und Kontaminanten: Risiken und Verbraucherschutz*. Akademie für tierärztliche Fortbildung, 5. und 6. September 2005, Hannover.

UMWELTBUNDESAMT, 1993: Untersuchungen über mögliche Quellen der polychlorierten Dibenzodioxine und Dibenzofurane in Klärschlämmen. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

VDI VERBAND DEUTSCHER INGENIEURE, 1984: Ermittlung, Bewertung und Beurteilung der Emissionen und Immissionen umweltgefährdender Schwermetalle und weiterer persistenter Stoffe. Umweltbundesamt, Berlin.

WYSS, G., 2003: Mykotoxine im Getreide – Wie vermeiden? *FIBL-Merkblatt*, Frick.

WOLFF, T., 1994: Toxikologie der Holzschutzmittel - Kenntnisstand und ungelöste Probleme. In: Mücke, W., 1994: Holzschutzmittel - Toxikologie und Technik. - Kongreßband der Projektgruppe "Umwelt und Gesundheit" des Instituts für Toxikologie und Umwelthygiene der Technischen Universität München