
Bodenbelastungsgebiet Dornach

(Gemeinden Dornach, Aesch, Arlesheim, Reinach)

Zusatzuntersuchungen (Projekt P3)

Synthesebericht

Öffentliche Fassung



Bau- und Umweltdirektion
Kanton Basel-Landschaft

Amt für Umweltschutz und Energie

SWISSMETAL[®]
UMS Schweizerische Metallwerke AG

 **KANTON** ***solothurn***



Amt für Umwelt

Impressum

Auftraggeber

Bau- und Justizdepartement des Kantons Solothurn,
vertreten durch das Amt für Umwelt
in Zusammenarbeit mit der Bau- und Umweltschutzdirektion des Kantons Basel-Landschaft
und der SWISSMETAL – UMS Schweizerische Metallwerke AG.

Projektleitung

Franz Borer, Amt für Umwelt, Solothurn (Vorsitz)
Roland Bono, Amt für Umweltschutz und Energie, Liestal
Mireille Battaglia, SWISSMETAL, Dornach (bis Ende 2004)
Martin Heuschkel, SWISSMETAL, Dornach (ab Anfang 2005)

Auftragnehmer

- Modul A Boden- und Pflanzenprobenahmen, Auswertungen, Gefährdungsabschätzung, GIS
Projektgemeinschaft Wanner AG, Winterthur / BABU GmbH, Zürich
Teilprojektverantwortlicher: Achim Kayser
- Modul B Laborarbeiten A (Bodenanalytik)
ENVILAB AG, Zofingen (früher Holinger AG, Aarau)
Teilprojektverantwortlicher: Ivan Beranek
- Laborarbeiten B (Bodenanalytik)
Umweltanalytik Kanton Basel-Landschaft, Liestal
Teilprojektverantwortlicher: Rainer Bachmann
- Laborarbeiten C (Pflanzenanalytik)
Kantonales Laboratorium Basel-Landschaft, Liestal
Teilprojektverantwortlicher: Peter Wenk
- Modul C Qualitätssicherung
Ernst Basler + Partner AG, Zollikon
Teilprojektverantwortlicher: Tino Reinecke
- Modul D Geostatistik
ETH Zürich, Inst. für terrestrische Ökologie, Fachbereich Bodenphysik, Schlieren
Teilprojektverantwortlicher: Andreas Papritz
- Modul Gefährdungsmodellierung
CARO Umwelttechnik AG, Sursee
Teilprojektverantwortlicher: Markus Jauslin

Projektbegleitung

Rainer Schulin, Professor für Bodenschutz, ETH Zürich, ITOe, Schlieren
Johannes Dettwiler, BUWAL, Sektion Boden, Bern

Berichtverfasser

Achim Kayser, Jiri Presler, Reto Meuli, Jeanne Kägi
Projektgemeinschaft Wanner-BABU
Wanner AG, Zürcherstrasse 41, 8400 Winterthur
BABU GmbH, Rautistrasse 13, 8049 Zürich

Herausgeber, Bezugsquelle, Copyright

Amt für Umwelt des Kantons Solothurn
Greibenhof
Werkhofstrasse 5
4509 Solothurn

Schutzgebühr Fr. 20.--
Solothurn 2006

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassung	11
1 Einleitung.....	15
1.1 Allgemeines.....	15
1.2 Anlass.....	15
1.3 Gesetzlicher Auftrag.....	16
2 Zielsetzung.....	19
2.1 Untersuchungsziele.....	19
3 Vorgehen.....	23
3.1 Projektorganisation.....	23
3.2 Allgemeine Vorgehensweise.....	25
3.3 Retrospektive Karten- und Luftbildauswertung.....	26
3.4 Vereinfachte Bodenansprache.....	27
3.5 Abgrenzung der Belastung	27
3.5.1 Probenahmeplan.....	29
3.5.2 Probenahme.....	29
3.5.3 Analytik.....	30
3.5.4 Geostatistik.....	30
3.5.5 Klassierung der Parzellen.....	34
3.6 Abklärung der Gefährdungssituation	36
3.6.1 Vorabklärungen.....	36
3.6.2 Anbauversuche und Gemüsebeprobung.....	36
3.6.3 Direkte Bodenaufnahme.....	37
3.6.4 Kompostuntersuchungen.....	38
3.6.5 Gefährdungsmodellierung.....	38
3.6.6 Gefährdungsbeurteilung.....	42
3.6.7 Probenahme.....	44
3.6.8 Analytik.....	45
3.7 Qualitätssicherung	45
4 Ergebnisse.....	49
4.1 Nutzungsentwicklung.....	49
4.2 Vereinfachte Bodenansprache.....	49
4.3 Analyse der Bodenbelastung	51
4.3.1 Totalgehalte.....	52
4.3.2 Räumliches Verteilungsmuster der Messwerte.....	55
4.3.3 Vorhersage der Parzellenmittelwerte.....	57
4.3.4 Zonenzuordnung.....	58
4.4 Gefährdungsabschätzung.....	59
4.4.1 Gefährdungsanalyse.....	59
4.4.2 Gefährdungsmodellierung.....	64
4.4.3 Gefährdungsbeurteilung.....	74
4.5 Qualitätssicherung.....	78

	Seite
5 Ausblick.....	81
6 Literatur.....	85
6.1 Berichte Projekt Zusatzuntersuchungen P3.....	85
6.2 Sonstige Literatur.....	86
7 Glossar.....	93

Anhang

- A1-1 Retrospektive Nutzungsentwicklung
- A1-2 Regressionsanalysen Boden-Kompost

Abbildungsverzeichnis

	Seite
Abbildung 1	Richt,- Prüf- und Sanierungswert gemäss VBBo..... 16
Abbildung 2	Projektorganisation..... 23
Abbildung 3	Zeitliche Gliederung der wichtigsten Projektarbeiten..... 26
Abbildung 4	Schematische Vorgehensweise der konditionalen Simulation..... 31
Abbildung 5	Die wichtigsten Schritte der konditionalen Simulation..... 33
Abbildung 6	Funktion der Qualitätssicherung (QS)..... 46
Abbildung 7	Anteil an Fremdbestandteilen..... 50
Abbildung 8	Bodentypen..... 50
Abbildung 9	Säuregrad im obersten organomineralischen Horizont..... 51
Abbildung 10	Korrelation zwischen den Totalgehalten..... 52
Abbildung 11	Distanzabhängigkeit der Metallbelastung..... 53
Abbildung 12	Räumliche Verteilung der Messwerte für den Kupfer-Totalgehalt..... 55
Abbildung 13	Räumliche Verteilung der Messwerte für den Zink-Totalgehalt..... 56
Abbildung 14	Räumliche Verteilung der Messwerte für den Cadmium-Totalgehalt..... 56
Abbildung 15	Cadmium-Totalgehalte im Boden..... 60
Abbildung 16	Kupfer-Totalgehalte im Boden..... 60
Abbildung 17	Cadmium in Gemüse und Obst..... 61
Abbildung 18	Kupfergehalte in Kompostproben von 22 Parzellen..... 63
Abbildung 19	Regressionsanalyse Boden–Kompost für Cadmium..... 64
Abbildung 20	Tägliche Cadmium-Aufnahmerate für Erwachsene. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3)" 66
Abbildung 21	Tägliche Cadmium-Aufnahmerate für Erwachsene. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3, ergänzt)" 67
Abbildung 22	Tägliche Cadmium-Aufnahmerate für Jugendliche. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3, ergänzt)" 67
Abbildung 23	Tägliche Cadmium-Aufnahmerate für Kinder. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3, ergänzt)" 67
Abbildung 24	Tägliche Cadmium-Aufnahmerate für Kleinkinder. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3, ergänzt)" 68
Abbildung 25	Tägliche Cadmium-Aufnahmerate für Kleinkinder. Szenario "Doppelte Pflanzenkonzentration" 69
Abbildung 26	Orale Bodenaufnahme durch Kleinkinder. Szenario "Ist-Zustand" 70
Abbildung 27	Orale Bodenaufnahme durch Kleinkinder. Szenario "Worst Case" 70
Abbildung 28	Totale orale Cd-Aufnahme über die Aufnahmepfade Boden-Pflanze-Mensch und Boden-Mensch durch Kleinkinder..... 71
Abbildung 29	Belastung von Futterpflanzen nach Belastungsbereichen mit erdiger Verunreinigung von 0–15%. Szenario "Grünfutter" 73
Abbildung 30	Belastung von Futterpflanzen nach Belastungsbereichen mit erdiger Verunreinigung von 0–30%. Szenario "Weidegang" 74

Tabellenverzeichnis

	Seite
Tabelle 1	Aufgabenschwerpunkte der Projektmodule24
Tabelle 2	Anzahl der im Projekt P3 entnommenen Bodenproben und beprobten Parzellen nach Gemeinden.....27
Tabelle 3	Definition der verwendeten Bodenbelastungswerte28
Tabelle 4	Definition der Belastungsstufen.....28
Tabelle 5	Klassen für die Berechnung der wichtigsten Szenarien des Aufnahmepfads Boden-Nahrungspflanze-Mensch.....40
Tabelle 6	Wichtigste Klassen und Parameter des Aufnahmepfads Boden-Mensch.....41
Tabelle 7	Wichtigste Klassen und Parameter des Aufnahmepfads Boden-Futterpflanze-Tier.....41
Tabelle 8	Gefährdungskategorien für den Nahrungspflanzenanbau gemäss Handbuch Gefährdungsabschätzung (BUWAL 2005).....42
Tabelle 9	Gefährdungskategorien für Futterpflanzenanbau gemäss Handbuch Gefährdungsabschätzung (BUWAL 2005).....43
Tabelle 10	FMBV-Höchstgehalte, Schwellenwerte (nach Kessler) und kritische Werte für Tierfutter (nach Blume) für Kupfer.....44
Tabelle 11	Anzahl der Messwerte pro Belastungsstufe (Totalgehalte).....53
Tabelle 12	Anzahl Messwerte pro Belastungsstufe für die Totalgehalte zweier Schwermetalle.....54
Tabelle 13	Anzahl und Fläche der Parzellen nach Belastungsstufen.....58
Tabelle 14	Auswahl gemessener Maximalkonzentrationen im Projekt P3 und „normale“ Gehalte unbelasteter Gemüse sowie Futtergras.....62
Tabelle 15	Anteil der Gemüsesorten an der Gesamtfracht an Cadmium.....65
Tabelle 16	Ermittlung der Gefährdungskategorie.....75
Tabelle 17	Ermittlung der Gefährdungskategorie für Futtergras.....77

Abkürzungen

AfU	Amt für Umwelt (Kanton Solothurn)
AG	Ausschöpfungsgrad
AUE	Amt für Umwelt und Energie (Kanton Basel-Landschaft)
BAG	Bundesamt für Gesundheit
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (heute Bundesamt für Umwelt)
BW	Körpergewicht (body weight)
Cd	Cadmium
Cd _{tot}	Cadmiumgehalt im 2 M HNO ₃ -Auszug gemäss VBBo („Totalgehalt“) auch CD_T
c	Konzentration
cp	Pflanzenkonzentration
cs	Bodenkonzentration
Cu	Kupfer
Cu _{tot}	Kupfergehalt im 2 M HNO ₃ -Auszug gemäss VBBo („Totalgehalt“) – auch CU_T
d	Tag
DIR	tägliche, körperlgeichtsbezogene Schadstoffdosis
Eav	Selbstversorgungsgrad
EPA	Umweltschutzbehörde der USA
FG	Frischgewicht
FIV	Verordnung über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln
FMBV	Futtermittelbuchverordnung
GIS	Geografisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
HB	Handbuch
HNO ₃	Salpetersäure
IZB	Interner Zwischenbericht (aus Datenschutzgründen nicht öffentlich zugänglich)
M	Molarität der Extraktionslösung (z.B. 0.1 M)
NaNO ₃	Natriumnitrat
PL	Projektleitung
PW	Prüfwert nach VBBo (auch PW _A , PW _B , siehe Tabelle 3)
PQM	Prozessorientiertes Qualitätsmanagement
QM	Qualitätsmanagement
QS	Qualitätssicherung
REF	Referenzwert
RI	Risikoindex
RW	Richtwert nach VBBo
SW	Sanierungswert nach VBBo
SWISSMETAL	SWISSMETAL – UMS Schweizerische Metallwerke AG
TG	Trockengewicht
TS	Trockensubstanz
TVA	Technische Verordnung über Abfälle
UBA	Umweltbundesamt Deutschland
VBBo	Verordnung über Belastungen des Bodens
WHO	World Health Organization
Zn	Zink
Zn _{tot}	Zinkgehalt im 2 M HNO ₃ -Auszug gemäss VBBo („Totalgehalt“) – auch ZN_T

Vorwort

Ein Gebiet von rund 6 Quadratkilometern Fläche in den vier Gemeinden Dornach, Aesch, Arlesheim und Reinach war während etlicher Jahrzehnte der Abluft aus dem Metallwerk Dornach, der heutigen SWISSMETAL -UMS Schweizerische Metallwerke AG, ausgesetzt. Diese Schwermetallimmissionen führten zu einer die Hintergrundwerte deutlich übersteigenden zusätzlichen Schadstoffbelastung der Böden. Mit dem Einbau der Filteranlagen in den siebziger Jahren sind die Emissionen aus dieser Quelle auf einen Bruchteil des Grenzwerts der Luftreinhalteverordnung zurückgegangen.

Das genaue Ausmass der Schadstoffbelastung der Böden war jedoch weiterhin nicht bekannt, weshalb aufgrund der heute geltenden gesetzlichen Vorgaben das genaue Ausmass der Schadstoffbelastung der Böden zu untersuchen war.

Erste Untersuchungen zu den Böden in diesem Belastungsgebiet gehen zurück auf Mitte der 80-er Jahre des letzten Jahrhunderts. Aber erst die 1998 in Kraft gesetzten detaillierteren Vorschriften des Bundes zum Schutz der Böden ermöglichten intensivere Abklärungen durch die Umweltbehörden der beiden involvierten Kantone Solothurn und Basel-Landschaft. Anfang 2003 haben sich die SWISSMETAL – UMS Schweizerische Metallwerke AG und die beiden Kantone über das weitere Vorgehen geeinigt und die nun vorliegenden Zusatzuntersuchungen in Angriff genommen. Ziel war es, das genaue Ausmass der Belastung der Böden zu erkennen und räumlich abzugrenzen sowie die Grundlagen für die nötigen Massnahmen zur Abwehr von Gefährdungen für Mensch und Umwelt bereitzustellen.

Der vorliegende Synthesebericht ist das Ergebnis von zwei Jahren intensiver Arbeit und sorgfältiger Abklärungen durch die beteiligten Auftragnehmer und Behördenvertreter. Er bildet die Grundlage für die Anordnung behördlicher Empfehlungen, Einschränkungen oder Verbote im Zusammenhang mit der Nutzung belasteter Böden, wie dies in der Gesetzgebung vorgesehen ist.

Es obliegt nun den Umweltbehörden der beiden betroffenen Kantone, wo dies notwendig ist, Massnahmen zum Schutz von Menschen, Tieren und Pflanzen im Sinne der Vorsorge und der Gefahrenabwehr zu formulieren. Dies soll in den nächsten Monaten geschehen und ab 2006 in Zusammenarbeit mit der betroffenen Bevölkerung und den kommunalen Behörden umgesetzt werden.

Die Projektleitung

Zusammenfassung

Das Gebiet von Dornach (SO) und seiner Baselbieter Nachbargemeinden Aesch, Arlesheim und Reinach war bis in die siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts starken schwermetallhaltigen industriellen Staub-Immissionen ausgesetzt. Diese führten zusammen mit weiteren möglichen Quellen zu einer grossflächigen Belastung der Böden und – damit verbunden – zu einem potentiellen Risiko für Mensch und Umwelt.

Im Rahmen des Projektes *Zusatzuntersuchungen P3* wurde die Bodenbelastung eingehend untersucht. Das Projekt verfolgte zwei übergeordnete Ziele:

- *Abgrenzung*: Unterteilung des Untersuchungsperimeters in *Richtwert-, Prüfwert- und Sanierungswertzonen* basierend auf den entsprechenden Bodenbelastungswerten der VBBo.
- *Gefährdungsabschätzung*: Klärung der Gefährdungssituation von Menschen, Tieren und Pflanzen im Bereich der *Prüfwertzone*.

Zur Erreichung dieser Ziele wurde auf der Basis älterer Untersuchungen vier Probenahmekampagnen durchgeführt und insgesamt 606 Boden-, 177 Pflanzen- und 28 Kompostproben entnommen. Bei der Auswertung der Bodendaten kamen geostatistische Methoden zum Einsatz. Ein grosser Teil der Pflanzenproben entstammte eigens durchgeführten repräsentativen Anbauversuchen.

Die Abgrenzung der verschiedenen Belastungszonen erfolgte nach einem hierarchischen Regelsatz. Für die Sanierungswertzone erfolgte die Zonenzuordnung parzellen-, für die Prüfwert- und die Richtwertzone blockscharf. Bei der Zuordnung einer Parzelle zur Sanierungswertzone wurden ein grosser Variationskoeffizient und eine hohe Eintretenswahrscheinlichkeit angenommen, um falsch positive Fehlklassierungen zu vermeiden.

Die Gefährdungsabschätzung erfolgte nach den Vorgaben des namensgleichen BU-WAL-Handbuchs, wurde jedoch durch eine Modellierung ergänzt, womit die quantitativen Aspekte sowie die vorhandenen Unsicherheiten besser abgeschätzt werden konnten.

Der überwiegende Teil der Bodenbelastung umfasst einen Sektor südöstlich bis nordöstlich des Hauptemittenten. Die Sanierungswertzone liegt weitgehend auf Dornacher Gebiet. Die Gemeinde Aesch weist dagegen nur eine Parzelle, die beiden anderen Gemeinden gar keine Parzellen mit Sanierungswertüberschreitungen auf. Insgesamt wurden 31 Parzellen (ca. 4 ha) der Sanierungswertzone und 639 der Prüfwertzone (ca. 68 ha) zugeordnet. Auf die Richtwertzone entfielen 3392 Parzellen (540 ha).

Die Gefährdung der Bevölkerung ist auch bei einer summativen Betrachtung der Ergebnisse auf relativ wenige Situationen beschränkt. Als einzige Pflanze wies Knollensellerie Schwermetallgehalte über dem Grenzwert der Fremdstoffverordnung auf.

Unter Berücksichtigung der Essgewohnheiten und damit auch der unterschiedlichen Anteile eines Gemüses am gesamten Warenkorb, zeigte sich, dass Kleinkinder dem grössten und Erwachsene dem geringsten Risiko ausgesetzt sind, wobei in der Regel eine Gesundheitsgefährdung ausgeschlossen werden kann.

Mit zunehmendem Grad an Versorgung aus dem eigenen Garten sowie durch fleischlose Ernährung steigt das Risiko für alle Altersklassen an. Unter der Annahme einer Verdopplung der Schwermetallgehalte in den Pflanzen steigt dabei das Risiko für Kleinkinder, die fleischlos und vollständig aus dem eigenen Garten ernährt werden, auf ein unzulässiges Mass. Dies gilt vor allem dann, wenn diese Kinder zusätzlich dem Passivrauchen ausgesetzt sind und/oder auf kontaminierter Erde spielen.

Das menschliche Risiko lässt sich leicht durch den Verzicht auf einzelne, im eigenen Garten produzierte Gemüse reduzieren. Zudem sind die Reduktion des Selbstversorgungsanteils und die Begrünung offener Bodenflächen wirkungsvolle Vorbeugemassnahmen.

Eine Gefährdung von Schafen ist dann gegeben, wenn diese leicht mit Erde verunreinigtes Futter erhalten oder wenn sie weiden. Für Kühe ist eine Gefährdung im oberen Prüfwertbereich nicht auszuschliessen. Hieraus ergeben sich Konsequenzen für die Weidenutzung durch Wiederkäuer.

Kompost wies in der gesamten Prüfwertzone hohe Schwermetallgehalte auf. Vielerorts wurden die Grenzwerte der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung überschritten. Die Ausbringung solchermaßen belasteten Komposts fördert die Anreicherung von Schwermetallen im Boden.

Im Hinblick auf Bodenverschiebungen ergeben sich je nach Zonenzugehörigkeit einer Bauparzelle nach Massgabe der BUWAL-Wegleitung Bodenaushub Konsequenzen im Hinblick auf die Wiederverwendung beziehungsweise die Entsorgung.

Einleitung

1 Einleitung

1.1 Allgemeines

Der Boden ist die natürliche Lebensgrundlage von Menschen, Tieren und Pflanzen. Schadstoffbelastete Böden können für Mensch und Umwelt eine Gefährdung darstellen. Ist eine Bodenbelastung bekannt, muss sie auf der Grundlage der gesetzlichen Regelwerke und des wissenschaftlichen Kenntnisstandes beurteilt werden. Gegebenenfalls sind geeignete Massnahmen zu ergreifen. Dies hat einerseits die Gefahrenabwehr zum Ziel; andererseits soll die unkontrollierte Verbreitung belasteten Bodenmaterials unterbunden werden.

Eines der bekanntesten Gebiete mit belasteten Böden der Schweiz befindet sich im Raum Dornach (SO). Aufbauend auf früheren Erhebungen wurden in diesem Gebiet in den Jahren 2003 bis 2005 umfangreiche Boden- und Pflanzenuntersuchungen (*Zusatzuntersuchungen - Projekt P3*) durchgeführt. Der vorliegende Bericht beschreibt im Sinne einer Synthese Fragestellung, Ziele und Vorgehensweise dieser Erhebungen und fasst ihre wichtigsten Ergebnisse und Schlussfolgerungen zusammen. Er basiert dabei auf den im Rahmen des Projektes P3 erstellten detaillierten internen Zwischenberichten der einzelnen Projektmodule (vgl. 6.1).

1.2 Anlass

Das Gebiet von Dornach (SO) und seiner Baselbieter Nachbargemeinden Aesch, Arlesheim und Reinach war bis in die siebziger Jahre des vergangenen Jahrhunderts starken schwermetallhaltigen industriellen Staub-Immissionen ausgesetzt. Der überwiegende Teil der Stäube stammte aus den Produktionsanlagen der 1895 gegründeten Metallwerke Dornach¹, namentlich deren Giessereiöfen.

Im Jahre 1972 erfolgte der Einbau einer ersten Abscheide- und Filteranlage, die im Verlauf der Jahre eine Reihe technischer Verbesserungen erfuhr, welche zur Verminderung der Emissionsbelastung und zur Einhaltung der Vorschriften der mittlerweile eingeführten Luftreinhalteverordnung führten.

Als Folge der langjährigen Staubdepositionen kam es zu einer Verunreinigung des Bodens. Erste, Mitte der achtziger Jahre durch das kantonale Laboratorium des Kantons Solothurn durchgeführte Untersuchungen (Wirz und Winistörfer 1987) deuteten auf mitunter hohe Belastungen durch die Schwermetalle Kupfer, Zink und Cadmium hin. Weiterführende Forschungsprojekte (unter anderem Geiger 1990, Federer 1993, Keller 2000) bestätigten diese Befunde und trugen zur groben räumlichen Eingrenzung der Belastung und zu einer ersten vorläufigen Beurteilung der Gefährdungssituation bei.

Mit der Revision des Umweltschutzgesetzes und der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) wurde im Jahre 1998 der gesetzliche Rahmen für die Beurteilung der Bodenbelastung und die Ableitung von Massnahmen seitens der Vollzugsbehörden geschaffen. Im Hinblick auf das Bodenbelastungsgebiet Dornach wurde jedoch schnell das Erfordernis weiterer systematischer Datenerhebungen evident, da die bis anhin vorhandenen Daten keine definitive Abgrenzung der verschiedenen Belastungszonen ermöglichten. Es war insbesondere nicht möglich, die Gefährdung der Schutzgüter Mensch, Tier und Pflanzen mit genügender Sicherheit zu kategorisieren und räumlich einzugrenzen.

1 Heutiger Firmenname: SWISSMETAL – UMS Schweizerische Metallwerke AG

Mit dem Ziel, eine ausreichende Datengrundlage zu schaffen, welche den Vollzugsorganen eine ihrem gesetzlichen Auftrag gemässe Beurteilung der Belastungs- und Gefährdungssituation ermöglicht, wurde im Jahre 2003 das Projekt Zusatzuntersuchungen P3 ins Leben gerufen. Die Ergebnisse dieses vom Kanton Solothurn als Auftraggeber und zusammen mit dem Kanton Basel-Landschaft und der SWISS-METAL – UMS Schweizerische Metallwerke AG getragenen Projektes sind Gegenstand des vorliegenden Berichtes. Nicht behandelt werden dagegen Untersuchungen zum eigentlichen Metallwerk-Gelände, da diese im Rahmen separater Altlastenabklärungen erfolgen.

1.3 Gesetzlicher Auftrag

Bund und Kantone streben eine nachhaltige Nutzung der Natur an (Bundesverfassung Art. 2/73/74). Dabei soll die Ökologie der Böden im Sinne der Vorsorge als Lebensgrundlage für Mensch, Tier und Pflanze langfristig gesund erhalten werden (Umweltschutzgesetz Art. 1).

Die Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) regelt Beobachtung, Überwachung und Beurteilung von Bodenbelastungen und gibt zudem vor, wie ausgehobener, schadstoffbelasteter Boden zu handhaben ist. Hierbei kommt den kantonalen Bodenschutzfachstellen eine zentrale Bedeutung zu, da sie für die Überwachung der Bodenfruchtbarkeit, Erhebungen zur Bodenbelastung und für die Abwehr von belastungsbedingten Gefährdungen von Mensch, Tier und Pflanzen zuständig sind (USG Art. 42 beziehungsweise 44).

Die chemische Belastung der Böden wird im Allgemeinen aufgrund von rechtlich verbindlichen Vergleichswerten beurteilt, den in der VBBo enthaltenen Richt-, Prüf- und Sanierungswerten. Übersteigen die ermittelten Werte des Bodens diese Vergleichswerte, so ergreift die kantonale Fachstelle entsprechende Massnahmen auf der Basis von Art. 33 und 34 USG sowie Art. 8, 9 und 10 VBBo. Mögliche Massnahmen reichen vom Quellenstop über eine intensivierete Überwachung bei Richtwertüberschreitungen bis zu Nutzungsverbieten und Sanierungen bei sehr hohen Belastungen mit Überschreitungen des Sanierungswertes.

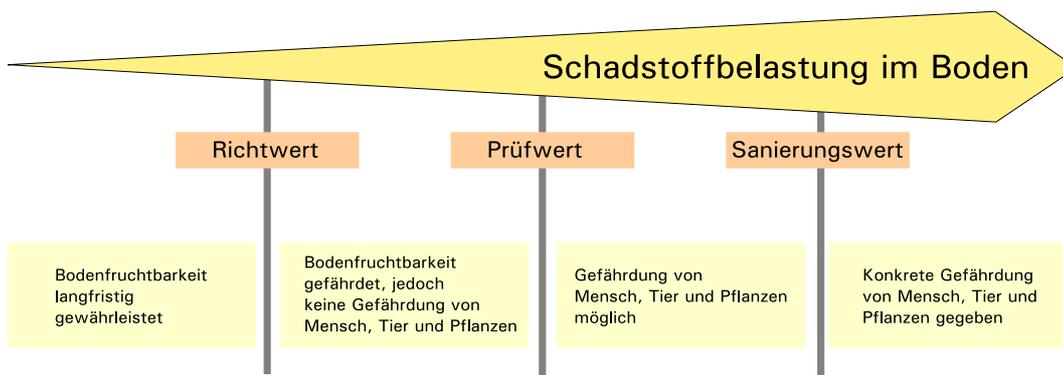


Abbildung 1 Richt-, Prüf- und Sanierungswert gemäss Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo)

Zielsetzung

2 Zielsetzung

Die im Rahmen des hier dokumentierten Projektes durchgeführten Untersuchungen verfolgten die folgenden grundsätzlichen Ziele:

- Hinreichend genaue Unterteilung des Untersuchungsperimeters in *Richtwert-, Prüfwert- und Sanierungswertzone*²
- Detaillierte Aussagen zum Umgang mit belastetem Bodenaushub in der *Belastungszone*
- Klärung der Gefährdungssituation von Menschen, Tieren und Pflanzen im Bereich der *Prüfwertzone*
- Erarbeitung allfälliger Massnahmen zur Gefährdungsabwehr (*Prüfwertzone*)
- Parzellenscharfe Abgrenzung der *Sanierungswertzone*

2.1 Untersuchungsziele

Um die im vorigen Kapitel wiedergegebenen allgemeinen Ziele zu erreichen, wurden folgende detaillierten Untersuchungsziele formuliert:

- Deutliche Verbesserung des Kenntnisstandes über die räumliche Belastungssituation (*Bodenprobenahme*)
- Rekonstruktion der Nutzungsgeschichte und -entwicklung (*retrospektive Karten- und Luftbildauswertung*)
- Zuordnung der Parzellen zur *Richtwert-, Prüfwert- oder Sanierungswertzone* mit Hilfe statistischer Methoden und Verifikation durch Bodenanalysen unter der Massgabe geringstmöglicher Irrtumswahrscheinlichkeit (*Geostatistik*)
- Erhebung der heutigen Nutzung (*Nutzungskartierung*)
- Ermittlung der Schwermetallgehalte in Pflanzen unter repräsentativen Anbaubedingungen (*Anbauversuche, Futterbau*)
- Erfassung des Belastungsgrades von Gemüse, welches von Selbstversorgern angebaut wird (*Gemüsebeprobung*)
- Sicherstellung einer dem aktuellen Stand von Technik und Wissenschaft angepassten Qualität der Abklärungen (*Qualitätssicherung*)

² Als Mass für die Zuordnung zur Richtwert-, Prüfwert- und Sanierungswertzone werden die Richt-, Prüf- und Sanierungswerte der VBBo herangezogen. Siehe auch Glossar.

Vorgehen

3 Vorgehen

3.1 Projektorganisation

Zur Erreichung der formulierten Projektziele wurde ein modularer Projektaufbau gewählt. Jedes Projektmodul beinhaltete genau definierte Aufgaben (Tabelle 1). Diese wurden von spezialisierten Firmen oder Hochschulinstituten übernommen und unter der Leitung der Auftraggeberin (PL) ausgeführt. Das Organigramm in Abbildung 2 zeigt die wichtigsten in Projektmodulen organisierten Akteure und ihre Interaktionen.

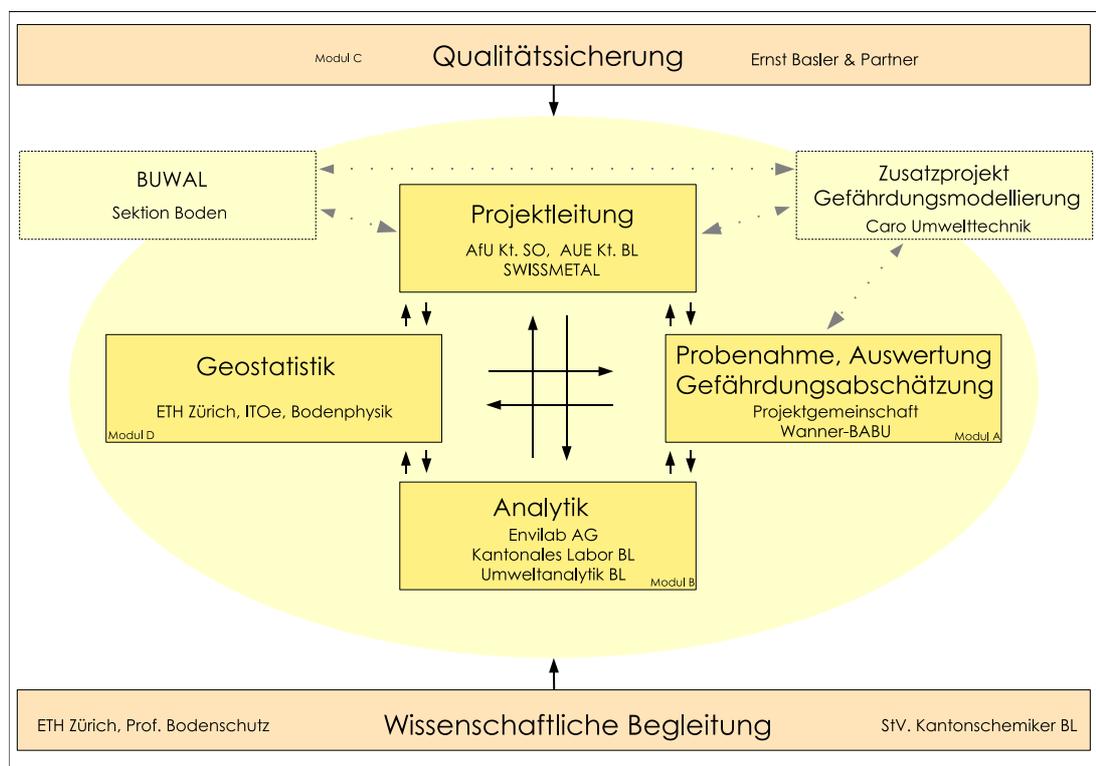


Abbildung 2 Projektorganisation (Abkürzungen siehe Seite 7)

Das Gesamtprojekt wurde von einer wissenschaftlichen Fachgruppe begleitet (Prof. Rainer Schulin, Fachbereich Bodenschutz am Institut für terrestrische Ökologie der ETH Zürich und Dr. Peter Wenk, Stv. Kantonschemiker des Kantons Basel-Landschaft) und in engem Kontakt mit der Sektion Boden des BUWAL abgewickelt (Herr Johannes Dettwiler).

Im zweiten Projektjahr wurde durch das BUWAL und die Bodenschutzfachstelle des Kantons Solothurn ein Zusatzprojekt zur computerbasierten Modellierung der Gefährdung³ initiiert und in das Projekt P3 integriert. Das Projekt wurde von der Caro Umwelttechnik AG durchgeführt.

³ Im Folgenden wird das Projekt verkürzt als *Zusatzprojekt Gefährdungsmodellierung* bezeichnet.

Tabelle 1 Aufgabenschwerpunkte der Projektmodule⁴

Projektleitung AfU Kt. SO AUE Kt. BL SWISSMETAL ⁵	Probenahme, Auswertung Gefährdungsabschätzung (Modul A) Projektgemeinschaft Wanner-BABU	Geostatistik (Modul D) ETH Zürich	Qualitätssicherung (Modul C) Ernst Basler & Partner
Projektleitung und Gesamtabwicklung Entscheidungsinstanz u.a. für Abgrenzung Belastungszonen Review Termine und Kosten AfU Kt. SO und AUE Kt. BL zudem: – Massnahmenplan – Information der Öffentlichkeit	Verifikation Probenahmeplan Entnahme Boden- und Pflanzenproben Bodenansprache und -profilaufnahme Anbauversuche Beprobung Gemüse in Haus- und Familiengärten Plausibilitätsprüfung Daten Datenaufbereitung und GIS-Darstellung Synthesebericht	Geostatistische Zwischen- und Endauswertung (Strukturanalyse, Vorhersage der räumlichen Verteilung der Schwermetalle) Erstellung Probenahmeplan Analyse Messunsicherheit Klassierungsvorschlag der Parzellen Qualitätssicherungsarbeiten	Erfassung Projektrisiken Erstellung PQM-Lenkungsplan Gewichtung und Identifikation von Qualitätsschwerpunkten Massnahmen zur Risikominimierung Vor-Ort-Kontrolle Projektmodule
Analytik (Modul B) Envilab AG Kantonales Labor BL Umweltanalytik BL	Gefährdungsmodellierung Caro Umwelttechnik AG	Wissenschaftliche Begleitung ETH Zürich Stv. Kantonschem. BL	BUWAL Sektion Boden
Schwermetallanalysen Boden- und Pflanzenmaterial Bestimmung wichtiger Bodenparameter Datenübergabe	Computermodellierung der Gefährdungssituation Unterstützung PL	Fachliche Beratung	Rechtliche Begleitung Unterstützung mit Umsetzungshilfen (schriftliche Grundlagen Modellierung, Gefährdungsabschätzung etc.) Unterstützung Modellierung Gefährdungsabschätzung

⁴ Während der Projektbearbeitung wurden die Kernmodule als Module A-D bezeichnet.

⁵ Vollständige Firmenbezeichnung: SWISSMETAL – UMS Schweizerische Metallwerke AG

3.2 Allgemeine Vorgehensweise

Die Projektarbeiten wurden nach Massgabe der im vorangegangenen Kapitel erläuterten Zielsetzung grob den beiden zeitlich weitgehend voneinander unabhängigen Handlungssträngen *Abgrenzung* und *Gefährdungsabschätzung* zugeordnet. Während im Rahmen der *Abgrenzung* die Bodenbelastung räumlich erfasst und unterschiedlich belastete Bereiche ausgeschieden wurden, verfolgten die Untersuchungen zur *Gefährdungsabschätzung* das Ziel der konkreten Ermittlung und Beurteilung der Gefährdungssituation.

Ausgehend von den in Kapitel 2 formulierten Untersuchungszielen wurden Untersuchungstiefe und generelle Vorgehensweise definiert. Voraussetzung war dabei die möglichst breite Integration vorhandener Kenntnisse über die Belastungssituation sowie eine möglichst effiziente Projektbearbeitung. Hieraus ergaben sich folgende Kernelemente und Verfahrensschritte:

Abgrenzung	Ziel
• Retrospektive Karten- und Luftbildanalyse	Information über Expositionsdauer und Terrainveränderungen
• Einbezug älterer Untersuchungen	Integration und raumbezogene Auswertung wertvoller Daten Aufwandsreduktion
• Geostatistischer Ansatz	Vorhersage von räumlich referenzierten Daten als Basis für Probenahme und Klassierung der Parzellen Aufwands- und Kostenreduktion
• Etappierung der Probenahme inkl. Zwischenauswertungen	Verbesserung der Probenahmestrategie Mehrfache Verifikationsmöglichkeiten
Gefährdungsabschätzung	Ziel
• Anbauversuche	Statistisch abgesicherte Erkenntnisse über Belastung <i>repräsentativer</i> Gemüsearten
• Gemüsebeprobung	Erkenntnisse über Belastung einer grossen Zahl <i>real angebauter</i> Gemüsesorten
• Gefährdungsmodellierung	Schadstoff-Aufnahmeszenarien Sensitivitätsbetrachtungen

In den nachfolgenden Teilkapiteln werden die für die genannten Kernelemente gewählten Methoden und Vorgehensweisen erläutert.

Das Projekt Zusatzuntersuchungen P3 wurde im Juni 2003 mit Arbeiten zur Abgrenzung der Bodenbelastung begonnen und im Juni 2005 mit der Vorlage des Syntheseberichtes und begleitender Kartenwerke abgeschlossen.

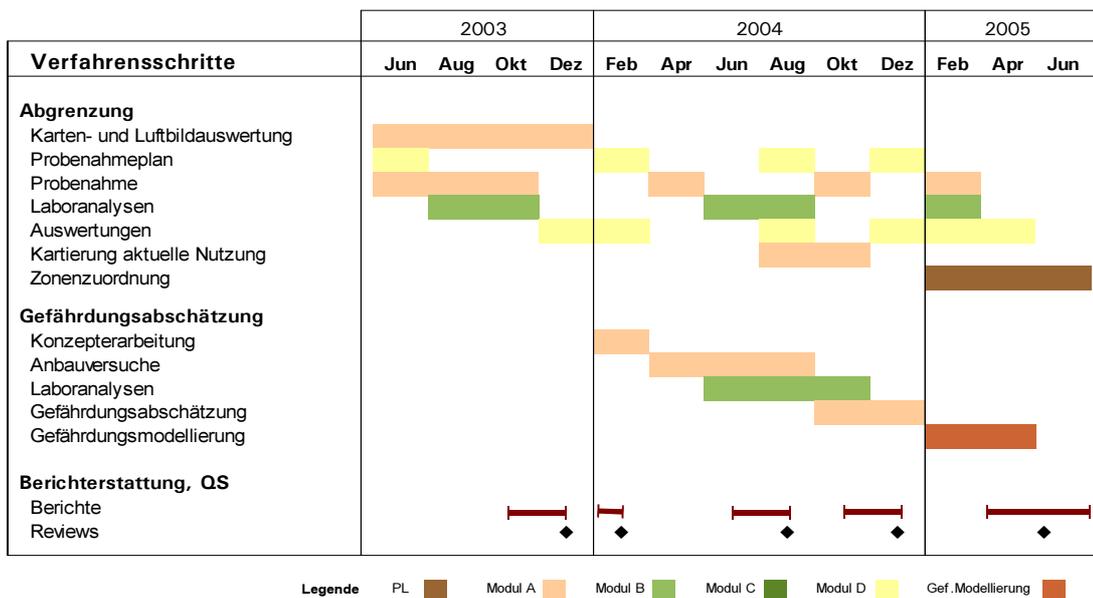


Abbildung 3 Zeitliche Gliederung der wichtigsten Projektarbeiten

3.3 Retrospektive Karten- und Luftbildauswertung

Mithilfe des Studiums alter Kartenwerke und Luftbilder kann die Siedlungs- und Nutzungsentwicklung einer Landschaft nachgezeichnet werden. Im Hinblick auf die Bodenbelastung sind hierbei vor allem Terrainveränderungen sowie die Ausweitung des Siedlungsraumes einschliesslich industriell genutzter Bereiche bedeutsam.

Ziel der retrospektiven Karten- und Luftbildanalyse war es folglich, die markantesten Landschaftsveränderungen innerhalb des Projektperimeters zu erfassen und nachzuzeichnen.

Für die Erfassung der Nutzungsentwicklung standen 14 farbige topografische Karten der Jahrgänge 1877 bis 2000 sowie 11 nicht entzerrte Luftaufnahmen von Befliegungen zwischen 1937 und 2000 zur Verfügung.

Die Luftbildauswertung erfolgte stereoskopisch sowie unter Verwendung von Vergrösserungsgläsern. Die Karten wurden ebenfalls mit Hilfe von Lupen analysiert, die räumliche Verteilung der Landschaftsbestandteile Gewässer, Siedlung, Rebgebiet, Wald, Auffüllungen, Gruben und Sportplätze auf transparente Folie übertragen und digitalisiert.

Von jedem Zeitschritt wurde ein Shapefile⁶ für die Benutzung in einem geografischen Informationssystem sowie zur geostatistischen Auswertung erstellt.

6 Verbreitetes, von der Firma ESRI entwickeltes Datenformat geografischer Informationssysteme (GIS).

3.4 Vereinfachte Bodenansprache

Für die Interpretation der Schadstoffgehalte und für die Gefährdungsabschätzung ist die Kenntnis der wichtigsten Bodeneigenschaften der untersuchten Parzellen erforderlich. Für die vorliegende Fragestellung sind erstens Bodenparameter von Bedeutung, welche die Speicher- und Sorptionseigenschaften der Böden bestimmen und zweitens Bodenparameter, die auf eine Bodenbelastung schliessen lassen, die nicht auf Emissionen der Metallwerke zurückzuführen sind. Hierbei kann es sich zum Beispiel um Fremdbestandteile handeln.

Im Verlauf der Untersuchungen wurde auf jeder Parzelle, auf der eine Bodenprobe entnommen wurde, eine Profilbohrung mit einem Edelman-Flügelbohrer (Durchmesser 5 cm) durchgeführt. Jedes Profil wurde erfasst. Dabei wurden unter anderem die Parameter Bodentyp, Textur, Humusgehalt, Kalkgehalt, pH-Wert und der Anteil an Fremdbestandteilen bestimmt. Anthropogen überprägten Böden wurde ein natürlicher Bodentyp gemäss Klassifikation der Böden der Schweiz (FAL 2002) zugewiesen. Die Aufnahme basierte auf einem im Umfang reduzierten FAL Kartierschlüssel Nr. 6. Für die qualitative und quantitative Aufnahme der Fremdbestandteile (Ziegel, Beton, Glas, Metalle, Asche etc.) wurden eigene Klassen definiert. Jedes Profil wurde mit einem GPS-Gerät eingemessen, digital fotografiert und in einer Datenbank erfasst.

3.5 Abgrenzung der Belastung

Zur räumlichen Eingrenzung der Bodenbelastung bestand das Erfordernis, den Kenntnisstand über die räumliche Ausdehnung der Kontamination zu verbessern. Hierzu wurden in drei grossen und einer nachgeordneten kleineren Probenahme-phase Bodenproben entnommen.

Aufbauend auf Ergebnissen früherer Untersuchungen (vor allem Wirz und Winistörfer 1987, Grünenfelder und Schmidli 1998) wurden im Rahmen des Projektes P3 weitere 606 Bodenproben entnommen, von denen 561 zur Belastungsabgrenzung Verwendung fanden. Der Rest (45 Proben) wurde im Rahmen der Gefährdungsabschätzung verwendet. Tabelle 2 gibt einen Überblick über die räumliche Zuordnung der Probenahmestellen.

Tabelle 2 Anzahl der im Projekt P3 entnommenen Bodenproben und beprobten Parzellen nach Gemeinden

Ort	Anzahl Proben	Anzahl Parzellen
Aesch	147	124
Arlesheim	14	10
Dornach	429	304
Reinach	16	14
Gesamt	606	452

Nach Abschluss einer jeden Probenahmephase erfolgte eine geostatistische Zwischenauswertung, welche die Basis für den jeweils nächsten Probenahmeplan beziehungsweise für die Schlussergebnisse bildete. Insgesamt wurden die Schwermetallgehalte von 788 aus dem Projekt P3 sowie älteren Untersuchungen stammenden Bodenproben für die geostatistischen Berechnungen verwendet.

Für die geostatistische Auswertungen sowie für die Zuordnung der Parzellen zu einer Belastungsstufe wurde der Bereich zwischen den Prüf- und Sanierungswerten der VBBö (1998) beziehungsweise der Wegleitung Bodenaushub (BUWAL 2001) weiter unterteilt und *ad-hoc* zwei weitere Bodenbelastungswerte, die im Folgenden verwendeten Prüfwerte A (PW_A) und B (PW_B) definiert. Damit wurde der grossen Spannweite der Schwermetallgehalte innerhalb der Prüfwertzone Rechnung getragen.

Tabelle 3 Definition der verwendeten Bodenbelastungswerte (RW Richtwert, PW Prüfwert, PW_A Prüfwert A, PW_B Prüfwert B, SW Sanierungswert)

Element [mg/kg]	RW	PW	PW_A	PW_B	SW
Cd	0.8	2 ^{bc}	6 ^h	10 ^d	20 ^f
Cu	40	150 ^c	300 ^h	500 ^h	1000 ^{eg}
Zn	150	300 ^a	1000 ^h	1500 ^h	2000 ^{eg}

a Wegleitung Bodenaushub b Nahrungspflanzenanbau c Futterpflanzenanbau d direkte Bodenaufnahme
 e Haus- und Familiengärten f Kinderspielplätze g Landwirtschaft h ad-hoc Grenzwert

Hiermit ergaben sich für die Untersuchungen die 6 in Tabelle 4 definierten Belastungsstufen. Auf der Basis dieser Belastungsstufen erfolgte abschliessend die Klassierung der Parzellen und damit die Abgrenzung der einzelnen Belastungszonen (vgl. Kapitel 3.5.5).

Tabelle 4 Definition der Belastungsstufen

Belastungsstufe	Definition	Belastungszone
1	$c < RW$	unbelastete Zone
2	$RW \leq c < PW$	Richtwertzone
3	$PW \leq c < PW_A$	Prüfwertzone
4	$PW_A \leq c < PW_B$	Prüfwertzone
5	$PW_B \leq c < SW$	Prüfwertzone
6	$SW \leq c$	Sanierungswertzone

c Konzentration, RW Richt-, PW Prüfwert, PW_A Prüfwert A, PW_B Prüfwert B, SW Sanierungswert

Die für die wichtigsten Kernelemente der Untersuchung verwendete Methodik wird im Folgenden beschrieben.

3.5.1 Probenahmeplan

Zu Beginn jeder der vier Probennahmephasen wurde basierend auf den Ergebnissen der vorangegangenen Untersuchungen ein Probenahmeplan erarbeitet. Hierbei wurden auch die Ergebnisse älterer Untersuchungen⁷ in den beiden Kantonen herangezogen.

Basierend auf den bereits erhobenen Datensätzen wurde die erwartete Belastung in noch nicht beprobten Bereichen des Untersuchungsperimeters mit geostatistischen Methoden (siehe Kapitel 3.5.4) vorhergesagt. Dabei wurde ermittelt, in welchen Bereichen Datenlücken und/oder grössere Unsicherheiten bei der Vorhersage vorhanden waren. Neue Messstellen wurden prioritär in solchen Bereichen verortet, wobei den potentiell höher belasteten Bereichen grösseres Gewicht zugemessen wurde.

Vor der Probenahme wurde die Parzellenauswahl auf der Grundlage der vorhandenen Ortskenntnis hinsichtlich ihrer Realisierbarkeit überprüft. War diese gegeben, wurden mittels GIS der auf Orthofotos basierende Probenahmeplan erstellt und Koordinaten für die Entnahmestelle vorgegeben.

Während der ersten Beprobungsphase im Sommer 2003 erfolgte die Probenahme prioritär auf potentiell höher belasteten Parzellen, also jenen, auf denen der begründete Verdacht bestand, dass die Sanierungswerte beziehungsweise PW_A und PW_B überschritten waren (95%-Quantil der Vorhersageverteilungen $> SW$ respektive PW_A , PW_B). Bevorzugt wurden zudem neue Messstellen westlich sowie in reduziertem Masse südöstlich des Buntmetallwerks ausgewählt, da aus diesen Bereichen bis anhin nur wenige Daten vorgelegen hatten.

In der zweiten Beprobungsphase (Frühjahr 2004) lag das Hauptaugenmerk auf den Belastungsstufen 3 bis 5. Bezogen auf die Fläche, die bis anhin noch nicht untersucht worden war, wurde die Belastungsstufe 5 am intensivsten untersucht.

In der dritten Phase (Herbst 2004) erfolgte zudem eine Verifikation der im Bereich der Sanierungswertüberschreitungen gewonnenen Erkenntnisse. Eine kurze vierte Beprobungskampagne zu Beginn des Jahres 2005 diente der Abklärung auffälliger Messwerte sowie der gesicherten randlichen Abgrenzung der Sanierungswertzone.

3.5.2 Probenahme

Die Probenahme erfolgte nach Massgabe des Probenahmeplans. Hierbei wurden - bedingt durch die örtlichen Begebenheiten sowie das Untersuchungsziel - verschiedene Probentypen entnommen:

Flächenmischproben	Bereich mit erwarteten Sanierungswertüberschreitungen Zerstückelte Parzellen mit mehreren Teilflächen Kleine Parzellen
Standard-VBBo-Proben	Augenscheinlich homogene Parzellen mit ausreichender Grösse ausserhalb des Bereichs erwarteter Sanierungswertüberschreitungen
Linienproben	Sehr schmale, langgestreckte (Teil-)Parzellen
Haufwerksproben	Bauparzellen mit Humusdepots

⁷ Wirz und Winistörfer 1987, Grünenfelder und Schmidli 1998 und andere.

Die Standard-VBBo-Probe wurde als Mischprobe aus 16 respektive 25 gleichmässig verteilten Einzelproben einer 10 m x 10 m grossen Fläche hergestellt. Die Vorgehensweise bei der Gewinnung einer Flächenmischprobe war von einer Reihe von Randbedingungen (unter anderem Flächengrösse, Zuschnitt, Zugänglichkeit, Anzahl Teilflächen) abhängig. Jede Fläche wurde anhand eines eigens entwickelten Grobschemas zur Entscheidungsfindung beurteilt, in Teilflächen zerlegt und die Anzahl der Einstiche festgelegt. Die entnommenen Einzelproben wurden ebenfalls zu einer Mischprobe vereinigt. Bei Linienproben wurde analog verfahren.

Auf etwa 5% der insgesamt beprobten Parzellen wurden Doppelproben entnommen.

Bei allen Probentypen wurde in Übereinstimmung mit den Vorgaben der VBBo die Tiefe 0-20 cm mit einem Hohlmeisselbohrer vom Typ Pürckhauer beprobt.

3.5.3 Analytik

Die Zuordnung der entnommenen Bodenproben zum analysierenden Labor erfolgte in Abhängigkeit der Probenherkunft. Das Bodenmaterial wurde auf die Totalgehalte an Kupfer, Zink und Cadmium untersucht. Zudem wurden in einer ausgelosten Teilmenge von 5% der gesamten Probenzahl die löslichen Gehalte bestimmt⁸. Aufbereitung, Extraktion und Analytik erfolgten nach den Bestimmungen der VBBo. Die Probenaufbereitung erfolgte nach der Methode SDAN-PA, die Extraktion in 2 M HNO₃ nach der Methode HNO₃-EX der Eidgenössischen Referenzmethoden, Band 3 (Agroscope 1996-2005). Die Messung erfolgte mit ICP-AES (Totalgehalte Kupfer, Zink) und Graphitrohr-AAS (Totalgehalt Cadmium und zum Teil lösliche Gehalte).

Zur Qualitätssicherung wurden Doppelanalysen und Doppelmessungen durchgeführt sowie Referenzmaterialien verwendet. Zwischen den Labors wurden zudem Proben ausgetauscht (Austauschproben). Die Ergebnisse dieser QS-Massnahmen wurden vom Modul Geostatistik zur Ermittlung der Messunsicherheit und des Laborbias verwendet.

3.5.4 Geostatistik

Zur Ermittlung der räumlichen Ausdehnung der Bodenbelastung wurde ein geostatistischer Ansatz angewendet. Aufbauend auf einer geostatistischen Strukturanalyse der gemessenen Totalgehalte an Kupfer, Zink und Cadmium wurden mit Hilfe konditionaler Simulationen die mittleren Gehalte dieser Schwermetalle für 7351 Parzellen des Untersuchungsgebietes vorhergesagt⁹ und grafisch dargestellt. Eine grobe schematische Darstellung der Vorgehensweise zeigt Abbildung 4.

Die so erstellten Karten geben die zu erwartende räumliche Verteilung der Metalle im Bodenbelastungsgebiet wieder. Auf der Basis dieser Karten wurden vor jeder Probenahme diejenigen Bereiche identifiziert, für die eine Probenahme erfolgen sollte und anschliessend der Probenahmeplan erstellt (siehe Kapitel 3.5.1). Nach Beendigung der Feldarbeiten wurde eine Schlusserwertung mit dem gesamten Datensatz durchgeführt, welche die Grundlage für die Klassierung der Parzellen bildete (siehe Kapitel 3.5.5).

⁸ Auf die Darstellung der löslichen Gehalte wird in diesem Bericht verzichtet.

⁹ In Phase 1 ohne Cadmium, danach ohne Zink.

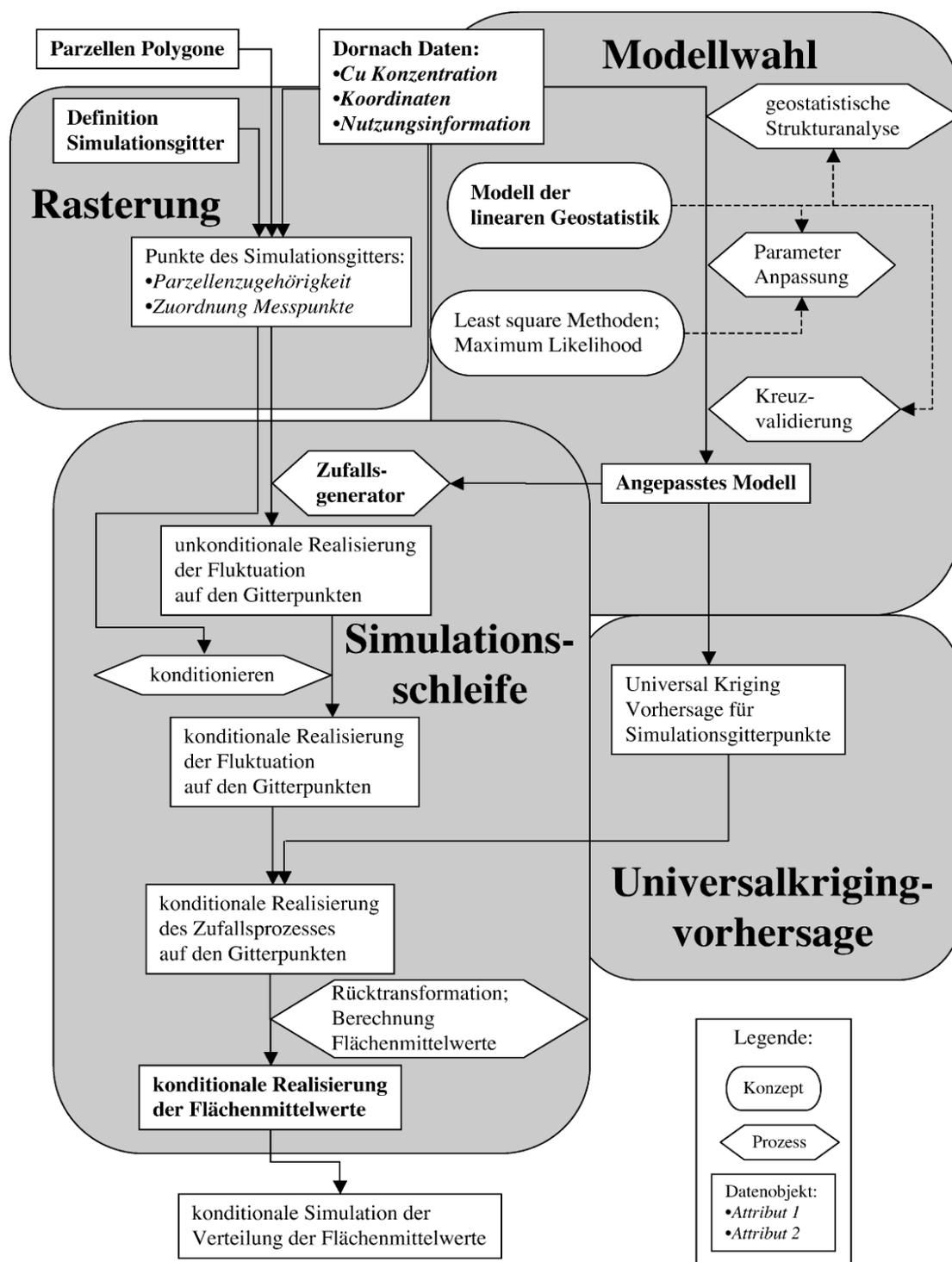


Abbildung 4 Schematische Vorgehensweise (aus Herzig 2003)

Im Folgenden werden die wichtigsten Schritte der geostatistischen Auswertung beschrieben. Detaillierte Angaben sind in den internen Zwischenberichten des Moduls D (Papritz und Herzig 2003, Papritz 2004a, 2004b und 2005) sowie in der vor Beginn des Projektes P3 angefertigten Diplomarbeit von Herzig (2003) enthalten.

3.5.4.1 Geostatistische Strukturanalyse

Zu Beginn einer jeden Projektphase sowie nach Abschluss der Datenerhebung wurde eine geostatistische Strukturanalyse durchgeführt. Diese hatte folgende Ziele:

- Auffinden eines linearen Regressionsmodell für die Beschreibung des grossräumigen Variationsmusters der (logarithmisch transformierten) Schwermetallgehalte.
- Modellierung der Autokorrelation der Residuen des Regressionsmodells.

Für die Vorhersage der Metallgehalte wurden zahlreiche Regressionsmodelle überprüft und ein Kompromiss zwischen der Vermeidung von Unter- oder Überparametrisierung und guter Vorhersagegenauigkeit gewählt.

Es zeigte sich, dass für Kupfer und Cadmium Distanz und Lage gegenüber dem ehemaligen Schadstoffemittenten eine bedeutende Rolle spielen. Daneben spielt es auch eine Rolle, ob der Probenahmestandort im Wald liegt und wann ein Standort erstmal überbaut wurde. Für Cadmium ist darüber hinaus das geologische Ausgangsmaterial bedeutsam.

Gleichungen und Validierung der Modelle sind in Papritz (2004a, 2004b und 2005; IZB) dokumentiert.

3.5.4.2 Konditionale Simulation der Parzellenmittelwerte

Die räumliche Verteilung der Parzellenmittelwerte der Schwermetallgehalte wurde durch Gauss'sche konditionale Simulationen vorhergesagt. Die hierzu notwendigen Schritte werden von Herzig (2003) zusammenfassend beschrieben und sind in Abbildung 5 illustriert.

Da es sich nach Phase 1 zeigte, dass die Vorhersage des Zink-Totalgehaltes kaum zusätzliche Informationen brachte, beschränkte sich diese in den Folgephasen auf Kupfer und Cadmium.

Für den Kupfertotalgehalt wurde in der Schlusserwertung ein Regressionsmodell verwendet, welches eine richtungsabhängige Distanzfunktion, eine Indikatorvariable für Wald und zwei Indikatorvariablen für den Siedlungsbeginn (vor/nach 1960) enthält. Das Modell für Cadmium beinhaltet zudem eine Indikatorvariable für Messungen, die aus der Arbeit von Grünenfelder und Schmidli (1998)¹⁰ stammen, sowie Gruppierungsvariablen für die stratigraphischen Einheiten Meeressand, Oxfordmergel und Rauracien-Korallenkalk, Hauptrogenstein und Sequankalk¹¹. Beide Regressionsmodelle wurden mit einem mittels Restricted Maximum Likelihood (REML) geschätzten exponentiellen Variogrammodell kombiniert.

¹⁰ Die Werte von Grünenfelder und Schmidli wiesen einen Laborbias auf, der korrigiert werden musste.

¹¹ Diese stratigraphischen Einheiten sind bekannt für ihre teilweise hohen geogenen Gehalte an Cadmium (vgl. Baize und Sterckeman 2001, Muntau et al., 2001).

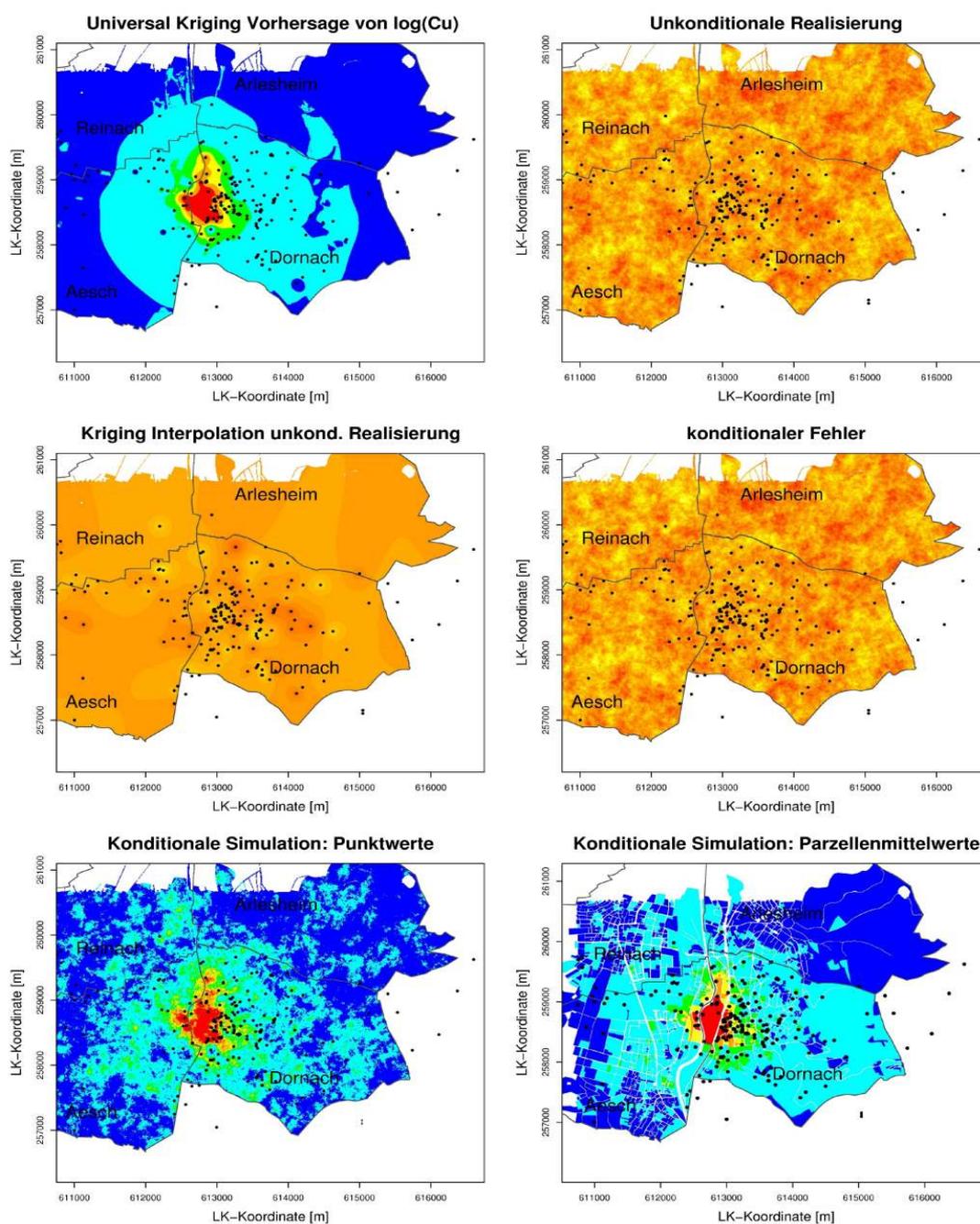


Abbildung 5 Die wichtigsten Schritte der konditionalen Simulation (von links oben nach rechts unten). Universal-Kriging-Vorhersage des logarithmierten Kupfergehalts auf Simulationsgitter; unkonditionale Simulation einer Realisierung eines Gauss'schen Zufallsprozesses mit exponentiellem Variogramm; Simple-Kriging-Interpolation der unkonditionalen Realisierung; Realisierung des konditionalen Fehlers (Differenz von unkonditionaler Realisierung und ihrer Interpolation); konditionale Realisierung des Kupfergehalts auf Simulationsgitter; konditionale Realisierung des Kupfergehalts der Parzellen (aus Papritz und Herzig 2003, verändert; IZB).

Pro Schwermetall und Parzelle wurden 2000 konditionale Realisierungen simuliert. Dies erlaubt, die konditionalen Wahrscheinlichkeitsverteilungen der Parzellenmittelwerte des Schwermetallgehalts numerisch mit einem maximalen Fehler von 2% (95%-Konfidenzbereich) zu schätzen.

Auf der Basis der Simulationen wurde jeder Parzelle mit Hilfe der konditionalen 5%- und 95%-Quantile der Parzellenmittelwerte eine Belastungsklasse zugewiesen. Die Belastungsklassen wurden für jedes betrachtete Schwermetall separat bestimmt und anschliessend nach einem in Papritz (2003; IZB) definierten Regelsatz kombiniert.

3.5.4.3 Messunsicherheit und Laborbias

Die im Rahmen des Projektes P3 anfallenden Bodenanalysen wurden von zwei verschiedenen Laboratorien durchgeführt. Beim Vergleich der Austauschproben zeigten sich kleine systematische Unterschiede. Diese wurden vor der geostatistischen Schlusserwertung eliminiert. Hierzu wurden die logarithmierten Messungen des Cu- und Cd-Totalgehalts des Labors für Umweltanalytik Basel-Landschaft mit den Umrechnungsformeln

$$\text{Cu}_{\text{korr}} = 0.6704 \times \text{Cu}^{1.0523}$$

und

$$\text{Cd}_{\text{korr}} = 0.9444 \times \text{Cd}^{0.9241}$$

auf das Niveau der logarithmierten Messwerte des Labors Envilab AG korrigiert (Papritz 2005; IZB). Des Weiteren wurden bei der geostatistischen Strukturanalyse die Cd-Messwerte von Grünenfelder und Schmidli (1998) korrigiert.

Im Rahmen der Schlusserwertung wurde zudem die Grösse der während des Projektes P3 auftretenden analytischen Messunsicherheit geschätzt. Dies war erforderlich, um bei der Klassierung der Parzellen (vgl. Kapitel 3.5.5), vor allem bei der Zuweisung zur Sanierungswertzone, die Messunsicherheit adäquat berücksichtigen zu können. Zur Schätzung der Messunsicherheit wurde die "gepoolte" Standardabweichung der logarithmierten Messwerte von Doppel- und Austauschproben-Paaren berechnet (Papritz 2005; IZB). Die gepoolten relativen Differenzen lagen bei den Doppelproben im Bereich von 7-11%. Bei den Austauschproben variierten sie zwischen 10 und 14%. Die Messgenauigkeit, die im Projekt P3 erreicht wurde, erschien insgesamt recht gut vergleichbar mit der Genauigkeit von Schwermetallanalysen des VBBö-Ringversuchsprogramms (Ammann und Desales 2004). Es ist daher davon auszugehen, dass bei einer erneuten Beprobung einer Parzelle, deren Cu-Konzentration im Bereich des Sanierungswertes liegt, die neue Messung kaum je um mehr als 20% von einer vorhandenen Messung abweicht.

3.5.5 Klassierung der Parzellen

Für die Zuordnung der Parzellen zu einer Belastungsstufe wurde ein Klassierungsverfahren entwickelt, das auf den im Folgenden definierten Regelsätzen basiert. Als Datengrundlage wurde der gesamte Datensatz des Projektes P3 sowie verlässlicher älterer Untersuchungen verwendet. Details finden sich in Papritz (2005, IZB).

Für die Sanierungswertzone erfolgte die Zonenzuordnung parzellen-, für die Prüfwertzone blockscharf. Die definitive Zuordnung erfolgte einzelfallbezogen gutachterlich und berücksichtigte unter anderem auch seit der Probenahme durchgeführte Dekontaminationen. Geogen mit Cadmium belastete Parzellen wurden gesondert betrachtet und nicht der Prüfwertzone des Bodenbelastungsgebietes zugeordnet.

Regel 1 – Abgrenzung Sanierungswertzone

Mit einem Einstichproben-Z-Test wurde geprüft, ob der arithmetische Mittelwert der logarithmierten Messwerte, die für eine bestimmte Parzelle vorliegen, signifikant grösser als der Sanierungswert ist. Hierbei wurde eine grosse Messunsicherheit¹² und eine kleine Irrtumswahrscheinlichkeit¹³ angenommen. Damit kann eine falsch positive Fehlklassierung, das heisst ein irrtümlicher Entscheid, dass der Sanierungswert überschritten ist, mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit vermieden werden.

Regel 2 - Abgrenzung Sanierungswertzone

Entlang der Geländekante zwischen Birsebene und Gempfenring in Dornach liegende Parzellen, die sich über den Hangbereich bis auf das Plateau – und somit entlang eines wirksamen Belastungsgradienten¹⁴ - erstreckten, konnten mit Regel 1 nicht angemessen klassiert werden.

Deshalb wurde für alle Parzellen auch geprüft, ob das Maximum der logarithmierten Messwerte mit einem Einstichproben-Z-Test mit Stichprobenumfang $n = 1$ signifikant grösser als der Sanierungswert ist.

Regeln 1 und 2 wurden für alle 3 Schwermetalle bei allen Parzellen angewendet, für die Messwerte verfügbar waren. Eine Parzelle wurde der Sanierungswertzone zugeordnet, wenn für mindestens ein Metall Regel 1 oder Regel 2 das Testresultat *signifikant grösser als Sanierungswert* ergab.

Regel 3 - Abgrenzung Prüfwert- und Richtwertzone

Diese Regel kam zur Anwendung, wenn für die betreffende Parzelle Messungen verfügbar waren. Für jedes der 3 Schwermetalle wurde der arithmetische Mittelwert der logarithmierten Messwerte, die für eine bestimmte Parzelle vorliegen, mit den Richt- und Prüfwerten (Tabelle 3, S. 28) verglichen und die Belastungsstufe ermittelt. Ausschlaggebend war dasjenige Schwermetall, für welches die höchste Belastungsstufe ermittelt wurde.

12 Standardabweichung der dekadisch logarithmierten Messwerte $\sigma = 0.06162$. Dies entspricht einer relativen Differenz zweier Einzelmessungen von $\Delta = 0.2$).

13 $\alpha = 0.025$

14 vgl. Geiger und Schulin (1992)

Regel 4 - Abgrenzung Prüfwert- und Richtwertzone

Diese Regel wurde angewendet, wenn für eine Parzelle keine Messwerte vorhanden waren. Zur Klassierung wurden die Mediane der Vorhersageverteilung von Kupfer und Cadmium (Resultate der konditionalen Simulation) mit den Richt- und Prüfwerten (Tabelle 3, S. 28) verglichen und die Belastungsstufe ermittelt. Ausschlaggebend war dasjenige Schwermetall, für welches die höchste Belastungsstufe ermittelt wurde.

3.6 Abklärung der Gefährdungssituation

Die Prüfwerte der VBBo geben Belastungen des Bodens an, bei deren Überschreitung nach dem Stand der Wissenschaft und der Erfahrung Menschen, Tiere oder Pflanzen *konkret* gefährdet werden können¹⁵. Eine Gefährdung wird dabei immer dann als konkret erachtet, wenn sie sich nach gewöhnlichem Lauf der Dinge früher oder später tatsächlich verwirklicht und somit ein Schaden an Gesundheit und Umwelt eintritt.

Im Hinblick auf die Gefährdung der innerhalb des Projektperimeters lebenden Bevölkerung ist vor allem Cadmium von Relevanz. Kupfer kommt bezüglich der Gefährdung von Tieren, insbesondere Wiederkäuern, Bedeutung zu.

Zur Abklärung der Gefährdungssituation auf Parzellen mit Prüfwertüberschreitungen wurde ein mehrstufiges Verfahren gewählt. Die Vorgehensweise orientierte sich dabei am Entwurf des Handbuchs Gefährdungsabschätzung (BU-WAL 2005), welches sich zum Projektzeitpunkt in Vernehmlassung befand und Ende 2005 erschienen ist, ging jedoch über dieses hinaus.

Die im Handbuch enthaltenen Expertensysteme wurden für Vorabklärungen verwendet. Darauf aufbauend wurden detaillierte Pflanzenuntersuchungen (Anbauversuche und Gemüsebeprobungen) durchgeführt. Abschliessend erfolgte im Rahmen des *Zusatzprojektes Gefährdungsmodellierung* die Abschätzung der quantitativen Gefährdung. Parallel wurden für etwa 650 Parzellen die aktuellen sowie die potentiell möglichen Nutzungen erfasst.

3.6.1 Vorabklärungen

Zunächst wurde für die Metalle Kupfer und Cadmium eine erste Abschätzung der Gefährdung mit Hilfe der zum Handbuch Gefährdungsabschätzung gehörenden Expertensysteme durchgeführt. Bei den in MS Excel implementierten Expertensystemen werden einzelnen Einflussgrössen (Schwermetall-, Humus- und Tongehalt sowie pH-Wert) Punkte zugewiesen, die aufsummiert eine Gefährdungspunktzahl ergeben. Hieraus ergibt sich eine definierte Gefährdungskategorie.

3.6.2 Anbauversuche und Gemüsebeprobung

Im Hinblick auf eine detaillierte Gefährdungsabschätzung wurden Anbauversuche mit Nahrungs- und Futterpflanzen sowie eine Beprobung von Gemüse in bestehenden Gärten durchgeführt. Ziel der Anbauversuche war es, mit Hilfe re-

¹⁵ Prüfwerte bestehen für die Nutzungsarten Nahrungspflanzenanbau, Futterpflanzenanbau sowie Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme.

präsentativer Pflanzenarten unter vergleichbaren Bedingungen eine statistisch abgesicherte Aussage über die Schwermetallaufnahme und damit die Gefährdung machen zu können.

Zusätzlich zu den Anbauversuchen wurde eine Beprobung von Gemüse durchgeführt, welches von der Bevölkerung zur Eigenversorgung selbst angebaut wurde. Ziel dieses Vorgehens war es, einen möglichst guten Überblick über das zu erwartende Aufnahmespektrum typischer Hausgarten-Gemüsearten zu gewinnen.

3.6.2.1 Anbauversuche

Zwischen Februar und August 2004 wurden auf drei belasteten und einer unbelasteten Versuchsfläche im Projektgebiet Anbauversuche mit den repräsentativen Gemüsearten Krautstiel (Genfer Selma, hohe Schadstoffaufnahme), Kohlrabi (Lanro, mittlere Schadstoffaufnahme) und Buschbohnen (Odessa, geringe Schadstoffaufnahme) durchgeführt.

Auf drei weiteren Parzellen wurden Futterpflanzen untersucht. Hierbei wurde dasjenige Pflanzenmaterial verwendet, das bereits von den Bewirtschaftern der Parzellen angebaut worden war.

Die Durchführung der Anbauversuche wurde im internen Bericht Anbauversuche (Kayser et al. 2004b; IZB) dokumentiert.

3.6.2.2 Gemüsebeprobung

Zwischen Februar 2004 und September 2004 wurden die Bewirtschafter von rund 20 Haus- oder Familiengärten gebeten, die Gemüsearten Krautstiel, Kohlrabi und Buschbohnen anzubauen. Das Pflanz- respektive Saatgut stammte aus derselben Charge wie das der Anbauversuche und wurde vom Projekt P3 zur Verfügung gestellt. Auf diese Weise wurde ein Vergleich der ermittelten Daten mit jenen der Anbauversuche ermöglicht.

Darüber hinaus wurden weitere Gemüsearten in unterschiedlicher Individuenzahl beprobt. Folgende Gemüse- und Obstarten wurden untersucht:

Krautstiel, Kohlrabi, Buschbohnen, Karotten (Möhren), Randen, Lauch, Eichblattsalat, Kopfsalat, Eisbergsalat, Lollo Rosso, Lattich, Batavia, Pflücksalat, Löwenzahn, Radieschen, Rettich, Tomaten, Zwiebel, Zucchetti, Kartoffeln, Broccoli, Fenchel, Rucola, Schnittmangold, Knollensellerie, Rhabarber, Kirschen.

Die Untersuchung wurde im internen Bericht Anbauversuche (Kayser et al. 2004b; IZB) dokumentiert.

3.6.3 Direkte Bodenaufnahme

Zur Ermittlung der Grundlagendaten für den Aufnahmepfad direkte Bodenaufnahme wurde die Nutzung ausgewählter Parzellen mit Hilfe des Erhebungsbogens des Handbuchs Gefährdungsabschätzung aufgenommen. Hierbei wurden neben der Bodenbelastung vor allem der Versiegelungsgrad und die Fläche mit offenem Boden (zum Beispiel Pflanzbeete) abgeschätzt. Im zu untersuchenden Bereich wurden zudem öffentliche Spielplätze, Schulen und Kindergärten erfasst und beprobt.

3.6.4 Kompostuntersuchungen

Kompost wurde in einer Reihe von Untersuchungen als Quelle für den Eintrag von Schwermetallen in den Boden identifiziert (vgl. Keller 2000). Im Bereich bestehender Bodenbelastungen kommt dem Kompost eine besondere Bedeutung zu, wenn er aus dort angebautem Pflanzenmaterial hergestellt wird. Auf diese Weise gelangen dem Boden durch Pflanzenaufnahme entzogene Schwermetalle wieder in diesen zurück, unter Umständen sogar räumlich konzentrierter.

Im Zuge der Untersuchungen wurden daher von 22 Parzellen Kompostproben entnommen und analysiert.

3.6.5 Gefährdungsmodellierung

Im Rahmen des *Zusatzprojektes Modellierung* wurde die Aufnahme von Schadstoffen durch die Schutzgüter Mensch, Tier und Pflanze quantitativ ausgewertet. Für die Berechnung der Aufnahmemengen wurde ein Modell verwendet, mit welchem die einzelnen Aufnahmepfade detailliert betrachtet werden können.

Mit dem Modell wird die tägliche Schadstoffdosis (DIR) berechnet, der das Schutzgut ausgesetzt ist. Dabei wird eine grosse Zahl von Eventualitäten, wie zum Beispiel unterschiedliche Ernährungsgewohnheiten, unterschiedliches Körpergewicht oder variierende Schadstoffgehalte berücksichtigt. Die Berücksichtigung dieser Eventualitäten erfolgt auf der Basis von realistischen Werteverteilungen anstelle von Einzelwerten.

Zur Charakterisierung des sich ergebenden Risikos wird die berechnete tägliche Schadstoffdosis mit einem toxikologisch begründeten Referenzwert verglichen. Hierbei wird der so genannte Risikoindex berechnet, der einen Hinweis darauf gibt, inwieweit beim Schutzgut mit gesundheitlichen Schäden zu rechnen ist.

Im Folgenden werden die wichtigsten Ansätze und methodischen Schritte wiedergegeben. Details finden sich in Jauslin (2005; IZB), Grundlagen sind Jauslin et al. (2004), Lin (1994) und USEPA (1992) zu entnehmen.

3.6.5.1 Tägliche Schadstoffdosis

Die folgende Gleichung gibt die allgemeine Berechnungsformel für die tägliche Schadstoffdosis wieder. Dieser Ansatz wurde für alle in diesem Projekt betrachteten Aufnahmepfade gewählt.

$$DIR = \frac{m_i \times Efr \times C_i}{BW \times AT} \quad [1]$$

- DIR: tägliche körperlsgewichtsbezogene Schadstoffdosis [mg/(kg BW x d)]
m_i: tägliche Aufnahmemenge von Stoff i [kg/d]
Efr: Expositionshäufigkeit [d/a]
C_i: Konzentration im Stoff i (Boden, Pflanze etc.) [mg/kg]
BW: Körpergewicht [kg BW]
AT: Bezugszeitraum [d/a]

Diese allgemeine Gleichung wurde für den jeweiligen Aufnahmepfad (siehe unten) weiter spezifiziert. So beinhalteten die Berechnungen für die Aufnahme von Schwermetallen mit pflanzlicher Kost unter anderem die Gemüsemenge, den Selbstversorgungsanteil sowie die Häufigkeit der Aufnahme. Bei der oralen Bodenaufnahme wurden die Bodenkonzentration, der Bedeckungsgrad sowie die Expositionshäufigkeit berücksichtigt. Bei der Aufnahme von Schadstoffen durch Tiere mittels Futtermitteln fanden neben der Belastung in Futterpflanze und Boden die Anteile anhaftender Erde und direkter Bodenaufnahme Berücksichtigung.

3.6.5.2 Schutzgüter und Aufnahmepfade

Die Gefährdungsmodellierung hatte die Schutzgüter Mensch und Tier im Fokus. Für das Schutzgut Mensch wurden die Aufnahmepfade Boden-Nahrungspflanze-Mensch und der Aufnahmepfad Boden-Mensch (orale Bodenaufnahme) betrachtet. Im Mittelpunkt des Interesses stand hierbei aufgrund seiner toxischen Eigenschaften das Element Cadmium.

Stellvertretend für das Schutzgut Tier wurde das Schaf gewählt, bei welchem vor allem Kupfer ein kritisches Element ist. Beim Schaf stand der Aufnahmepfad Boden-Pflanze-Tier im Mittelpunkt. Hierbei wurden auch der Grad der Verunreinigung der Futterpflanzen mit anhaftender Erde sowie die direkte Bodenaufnahme berücksichtigt.

3.6.5.3 Betrachtete Szenarien

Im Hinblick auf den Aufnahmepfad Boden-Pflanze-Mensch berücksichtigte die Gefährdungsmodellierung die Faktoren Schwermetallkonzentration, Selbstversorgungsgrad, Essgewohnheiten sowie das Alter. Die betrachteten Szenarien beinhalteten sinnvolle Kombinationen dieser in Tabelle 5 wiedergegebenen Klassen.

Als Datengrundlage dienten die Ergebnisse der in Kapitel 3.6.2 beschriebenen Pflanzenuntersuchungen, welche mit Literaturdaten von Wirz und Winistörfer (1987) ergänzt wurden. Neben den Pflanzenmesswerten aus Dornach wurden die Aufnahmeraten auch mit geschätzten Pflanzengehalten aus der Transferfunktion Boden-Pflanze berechnet. Die hierbei verwendeten Cadmiumkonzentrationen wurden aus Regressionsgleichungen des deutschen Umweltbundesamtes abgeleitet (Knoche et al. 1999). Sie entsprachen etwa der doppelten Konzentration der Messdaten aus dem Projekt P3.

Neben dem Ist-Zustand (Messdaten aus dem Projekt P3 sowie Wirz und Winistörfer (1987) wurde ein Szenario "doppelte Pflanzenkonzentrationen" für den Aufnahmepfad Boden-Nahrungspflanze-Mensch modelliert, um auch den Aspekt stark variierender Pflanzengehalte zu berücksichtigen.

Zudem wurde dasjenige Gemüse identifiziert, mit dem insgesamt die höchsten Cadmium-Frachten aufgenommen wurden sowie der Effekt eines Verzichts auf dieses Gemüse modelliert.

Tabelle 5 Klassen für die Berechnung der wichtigsten Szenarien des Aufnahmepfads Boden-Nahrungspflanze-Mensch (Jauslin 2005, verändert; IZB). In den Berechnungen wurden sinnvolle Kombinationen der jeweiligen Ausprägung verwendet.

Pflanzenkonzentration	Konzentrationsbereiche / Annahmen	Selbstversorgungsgrad	Essgewohnheiten	Altersklasse
Ist-Zustand (Messwerte Dornach)	1-fache Konzentration	Normalversorger (10%)	BAG Durchschnitt	Kleinkinder 1-4 Jahre
	2-fache Konzentration			Kinder 4-7 Jahre
Verzicht auf höchste Frucht				
Unbelastete Pflanzen (Referenz)	1-fache Konzentration	Selbstversorger (30%)	Vegetarier	Jugendliche 10-15 Jahre
Stark belastete Pflanzen (FIV-Grenzwerte)	1-fache Konzentration	Spezielselbstversorger (100%)		Erwachsene 20-75 Jahre

BAG Durchschnitt: Durchschnittlicher schweizerischer Konsum nach Erard (1986)

Abschliessend wurden zwei inverse Szenarien berechnet: Es wurde die Zahl der Portionen einer Gemüsesorte bestimmt, die täglich konsumiert werden dürften, ohne dass mit gesundheitlichen Risiken gerechnet werden muss. Zum anderen wurde abgeklärt, welche Anbauflächen für einen Selbstversorgungsgrad von 100% für Gemüse aus dem eigenen Garten nötig wären.

Im Weiteren wurde der Aufnahmepfad Boden-Mensch (orale Bodenaufnahme) untersucht. Für diesen Pfad wurden drei Szenarien betrachtet. Neben dem Ist-Zustand wurde ein Szenario mit eingeschränkter Exposition sowie ein „worst-case“-Szenario berechnet. In den Szenarien wurden die in Tabelle 6 definierten Klassen verwendet.

Tabelle 6 Wichtigste Klassen und Parameter des Aufnahmepfads Boden-Mensch (Jauslin 2005, verändert; IZB)

Bodenkonzentration Cd (c_s)	Expositionshäufigkeit (Efr)	Altersklasse
0.8 – 2.0 mg kg TS	mehr als zwei Mal pro Woche	Kleinkinder 1-4 Jahre
2.0 – 3.0 mg/kg TS	ein bis zwei Mal pro Woche	Kinder 4-7 Jahre
3.0 – 6.0 mg/kg TS		Jugendliche 10-15 Jahre
		Erwachsene 20-75 Jahre

Neben dem Schutzgut Mensch wurde im Rahmen der Gefährdungsmodellierung auch die Gefährdung von Tieren, namentlich von Schafen betrachtet. Hierbei wurden die im Rahmen der Futterbauversuche ermittelten Kupfer-Gehalte verwendet und um Literaturangaben ergänzt. Grosser Bedeutung wurde der Verunreinigung der Pflanzen mit anhaftender Erde sowie der direkten Bodenaufnahme zugemessen, welche in zwei Szenarien variiert wurde. Analog zum Aufnahmepfad Boden-Mensch wurden verschiedene Konzentrationsbereiche untersucht. Diese entsprechen den in Kapitel 3.5 definierten Bodenbelastungswerten.

Tabelle 7 Wichtigste Klassen und Parameter des Aufnahmepfads Boden-Futterpflanze-Tier (Jauslin 2005, verändert; IZB)

Pflanzenkonzentration	Verunreinigungsgrad [%]	Tierart	Bodenkonzentration [mg Cu/kg TS]
Ist-Zustand (Messwerte Dornach P3)			40 – 150
Ist-Zustand, ergänzt (Messwerte P3 zzgl. Literatur)	0-30 in 10%-Stufen	Schaf	50 – 300
			300 – 500
			500 – 1'000

3.6.5.4 Simulationsverfahren

Zur Berechnung wurde die Latin-Hypercube Simulation verwendet. Es handelt sich dabei um eine spezielle Art der Simulation, bei der aufgrund eines Modells mit zufällig ausgewählten Werten gearbeitet wird und die zudem besonders geeignet ist, um statistische Mittelwerte einer Größe zu schätzen. Bei dieser Simulation werden die Werte einer Wahrscheinlichkeitsverteilung der Eingabeparameter bei jedem Rechenschritt zufällig gezogen. Dieser Rechenschritt wurde für die Simulation in grosser Anzahl wiederholt.

Die Berechnungsalgorithmen wurden in Matlab implementiert. Die Datengrundlage wurde über eine MS Excel-Datenmaske aufbereitet.

Die Ergebnisse wurden mit stets gleich aufgebauten gekerbten Boxplots dargestellt. Diese beinhalten die in Tabelle 5 aufgeführten Essgewohnheiten und Selbstversorgungsgrade und ermöglichen so einen direkten Vergleich dieser Klassen.

3.6.6 Gefährdungsbeurteilung

Die Beurteilung der Gefährdung erfolgte auf der Grundlage gültiger Rechtsvorschriften und orientiert sich dabei an den Vorgaben des Entwurfs des Handbuchs Gefährdungsabschätzung (BUWAL 2005). Die Einteilung der Gefährdung erfolgte in die nachfolgend beschriebenen Kategorien (Tabelle 8). Darüber hinaus wurden weitere Risikobetrachtungen durchgeführt. Diese beziehen insbesondere die differenzierten Ergebnisse der in Kapitel 3.6.5 beschriebenen Gefährdungsmodellierung ein. Die folgenden Abschnitte zeichnen die skizzierte Vorgehensweise nach.

3.6.6.1 Aufnahmepfad Boden-Pflanze-Mensch

Zur Beurteilung der Gefährdungssituation hinsichtlich des Aufnahmepfades Boden-Pflanze-Mensch wurde die Fremd- und Inhaltsstoffverordnung (FIV) herangezogen. Diese Vorgehensweise ist im Handbuch Gefährdungsabschätzung, wie in Tabelle 8 dargestellt, definiert. Bei dieser Methode werden Referenzwerte von Pflanzen, die als unbelastet gelten (*normale* Gehalte) sowie die FIV-Grenzwerte (Höchstwerte) verwendet und mit den Konzentrationen der Pflanzen (gemessen) des belasteten Standortes verglichen.

Tabelle 8 Gefährdungskategorien für den Nahrungspflanzenanbau gemäss Handbuch Gefährdungsabschätzung (BUWAL 2005)

Belastung	Gefährdungskategorie
$c_{\text{gemessen}} < \frac{c_{\text{unbelastet}} + c_{\text{Höchstwert}}}{2}$	keine Gefährdung
$\frac{c_{\text{unbelastet}} + c_{\text{Höchstwert}}}{2} \leq c_{\text{gemessen}} < c_{\text{Höchstwert}}$	konkrete Gefährdung möglich
$c_{\text{gemessen}} \geq c_{\text{Höchstwert}}$	konkrete Gefährdung

c = Konzentration, bezogen auf Frischgewicht (FG)

Zur Charakterisierung des sich nach den Ergebnissen der Gefährdungsmodellierung ergebenden Risikos wurden die berechneten täglichen Schadstoffdosen (DIR) mit toxikologisch begründeten Referenzwerten (REF) verglichen und der so genannte Risikoindex RI respektive der Ausschöpfungsgrad (AG_{DIR} , in %) berechnet:

$$RI_{DIR} = \frac{DIR}{REF_{DIR}} \quad \text{oder} \quad AG_{DIR} = \frac{DIR}{REF_{DIR}} \times 100 \quad [2]$$

Diese beiden Grössen ergeben einen Hinweis darauf, inwieweit beim Schutzgut mit gesundheitlichen Schäden zu rechnen ist. Bei den Referenzwerten handelt es sich in der Regel um international anerkannte Werte (vgl. WHO 1992).

Im Rahmen des Projektes P3 erfolgte die Gefährdungsbeurteilung zunächst auf der Basis des Handbuchs Gefährdungsabschätzung. Darauf aufbauend erfolgte eine gutachterliche Beurteilung der Gefährdungssituation auf der Basis der durch die Gefährdungsmodellierung gewonnenen differenzierten Erkenntnisse.

3.6.6.2 Aufnahmepfad Boden-Pflanze-Tier (-Mensch)

Der Beurteilung der Gefährdungssituation hinsichtlich des Aufnahmepfades Boden-Pflanze-Tier (-Mensch) wurde die Futtermittelbuchverordnung (FMBV) zu Grunde gelegt. Diese Vorgehensweise ist im Handbuch Gefährdungsabschätzung, wie in der nachfolgenden Tabelle 9 dargestellt, definiert. Demnach werden zum Vergleich Referenzwerte von Pflanzen, die als unbelastet gelten (normale Gehalte) sowie die FMBV-Höchstgehalte herangezogen.

Tabelle 9 Gefährdungskategorien für Futterpflanzenanbau gemäss Handbuch Gefährdungsabschätzung (BUWAL 2005)

Belastung der Futterpflanze	Gefährdungskategorie
$c_{gemessen} < \frac{c_{unbelastet} + c_{H\ddot{o}chstwert}}{2}$	keine Gefährdung
$\frac{c_{unbelastet} + c_{H\ddot{o}chstwert}}{2} \leq c_{gemessen} < c_{H\ddot{o}chstwert}$	konkrete Gefährdung möglich
$c_{gemessen} \geq c_{H\ddot{o}chstwert}$	konkrete Gefährdung

c = Konzentration, bezogen auf 88% Trockensubstanz (TS)

Im Zuge der Risikobetrachtungen (Gefährdungsmodellierung) wurden zusätzlich zu den Grenzwerten der FMBV die so genannten Schwellenwerte (Kessler 1993) verwendet. Hierbei wird im Gegensatz zur FMBV, welche die maximal zulässigen Schwermetallgehalte des Futtermittels als solches regelt, auch der bei der Weide aufgenommene Boden berücksichtigt. Der untere Schwellenwert gibt dabei die Toleranzschwelle, der obere Schwellenwert eine Toxizitätsschwelle an.

Tabelle 10 FMBV-Höchstgehalte, Schwellenwerte (nach Kessler) und kritische Werte für Tierfutter (nach Blume) für Kupfer (aus BUWAL 2005, verändert)

Tier	FMBV-Höchstgehalt	Unterer / Oberer Schwellenwert	Kritische Werte für Tierfutter
	[mg/kg bei 88% TS]	[mg/kg TS]	
Rind	35	30 / 100	
Schaf	15	10 / 25	30-100

3.6.6.3 Aufnahmepfad Boden-Mensch

Eine Beurteilung der Gefährdungssituation im Hinblick auf Cadmium ist auf der Grundlage des BUWAL-Handbuchs Gefährdungsabschätzung nicht möglich, da das darin enthaltene Expertensystem nicht für den im Untersuchungsperimeter ange-troffenen Wertebereich verwendet werden kann. Der Cd-Prüfwert der VBBo für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme von 10 mg/kg TS wird lediglich auf einer in industrieller Nutzung befindlichen Parzelle überschritten.

Zur gutachterlichen Beurteilung wurden die Ergebnisse der Gefährdungsmodellierung herangezogen und der Risikoindex gemäss Gleichung [2] berechnet.

3.6.6.4 Kompost

Die Beurteilung der Schwermetallgehalte erfolgte auf der Grundlage der Chemikali-en-Risikoreduktions-Verordnung¹⁶ (ChemRRV). Diese gilt allerdings streng genom-men nur für in Verkehr gebrachten Kompost. Die Grenzwerte liegen gemäss Anhang 2.6 ChemRRV für Cadmium, Kupfer und Zink bei 1, 100 und 400 mg/kg Trockensubstanz.

3.6.7 Probenahme

Auf allen Anbau- und Futterstandorten wurden zur Standortcharakterisierung Klein-profile erstellt und Bodenproben entnommen (Mischproben 0-20 cm, bei Futter-parzellen zusätzlich auch 0-5 cm, Profilproben 0-5 cm, 0-20 cm und 20-40 cm). Gartenparzellen und Spielplätze wurden mit dem Bohrstock beprobt (0-20 bezie-hungsweise 0-5 cm).

Die Ernte von Pflanzenmaterial erfolgte in der Regel unter Benutzung eines Edel-stahl-Messers oder von Hand. Für die Anbau- und Futterbauversuche richtete sich die Probenahme nach dem Schweizerischen Lebensmittelbuch (SLMB 2003). Die Entnahme von Pflanzenproben aus den Gärten erfolgte individuell. Zur Probenver-packung kamen PE-Säcke zum Einsatz. Der Transport ins Labor erfolgte unmittelbar nach der Ernte in mit Kühlelementen ausgestatteten Styroporkisten.

¹⁶ Die Chemikalien-Risiko-Reduktions-Verordnung (ChemRRV) hat am 1. August 2005 die bis dahin gültige Stoffverordnung (StoV) abgelöst.

Im Zuge der Untersuchungen wurden zudem 28 Kompostproben von 22 Parzellen entnommen und die Cd-, Zn- und Cu-Gehalte bestimmt. Die Beprobung erfolgte nach der FAL-Wegleitung (FAC 1995) unter Verwendung eines Edelman-Bohrers.

3.6.8 Analytik

Die Analysen der Bodenproben auf Schwermetalle erfolgten gemäss VBB0, diejenigen zur Standortcharakterisierung nach den Eidgenössischen Referenzmethoden (Agroscope 1996/2004). Die Kompostproben wurden ebenfalls nach den Referenzmethoden aufgeschlossen und analysiert.

Mit Ausnahme des Futtergrases wurden Pflanzenproben nach der küchenfertigen Aufbereitung püriert und bei Bedarf eingefroren. Eine Aliquot des homogenisierten Pflanzenmaterials wurde in der Mikrowelle mit einem Salpetersäure-Wasserstoffperoxid-Gemisch aufgeschlossen und mittels ICP-MS analysiert. Futtergras wurde getrocknet, zerkleinert und homogenisiert. Hernach wurde ein Aliquot gemahlen und nach Mikrowellenaufschluss mit ICP-MS analysiert.

3.7 Qualitätssicherung

Aufgrund der Komplexität der Untersuchungen wurde das Projekt durch ein Qualitätssicherungsmandat begleitet. Die Funktion des QS-Moduls ist der Abbildung 6 zu entnehmen.

Mögliche Projektrisiken wurden zu Beginn des Projektes definiert und in einem PQM-Lenkungsplan festgehalten. Die Arbeit jedes beteiligten Projektmoduls einschliesslich der Projektleitung wurde anhand dieses Plans kontinuierlich überprüft. Beim Auftreten neuer Risiken wurde der PQM-Lenkungsplan modifiziert.

Integraler Bestandteil des Qualitätsmanagement waren die internen Qualitätssicherungsinstrumente der einzelnen Projektpartner. Die beteiligten Ingenieurbüros verfügen über ein ISO-9001 basiertes QS-System. Die Laboratorien sind nach EN/ISO 17025 akkreditiert und nehmen regelmässig und mit guten Resultaten an entsprechenden Ringversuchen teil.

Details zur verwendeten Methodik sind den internen Berichten von Reinecke (2003, 2004 und 2005; IZB) zu entnehmen.

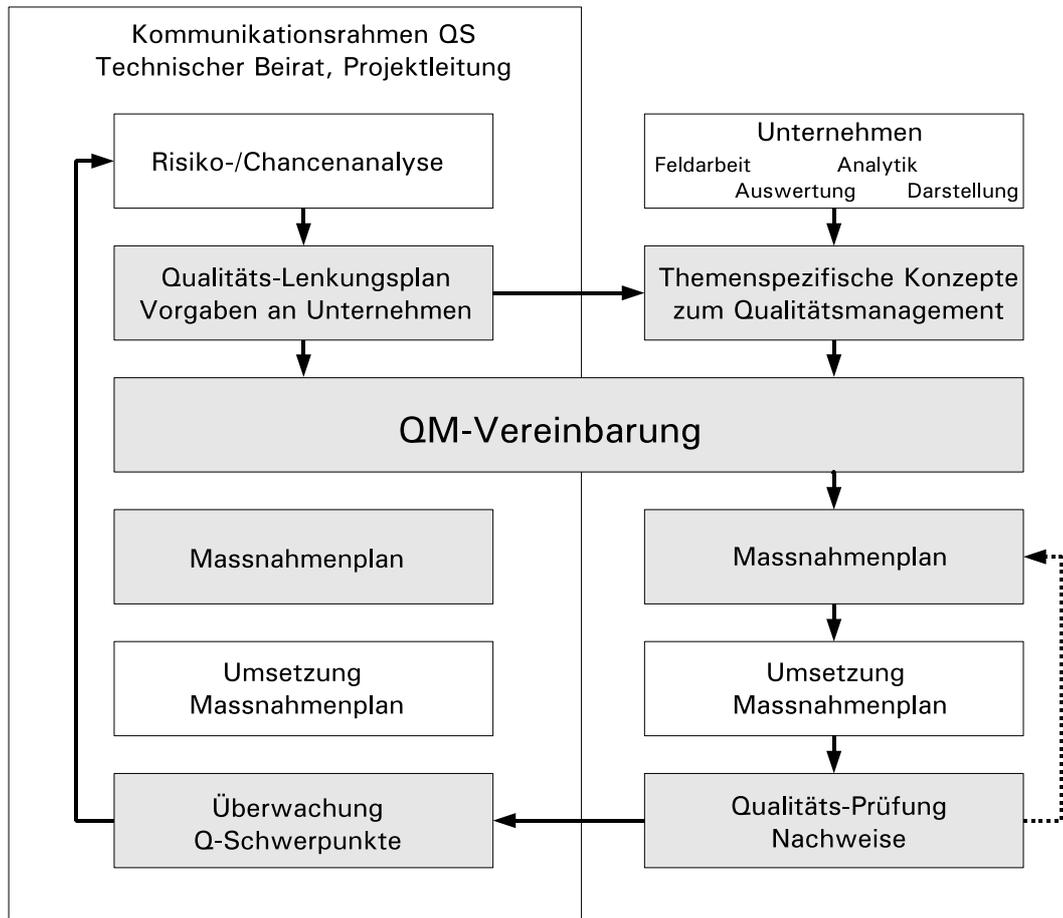


Abbildung 6 Funktion der Qualitätssicherung (QS). Grau hinterlegte Bereiche markieren die Instrumente des prozessorientierten Qualitätsmanagements (PQM). Die Qualitätsmanagement (QM)-Vereinbarung ist ein verbindlicher Vertrag (nach Reinecke 2005, verändert; IZB)

Ergebnisse

4 Ergebnisse

4.1 Nutzungsentwicklung

Die Ergebnisse der Karteninterpretation und der Luftbildauswertung sind im Anhang A1-1 zusammengefasst.

Weite Teile des Projektperimeters waren um 1870 landwirtschaftlich oder als Rebgebiet genutzt. Die Kernbereiche der heutigen Orte bestanden bereits, es gab jedoch keine Überbauung zwischen Oberdornach und Dornachbrugg respektive dem heutigen Bahnhof Dornach-Arlesheim. Zwischen 1877 und 1917 nahmen die Rebgebiete deutlich und praktisch ausschliesslich zugunsten der rasch wachsenden Siedlungen ab. In diesen Zeitraum fällt auch eine erste Birskorrektur und 1895 der Bau der Metallwerke. Östlich derselben bestanden bereits die ersten Siedlungen im Bereich des heutigen Mattenwegs sowie im Gebiet Oepfelsee und Bruggfeld (Aesch). Zwischen Dornach und Dornachbrugg entstanden die ersten Überbauungen. Um 1937 waren diese flächendeckend vorhanden, jedoch noch lückenhaft.

In den Folgejahren erfuhren sie eine deutliche Verdichtung, was sich jedoch weniger in den Karten als anhand der Luftaufnahmen nachzeichnen lässt.

Die Landeskarte von 1945 zeigt ein sich ausweitendes Siedlungsgebiet im Bereich Oepfelsee sowie eine nun vollständige Industrialisierung im Bereich des Bahnhofs Aesch (Flanschenfabrik).

Ein Grossteil der Überbauung in der unmittelbaren Umgebung der Metallwerke erfolgte von Mitte der 40er bis Mitte der 50er Jahre. Bis 1959 wuchs zudem auch der Siedlungsbereich von Reinach stärker als in den Vorjahren. Das Gebiet Dornachbrugg wuchs ebenfalls deutlich infolge der Industrialisierung und war nun fast mit der Siedlung Bruggfeld verbunden. In der Umgebung der Metallwerke Dornach verdichtete sich der Siedlungsbereich östlich des heutigen Industriegeleises. Auch hier siedelten sich offensichtlich weitere Industriebetriebe an.

Zwischen 1970 und 1976 kam es zu einer erneuten Birskorrektur südlich der Metallwerke, in deren Folge auch ein Nebengerinne der Birs verschwand, welches östlich des Bahnhofs Aesch etwa parallel zur Bahnlinie in Nord-Süd-Richtung verlaufen war. In diesem Zusammenhang wurden südlich der Metallwerke grössere Terrainveränderungen vorgenommen.

Bis 1976 wurden beiderseits der Birs die Baulücken weitgehend geschlossen. Danach nahm die Bautätigkeit ab. Lediglich das unmittelbar südlich an die Metallwerke angrenzende Gebiet bis zur Flanschenfabrik sowie ein Streifen westlich der Birs im nördlichen Bruggfeld von Aesch blieben bis zur Kartenausgabe 1982 unüberbaut. Danach gehörten auch diese Bereiche zum Siedlungsgebiet. Zu Beginn der 80er Jahre erfolgte der Bau der kantonalen Autobahn T18.

4.2 Vereinfachte Bodenansprache

Die Böden des Untersuchungsgebietes sind zu einem grossen Teil durch Bautätigkeiten überprägt worden, so dass kaum natürliche, ungestörte Böden vorkommen. Bei 68% der Bohrungen wurde eine eindeutige Veränderung der natürlichen Bodenschichtung durch anthropogene Eingriffe festgestellt. Es handelt sich oft um lokale Bodenverschiebungen innerhalb der Parzelle während der Bauarbeiten. Es kommen aber auch oft parzellenfremde Bodenmaterialien vor.

Bei den meisten untersuchten Bodenschichten ("Horizonten") wurden Fremdbestandteile festgestellt. Es handelt sich vor allem um Ziegelbruchstücke, in geringerem Mass um Glas, Beton, Asphalt und Metalle. In der Regel ist der Fremdanteil nur sehr gering (< 1 Vol.%).

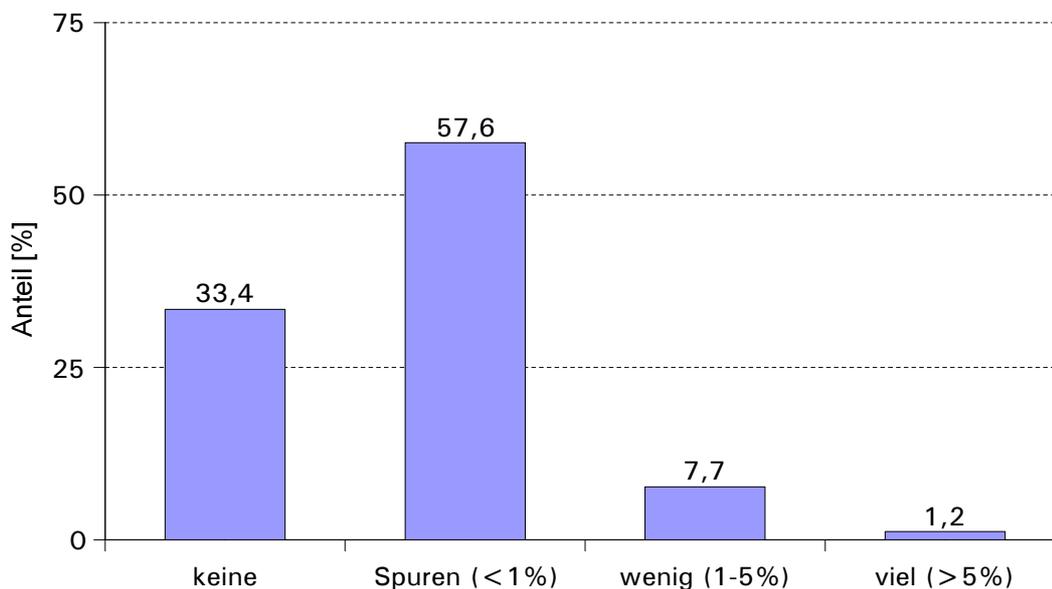


Abbildung 7 Anteil an Fremdbestandteilen in 1445 Horizonten aus 447 Bohrungen

Im Untersuchungsgebiet dominieren kalkhaltige Böden des Typs Kalkbraunerde und Rendzina. Kalkhaltig sind auch die Bodentypen Regosol und Fluvisol. Zumindest teilweise entkarbonatet sind die Braunerden. Die Bodentypen Parabraunerde und saure Braunerde sind kalkfrei.

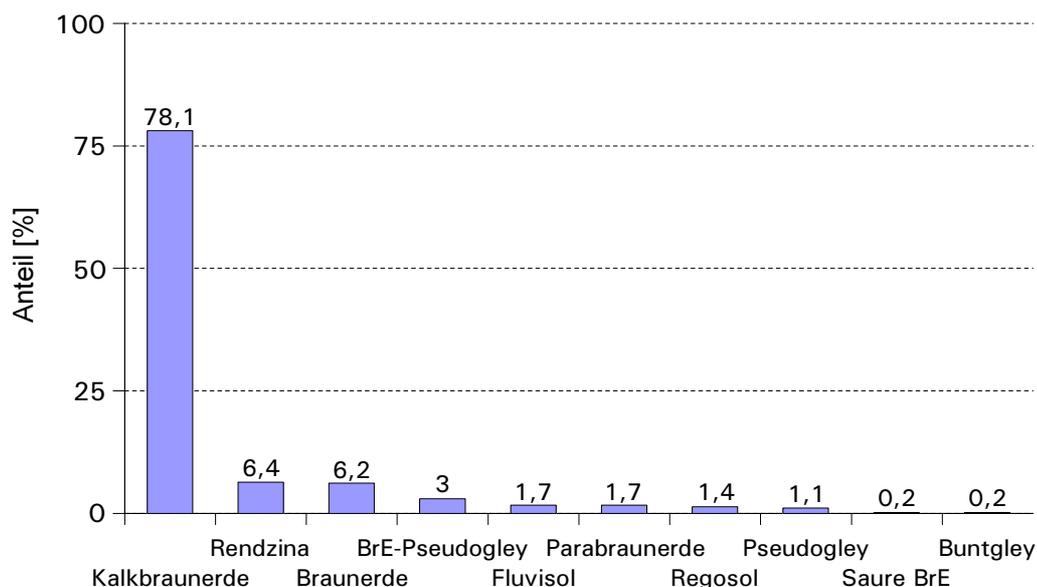


Abbildung 8 Bodentypen (n = 447 Bohrungen). BrE = Braunerde

Entsprechend der weit verbreiteten, hohen Kalkgehalte liegt der pH-Wert grösstenteils im schwach alkalischen Bereich. Es kommen aber auch - vor allem auf Löss - schwach saure und saure Böden vor. Diese machen etwa 3% der untersuchten Profile aus.

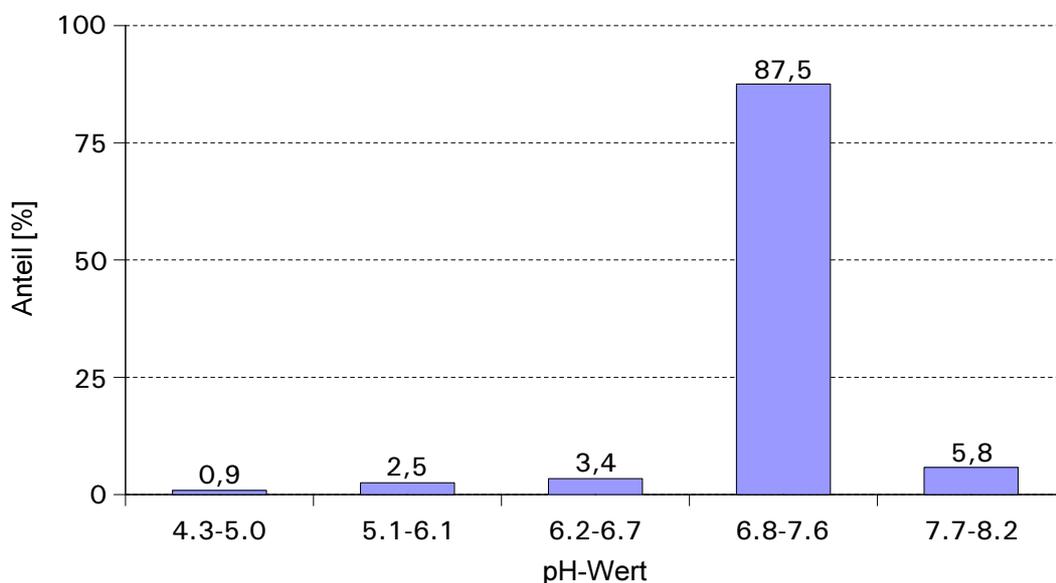


Abbildung 9 Säuregrad im obersten organomineralischen Horizont von 447 Bohrungen

Im betrachteten Perimeter dominieren Böden mit mehr als 20% Tongehalt, wobei die Gruppe der Lehme im obersten Horizont mit rund 50% am häufigsten auftritt. Als einzelne Bodenart überwiegt lehmiger Schluff (IU) (28%). Aufgrund des hohen Tonanteils ist mit einer hohen Speicher- und Sorptionskapazität zu rechnen. Der Skelettgehalt vermindert allerdings das speicherfähige Bodenvolumen. Im Zuge der Erhebungen wurde festgestellt, dass der Skelettgehalt in der Regel mit der Tiefe zunimmt. Im Unterboden ist ein Skelettgehalt von mehr als 20 Vol.% üblich.

Das Untersuchungsgebiet wird - insgesamt gesehen - von schwach humosen Böden dominiert. Rund 55% der Böden weisen einen Anteil der organischen Substanz zwischen 2 und 5% auf (Klasse h2). Rund 39% liegen im Bereich zwischen 5 und 10%.

Hinsichtlich des zu erwartenden Bindungsvermögens für Schwermetalle ist für weite Bereiche des untersuchten Perimeters von günstigen Bedingungen auszugehen. Lediglich dort, wo Böden mit niedrigen pH-Werten kartiert wurden - in der Regel ist dies auf Löss der Fall - ist die Bindungsstärke für Schwermetalle reduziert. Diese Bereiche liegen aber ausserhalb der Belastungsstufen 5 und 6.

4.3 Analyse der Bodenbelastung

Im Verlauf der Untersuchungen wurden insgesamt 452 Parzellen beprobt und 606 Proben entnommen. Von diesen Parzellen lagen 304 in Dornach, 124 in Aesch, 14 in Arlesheim und 10 in Reinach. Für die Auswertungen konnten neben den 606

Proben des Projektes P3 weitere Daten früherer Untersuchungen verwendet werden, so dass insgesamt 798 Messwerte zur Verfügung standen.

4.3.1 Totalgehalte

Generell zeigen die Totalgehalte ein vergleichbares Bild: Weist eine Parzelle für eines der Metalle erhöhte Gehalte auf, so sind auch die Messwerte der anderen erhöht¹⁷. Dieser Effekt ist für Kupfer und Zink deutlicher ausgeprägt als für Cadmium. Abbildung 10 zeigt den Zusammenhang.

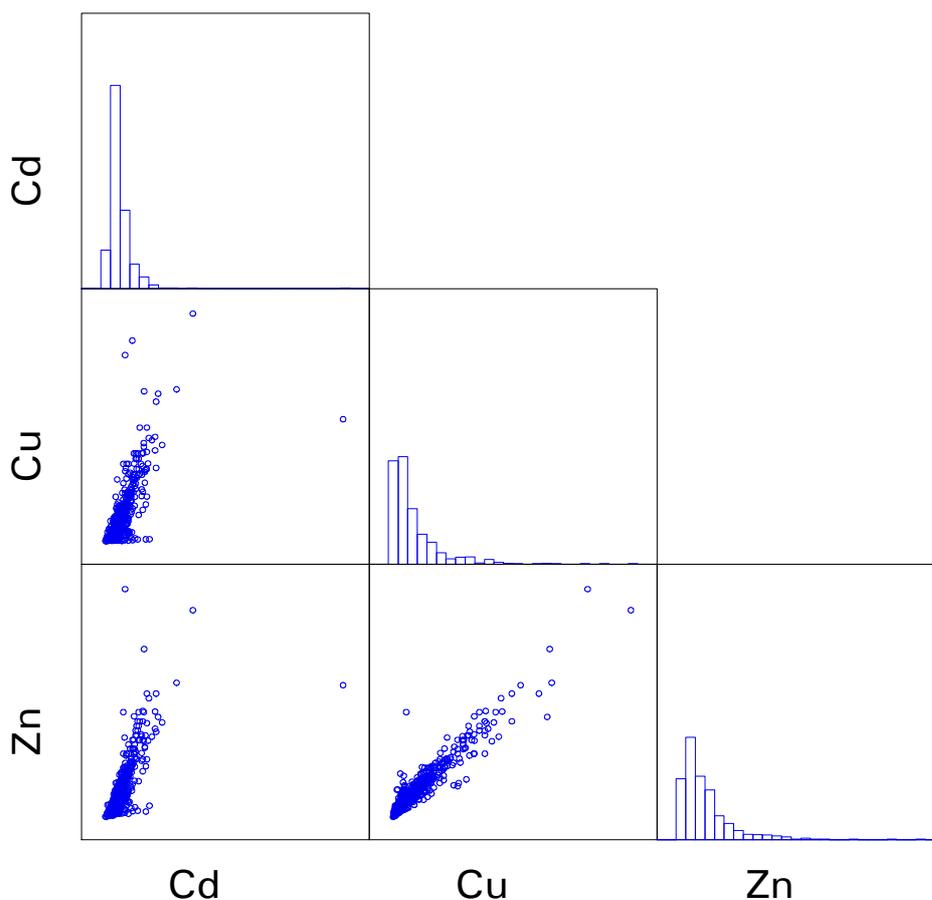


Abbildung 10 Korrelation zwischen den Totalgehalten (alle Daten Projekt P3 sowie ältere Untersuchungen)

Mit zunehmender Entfernung zu den Metallwerken nehmen die Schwermetallgehalte ab. Bei Cadmium ist dies nicht so deutlich wie bei Zink und Kupfer, weil im Osten und Südosten des Untersuchungsperimeters in grosser Distanz zu den Metallwerken Standorte mit vermutlich geogen erhöhtem Cadmiumgehalt zu finden sind (vgl. Muntau et al. 2001).

¹⁷ 17 Parzellenbezogene Daten werden aus Gründen des Datenschutzes nicht veröffentlicht.

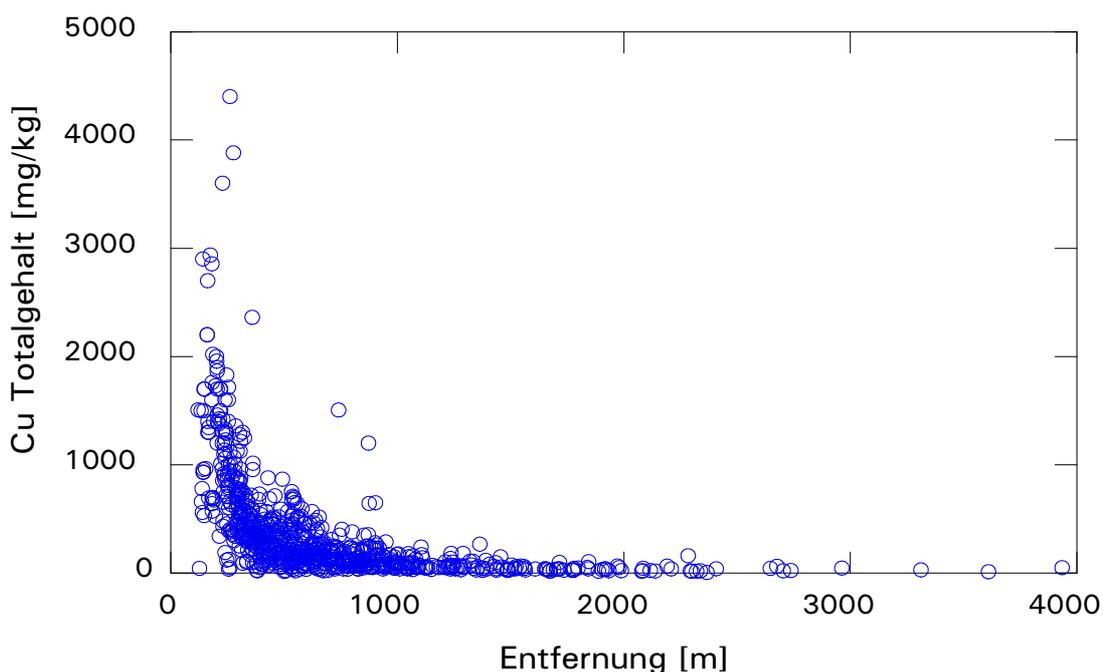


Abbildung 11 Distanzabhängigkeit der Metallbelastung am Beispiel der Cu-Totalgehalte. Enthalten sind alle Daten des Projektes P3 und älterer Untersuchungen

Die folgende Tabelle 11 gibt die ermittelten Häufigkeiten pro Belastungsstufe (vgl. Kapitel 3.5) wieder. Bei den Überschreitungen der oberen Bodenbelastungswerte, das heisst des Sanierungswertes beziehungsweise der Prüfwerte B und A, kommt dem Cu-Totalgehalt die grösste Bedeutung zu. Bei Cadmium liegt lediglich auf einer Parzelle eine Sanierungswertüberschreitung vor. Es handelt sich dabei um das Gelände der UMS, welches bereits von Wirz und Winistörfer (1987) beprobt worden war. Dieser Bereich war nicht Gegenstand des vorliegenden Projektes, da diese Parzelle im Zuge separater Altlastenabklärungen untersucht wird.

Tabelle 11 Anzahl der Messwerte pro Belastungsstufe (Totalgehalte). Die Belastungsstufen sind in Kapitel 3.5 definiert (aus Papritz 2005, verändert; IZB).

Metall	Belastungsstufe						Summe
	1	2	3	4	5	6	
Cd	210	440	145	2	0	1	798
Cu	78	247	154	129	117	73	798
Zn	143	187	335	58	27	25	775

Von wenigen Ausnahmen abgesehen, ist auf Parzellen, die den Sanierungswert für Zink überschreiten, stets auch der Kupfer-Sanierungswert überschritten. Dieser Zusammenhang wird aus Tabelle 12 ersichtlich. Diese zeigt einen paarweisen Vergleich der Häufigkeit der Belastungsstufen zweier Schwermetalle.

Tabelle 12 Anzahl Messwerte pro Belastungsstufe für die Totalgehalte zweier Schwermetalle (paarweiser Vergleich). Aus Papritz (2005, verändert; IZB)

		Belastungsstufe Cd					
		1	2	3	4	5	6
Belastungsstufe Cu	1	56	20	2	0	0	0
	2	131	109	7	0	0	0
	3	20	128	6	0	0	0
	4	3	115	11	0	0	0
	5	0	63	54	0	0	0
	6	0	5	65	2	0	1
		Belastungsstufe Zn					
		1	2	3	4	5	6
Belastungsstufe Cu	1	73	3	0	0	0	0
	2	70	152	16	0	0	0
	3	0	30	116	0	1	1
	4	0	2	125	0	0	0
	5	0	0	74	41	1	0
	6	0	0	4	17	25	24
		Belastungsstufe Zn					
		1	2	3	4	5	6
Belastungsstufe Cd	1	107	86	7	0	0	0
	2	34	95	289	8	2	2
	3	2	6	39	50	25	20
	4	0	0	0	0	0	2
	5	0	0	0	0	0	0
	6	0	0	0	0	0	1

Bei neun respektive acht Bodenproben wurde für den Cd-Totalgehalt eine Überschreitung des Prüfwertes ohne gleichzeitige Überschreitung des Prüfwerts für den Cu- respektive Zn-Totalgehalt beobachtet. Es handelt sich mit einer Ausnahme um Standorte in Südosten des Untersuchungsgebiets, wo mit geogen erhöhten Cd-Gehalten in Ausgangsgestein und Boden gerechnet werden muss.

Insgesamt betrachtet ist die Belastung durch Kupfer im Hinblick auf die Abgrenzung der Belastungszonen entscheidend.

4.3.2 Räumliches Verteilungsmuster der Messwerte

Die räumliche Ausdehnung der Belastung ist nicht in alle Himmelsrichtungen gleich. Nach Norden, Westen und Süden sind die Metalle offensichtlich weniger weit transportiert worden. Die folgenden Abbildungen zeigen, dass die Schwermetallkonzentrationen im Sektor Süd über West bis Nordwest im gleichen Abstand zum Metallwerk kleiner sind als in den übrigen Sektoren.

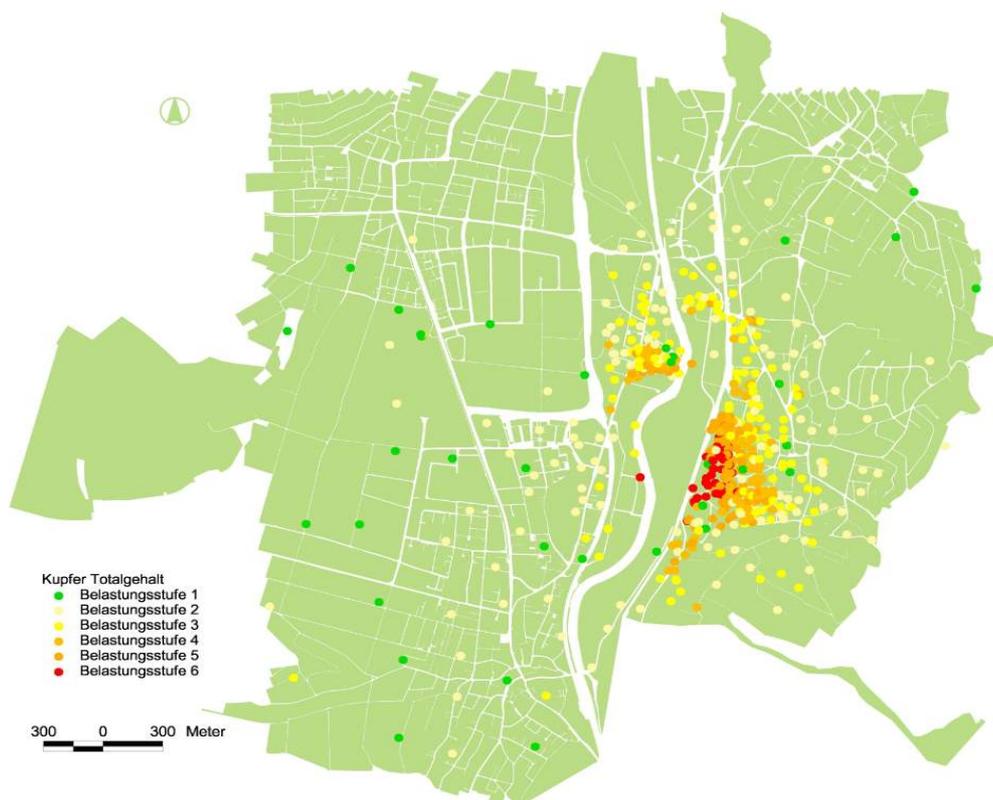


Abbildung 12 Räumliche Verteilung der Messwerte für den Kupfer-Totalgehalt

Der Einfluss der Siedlungsgeschichte und der Bautätigkeit lässt sich teilweise anhand der Messdaten nachvollziehen. Die Regressionsanalyse ergab, dass die Schwermetallgehalte an Standorten, die vor 1960 erstmals überbaut worden waren, im Mittel etwa 10% (Cadmium) beziehungsweise 25% (Kupfer) über jenen nicht überbauten Standorten liegen. Parzellen, die erst nach 1960 überbaut wurden, haben insgesamt etwa 2–5% tiefere Gehalte.



Abbildung 13 Räumliche Verteilung der Messwerte für den Zink-Totalgehalt



Abbildung 14 Räumliche Verteilung der Messwerte für den Cadmium-Totalgehalt

4.3.3 Vorhersage der Parzellenmittelwerte

4.3.3.1 Kupfer

In einer etwa 2 km² grossen Zone um das Metallwerk der UMS überschreitet die Vorhersage den Prüfwert für Kupfer. Dieser Bereich wird auf Dornacher Gebiet grob durch die Strassenzüge Bruggweg–Hauptstrasse–Schmiedegasse–Lolibachweg–Industriestrasse und in Aesch durch die Strassen Weidenring–kantonale Autobahn T18–Hauelweg–Dornacherstrasse begrenzt.

Parzellen, für welche bei Kupfer eine Überschreitung des Sanierungswerts vorhergesagt wird, liegen östlich des Metallwerks, das heisst auf Dornacher Gemeindegebiet im Bereich Mattenweg–Werbhollenstrasse und damit ziemlich genau westlich der markanten Geländekante, welche die Birsebene vom Gempenring-Plateau abgrenzt.

Für Parzellen, die vor allem nördlich und südlich an die Zone mit Sanierungswertüberschreitungen angrenzen sowie für einzelne Parzellen im südlichen Teil des Wohngebiets Bruggfeld übersteigt der vorhergesagte mittlere Cu-Totalgehalt der Parzellen den Prüfwert B¹⁸. Dies gilt auch für direkt westlich des Metallwerks liegende Bereiche des Aescher Industriegebietes.

Auf dem Plateau entlang des Gempenrings und im Wohngebiet Bruggfeld überschreitet der vorhergesagte mittlere Cu-Totalgehalt der Parzellen verbreitet den Prüfwert A, wobei hier einschränkend angefügt werden muss, dass in der Reiheneinfamilienhaussiedlung zwischen Birs- und Schartenfluehweg (Bruggfeld) in Aesch meist Kupfergehalte kleiner oder gleich dem Prüfwert vorhergesagt werden.

Im Zuge der Modellierung der konditionalen Parzellenmittelwerte wurden jeweils auch die 5%- beziehungsweise 95%-Quantile der Vorhersageverteilungen analysiert. Somit ist für jede Parzelle die untere und obere Grenze eines 90%-Vorhersageintervalls bekannt. Bei der Analyse zeigte sich, dass für die meisten Parzellen ohne direkte Messung die Grenzen des Intervalls zur gleichen Belastungsstufe gehören oder sich um maximal eine Stufe unterscheiden. Parzellen mit relativ breiten Vorhersageverteilungen sind vor allem in der unteren Prüfwertzone (Belastungsstufe 3 gemäss Kapitel 3.5) zu finden. Neben der Grösse einer Parzelle (Abnahme der Vorhersageunsicherheit mit zunehmender Fläche) beeinflussen auch die Anzahl Messpunkte in der Umgebung sowie die Konzentration (wachsende Unsicherheit mit zunehmender Konzentration) die Breite der Vorhersageverteilung. Da in der "unteren" Prüfwertzone¹⁹ im Rahmen des Projektes P3 deutlich weniger neue Messstellen gewählt wurden als in höher belasteten Bereichen, ist die Vorhersage der Konzentration hier z.T. mit grösseren Unsicherheiten behaftet.

4.3.3.2 Cadmium

Die Mittelwerte der konditionalen Verteilungen der Parzellenmittelwerte übersteigen den Prüfwert für Cadmium nur im Nahbereich östlich des Metallwerks sowie im (Süd-)Osten des Untersuchungsperimeters, wo geogen erhöhte Cd-Gehalte auftreten. Die über dem Prüfwert belastete Zone im Gebiet Mattenweg-Werbhollenstrasse stimmt in etwa mit der Zone überein, für welche die Vorhersage der Kupfergehalte Überschreitungen des Sanierungswerts ergab. Die Betrachtung des

18 Die Definitionen der Bodenbelastungswerte finden sich in Tabelle 3, Seite 28

19 Die untere Prüfwertzone entspricht der Belastungsstufe 3 in Tabelle 4 (Seite 28), d.h. $PW < c < PW_A$

95%-Quantils zeigt, dass bei Cadmium auch auf der Geländeterrasse entlang des Gempenrings und vereinzelt auf der Aescher Seite des Bodenbelastungsgebiets mit Überschreitungen des Prüfwerts gerechnet werden muss. Auf dem Gebiet der Gemeinde Arlesheim stehen, wie im Südosten Dornachs, mesozoische Sedimente an, die eine geogene Cd-Belastung aufweisen können. Daher sind auch hier Prüfwertüberschreitungen möglich.

4.3.4 Zonenzuordnung

Auf der Grundlage der in Kapitel 3.5.5 definierten Klassierungsregeln konnten sämtliche Parzellen einer Belastungszone zugeordnet werden (Sanierungswertzone, Prüfwertzone, Richtwertzone).

Auf insgesamt 31 Parzellen wurden Überschreitungen der Sanierungswerte festgestellt. Diese wurden in den Beprobungsphasen 3 und 4 verifiziert. Die Sanierungswertzone umfasst eine Fläche von etwa 4 ha und befindet sich überwiegend auf Dornacher Gebiet.

Die Prüfwertzone tangiert die Gemeinden Dornach und Aesch und umfasst 639 Parzellen mit einer Gesamtfläche von rund 67.6 ha.

Die Zone der Richtwertüberschreitungen umfasst mit circa 540 ha etwa 29 % des gesamten Untersuchungsperimeters; 3392 Parzellen liegen in dieser Zone.

Die nachfolgende Tabelle fasst die Ergebnisse der Klassierung zusammen.

Tabelle 13 Anzahl und Fläche (in ha, gerundet) der Parzellen nach Belastungsstufen.
Strassen, Gewässer und Parzelle UMS sind nicht enthalten

Stufe	Aesch		Arlesheim		Dornach		Reinach		Gesamt	
	Anzahl	Fläche	Anzahl	Fläche	Anzahl	Fläche	Anzahl	Fläche	Anzahl	Fläche
dek.	0	0	0	0	5	0.5	0	0	5	0.5
1	664	225	633	71	15	1.6	1731	189	3043	487
2	1591	244	363	58	1371	171	67	68	3392	540
3	66	3.8	0	0	364	41	0	0	430	45
4	34	1.5	0	0	107	14	0	0	141	16
5	11	1.3	0	0	57	6.6	0	0	68	7.9
6	1	0.6	0	0	30	3.5	0	0	31	4.1
Total	2367	476	996	129	1949	238	1798	257	7110	1100

dek. = nachweislich gemäss Altlastenrecht dekontaminiert

4.4 Gefährdungsabschätzung

Im Folgenden werden die wesentlichen Resultate der Untersuchungen zur detaillierten Gefährdungsabschätzung dargestellt. Ausführliche Zusammenstellungen der Ergebnisse finden sich in den Berichten von Jauslin (2005; IZB) und Kayser et al (2004b und 2005; IZB).

4.4.1 Gefährdungsanalyse

Die nachfolgenden Abschnitte fassen die wichtigsten Erkenntnisse aus den in Kapitel 3.6.2 beschriebenen Arbeiten zur Gefährdungsabschätzung zusammen. Sie bilden die Grundlage für die Gefährdungsbeurteilung. Für das Schutzgut Mensch erfolgte die Gefährdungsanalyse im Hinblick auf die Gefährdung durch Cadmium, welches das primär relevante Schwermetall darstellt. Für das Schutzgut Tier wurde zudem auch Kupfer betrachtet.

4.4.1.1 Bodenbelastung der Anbaustandorte und Gärten

Bei den im Projektteil Gefährdungsabschätzung beprobten Böden handelt es sich überwiegend um Pflanzbeete und Spielflächen (in der Regel Rasen). Einen geringeren Anteil haben landwirtschaftlich nutzbare Flächen, wie sie für die Anbauversuche genutzt wurden. Erstgenannte Parzellen sind im Zuge der Bebauung in der Regel umgelagert worden, aber selbst die landwirtschaftlich nutzbaren Flächen weisen anthropogene Überprägungen auf. Profilbeschreibungen, Profil- und Standortfotos sowie Bodendaten der Kleinprofile wurden in Kayser et al. (2004b; IZB) zusammengefasst.

Bodenchemisch gesehen sind sich die Standorte sehr ähnlich. Die Bodenreaktion liegt zumeist im schwach alkalischen, bei wenigen Standorten auch im schwach sauren Bereich. Praktisch alle Standorte weisen einen mittleren bis hohen, teils sogar sehr hohen Kalkgehalt und sehr niedrige Gehalte an organischer Substanz auf. Dies und der relativ hohe Tongehalt lassen auf eine hohe Bindungsstärke für Schwermetalle schliessen.

Die Cadmium-Gehalte liegen bei allen Standorten auf dem Niveau des Prüfwertes oder darunter, während für Kupfer und Zink das gesamte Wertespektrum zwischen Prüf- und Sanierungswert verzeichnet wurde (vgl. Abbildung 15).

Bei einigen nicht umgebrochenen Standorten zeigt sich eine Akkumulation der Schwermetalle im obersten Profilverbereich. Dies führt in den obersten 5 cm teilweise zu einer Überschreitung der in der VBBo angegebenen Cu- und Zn-Sanierungswerte (vgl. Abbildung 16). Diese werden bei der Beprobungstiefe 0-20 cm jedoch nicht überschritten. Im Hinblick auf die Weidenutzung ist dieser Befund von grosser Bedeutung.

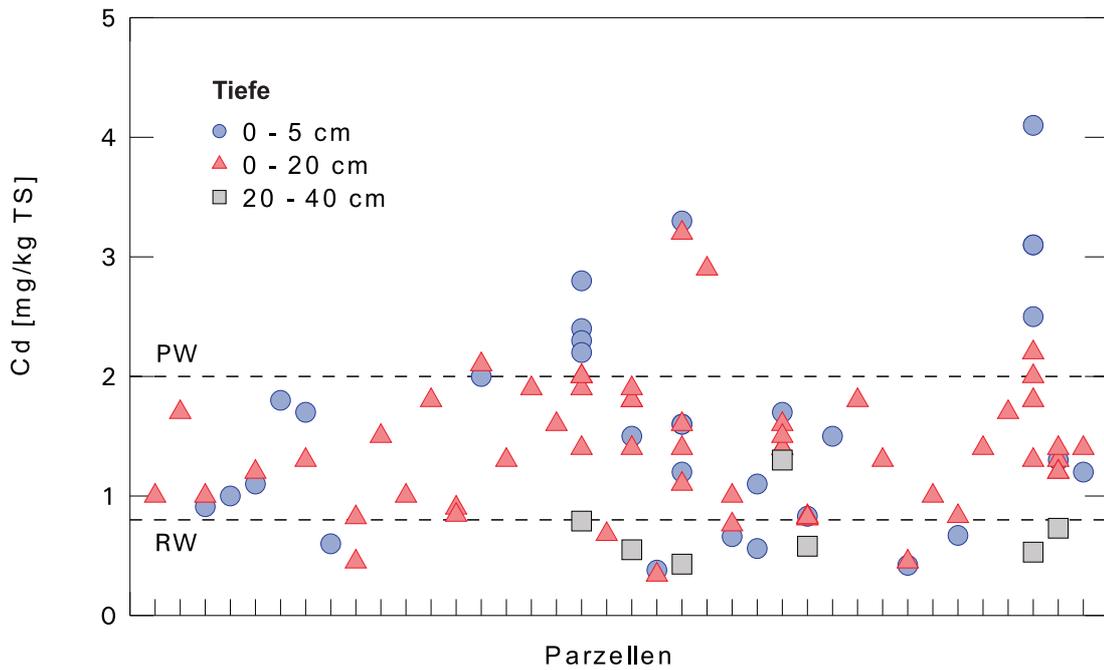


Abbildung 15 Cd-Totalgehalte im Boden (Profil- und Mischproben, entnommen während der Phase Gefährdungsabschätzung). Jeder Strich auf der Abzisse markiert eine beprobte Parzelle. Die Parzellennummern wurden aus Datenschutzgründen entfernt. RW = Richtwert, PW = Prüfwert.

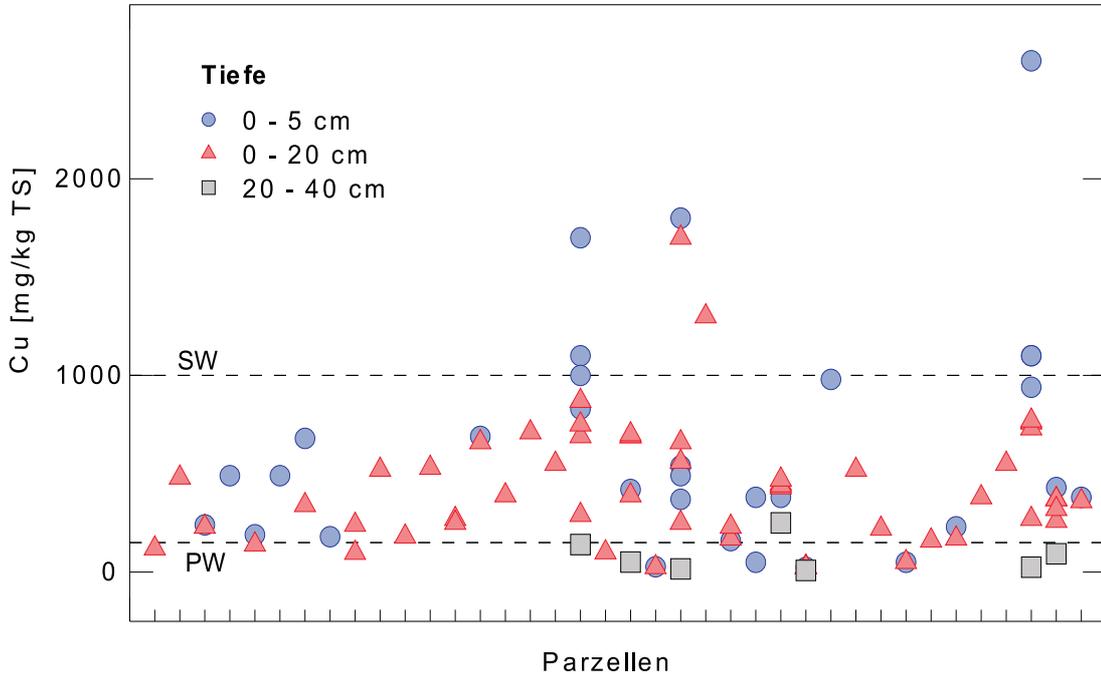


Abbildung 16 Cu-Totalgehalte im Boden (Profil- und Mischproben, entnommen während der Phase Gefährdungsabschätzung). Jeder Strich auf der Abzisse markiert eine beprobte Parzelle. Die Parzellennummern wurden aus Datenschutzgründen entfernt. RW = Richtwert, PW = Prüfwert.

4.4.1.2 Pflanzenaufnahme von Schwermetallen

Gemüsepflanzen

Die Cadmiumgehalte der in den Anbauversuchen eingesetzten Versuchspflanzen Krautstiel, Kohlrabi und Buschbohnen lagen auf den belasteten Standorten generell deutlich über denen der nur gering belasteten Referenzparzelle²⁰. Für die Pflanzenaufnahme von Kupfer und Zink war dieser Unterschied statistisch signifikant. Für Cadmium wurden signifikante Differenzen lediglich zwischen den beiden höher belasteten Standorten und der Referenzparzelle festgestellt. Überschreitungen des FIV-Grenzwertes lagen nicht vor.

Die Cadmiumaufnahme der in den Haus- und Familiengärten angebauten Gemüse- und Obstarten unterscheidet sich erwartungsgemäss sowohl zwischen den Pflanzenarten als auch den Standorten deutlich. Die Cadmiumgehalte in den Versuchspflanzen Krautstiel, Kohlrabi und Buschbohnen liegen auf den belasteten Standorten generell über denen der Referenzparzelle.

Hohe Aufnahmearten wiesen neben dem Knollensellerie Schnittmangold, Löwenzahn und Rucola auf. Lattich, Lauch, Krautstiel und Kopfsalat gehörten ebenfalls zu den stark akkumulierenden Gemüsen. Eine Überschreitung des für die jeweilige Gemüseart gültigen Grenzwertes der FIV lag jedoch lediglich beim Knollensellerie vor.

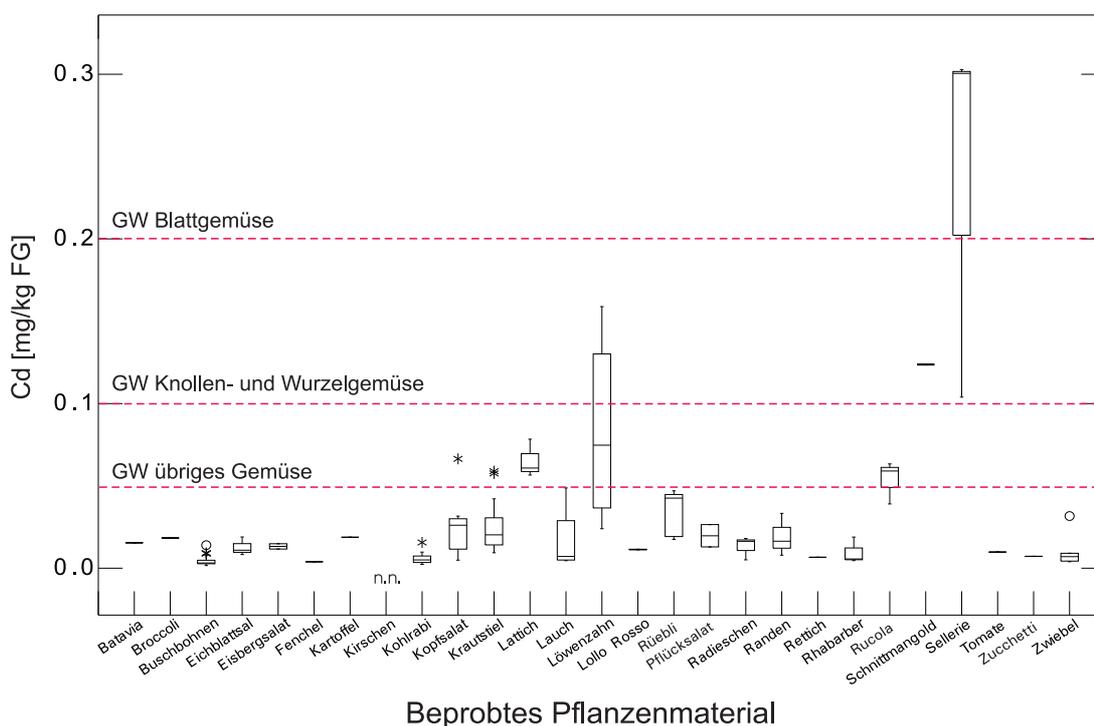


Abbildung 17 Cadmium in Gemüse und Obst (Angaben gemäss FIV in mg/kg bezogen auf FG). Alle Daten des Projektes P3 - Variabler Stichprobenumfang (vgl. Kayser et al 2005; IZB). n.n. = nicht nachweisbar

²⁰ Schwermetallgehalte im Boden im Richtwertbereich.

Generell wiesen die Pflanzen der untersuchten Standorte Schwermetallgehalte auf, die bis zum 43-fachen (Knollensellerie) über „normalen“ Werten liegen. Dies ist bei Cadmium und Kupfer deutlicher als bei Zink. Eine Überschreitung dokumentierter Toxizitätsschwellen (vgl. Bergmann 1993) lag dagegen nicht vor. Die gemessenen Cd-Konzentrationen entsprechen weitgehend denen anderer Untersuchungen im selben Gebiet (vgl. Geiger und Schulin, 1992; Coullery et al. 1996; Fröhlich, 1997, Kayser 2000, Keller 2000).

Tabelle 14 Auswahl gemessener Maximalkonzentrationen im Projekt P3 und „normale“ Gehalte unbelasteter Gemüse sowie Futtergras (Diverse Autoren, zitiert in BUWAL 2005). Werte für Gemüse in mg/kg FG, für Gras in mg/kg 88% TS

	Cd_{max}	Cd_{norm}	Cu_{max}	Cu_{norm}	Zn_{max}	Zn_{norm}
Krautstiel	0.059	0.005	3.2	0.6	19.9	5
Kohlrabi	0.016	0.003	0.6	0.4	6.4	3
Bohnen	0.014	0.002	1.5	0.3	7.9	2
Sellerie	0.303	0.007	3.6	0.8	14.5	7
Möhren	0.047	0.01	1.0	0.9	4.4	7
Kartoffeln	0.019	0.009	2.1	1.1	4.9	9
Lauch	0.049	0.007	2.2	0.8	8.2	7
Zwiebeln	0.032	0.002	5.1	0.3	19.4	2
Kopfsalat	0.066	0.003	2.9	0.4	8.6	3
Gras (allg.)	0.095	0.01	7.9	0.5	65.2	4

Futterpflanzen

Die im Grünfutter bestimmten Schwermetallgehalte wiesen keine übermässige Variabilität auf. Die in der pflanzlichen Biomasse gemessenen Cu- und Cd-Konzentrationen liegen über Normwerten, eine Überschreitung der zulässigen Höchstwerte der Futtermittelbuch-Verordnung (FMBV) wurde jedoch nicht festgestellt.

4.4.1.3 Kompostbelastung durch Schwermetalle

Die beprobten Komposte waren von sehr unterschiedlicher Beschaffenheit und Qualität. Teilweise wurde erdiges, mineralisches Material vorgefunden. Auf anderen Parzellen hingegen wurde nahezu ausschliesslich der Grasschnitt kompostiert.

Wie Abbildung 18 exemplarisch für Kupfer zeigt, waren die Schwermetallgehalte in den Kompostproben auf allen beprobten Parzellen stark erhöht. Dies gilt für alle drei betrachteten Metalle, vor allem jedoch für Kupfer.

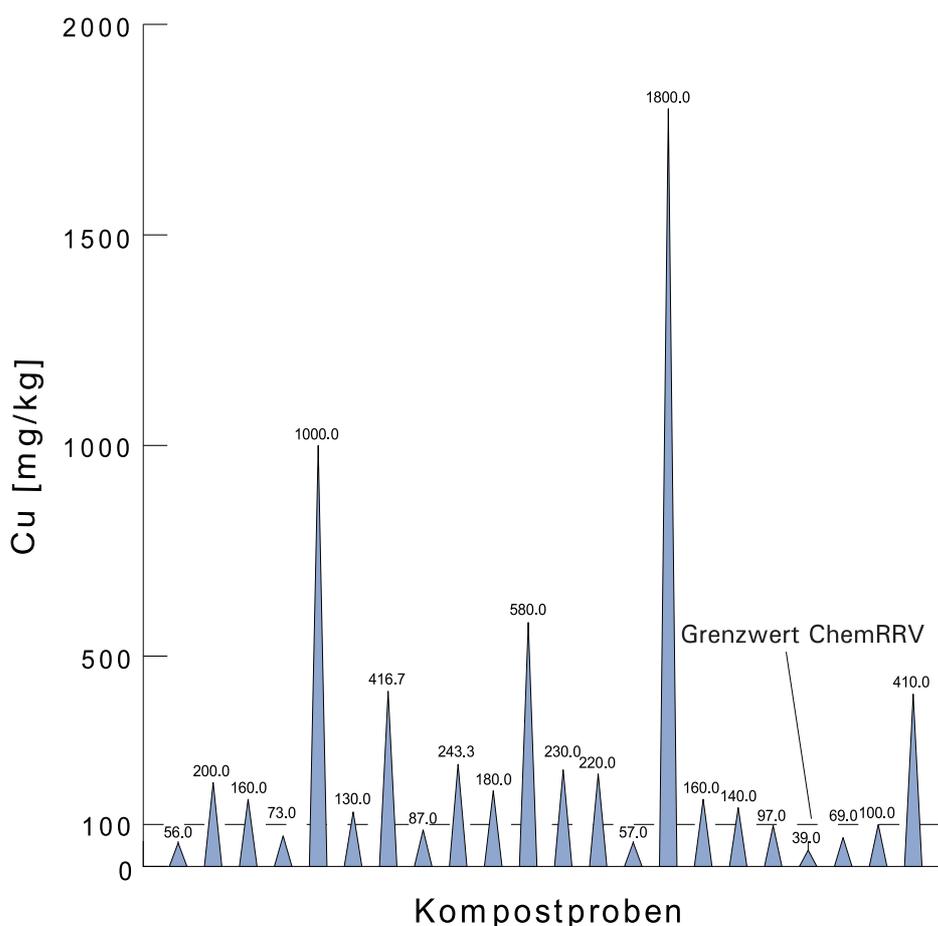


Abbildung 18 Kupfergehalte in Kompostproben von 22 Parzellen. (Angaben gemäss ChemRRV in mg/kg bezogen auf Trockensubstanz)

Für Kupfer wurde der Grenzwert der Chemikalien-Risikoreduktions-Verordnung²¹ auf 64% der beprobten Parzellen bis zum Achtzehnfachen²² überschritten. Für Zink und Cadmium ist dies etwas seltener der Fall, es kommt jedoch auch hier zu Überschreitungen.

Tendenziell wurden auf Parzellen mit höherer Bodenbelastung auch höhere Schwermetallkonzentrationen im Kompost verzeichnet. Hieraus lässt sich ein ursächlicher Zusammenhang zwischen der Bodenbelastung und der Verunreinigung des Kompostes ableiten.

Die Beziehung zwischen den logarithmierten Boden- und Kompostgehalten kann mit Hilfe einfacher linearer Regressionsgleichungen beschrieben werden:

$$\log \text{Cd}_{\text{Kompost}} = 0.939 \times \log \text{Cd}_{\text{Boden}} - 0.206 \quad R^2 = 0.59 \quad [3]$$

$$\log \text{Cu}_{\text{Kompost}} = 0.993 \times \log \text{Cu}_{\text{Boden}} - 0.242 \quad R^2 = 0.67 \quad [4]$$

$$\log \text{Zn}_{\text{Kompost}} = 1.077 \times \log \text{Zn}_{\text{Boden}} - 0.431 \quad R^2 = 0.64 \quad [5]$$

21 Die ChemRRV gibt Grenzwerte für das Inverkehrbringen von Kompost vor. Sie löste am 1.8.2005 die bis dahin geltende Stoffverordnung (StoV) ab; es gelten weiterhin dieselben Grenzwerte.

22 Dies gilt für eine Parzelle mit Sanierungswertüberschreitungen, ansonsten wurden die Grenzwerte bis zum Zehnfachen überschritten.

Abbildung 19 illustriert diesen Zusammenhang für Kupfer. Die Abbildungen für Zink und Cadmium sowie die Pearson Korrelationsmatrix sind dem Anhang A1-2 zu entnehmen.

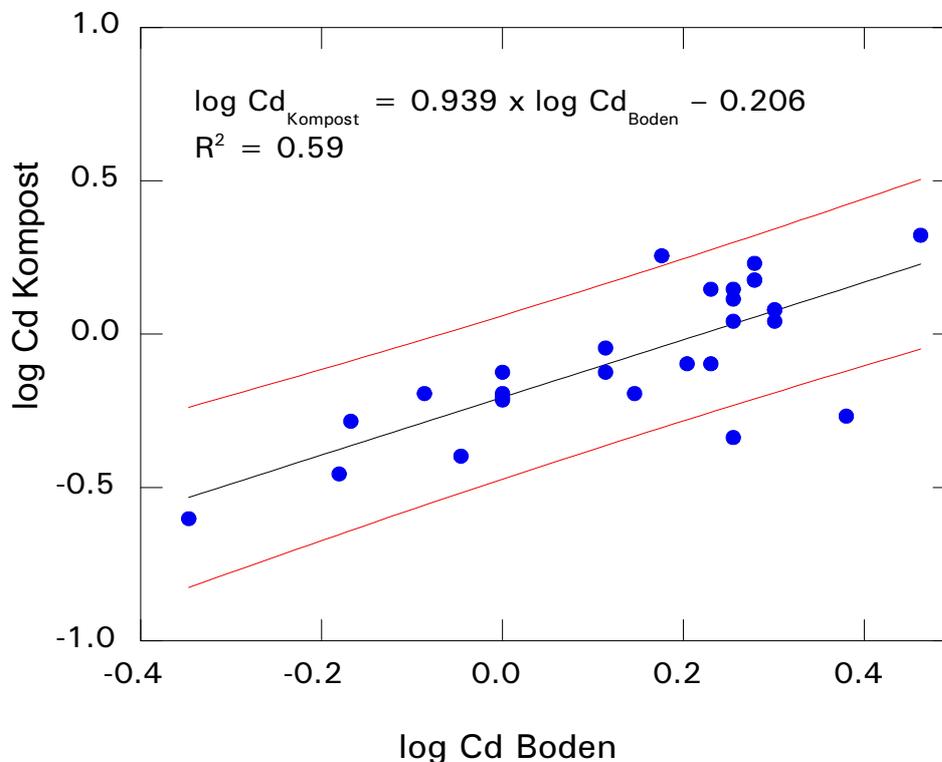


Abbildung 19 Regressionsanalyse Boden–Kompost für Cadmium. Die roten Linien geben die 5% und 95%-Konfidenzintervalle für gefittete Werte an.

Anhand der Gleichungen 3-5 zeigt sich, dass für Cadmium im Mittel ab einer Bodenkonzentration von ca. 1.7 mg/kg und für Kupfer im Mittel ab 180 mg/kg die Grenzwerte der Stoffverordnung überschritten werden. Bei Zink ist eine Überschreitung ab rund 650 mg/kg zu erwarten.

4.4.2 Gefährdungsmodellierung

Analog zur Gefährdungsanalyse (Kapitel 4.4.1) wurden im Rahmen der Gefährdungsmodellierung die relevanten Schwermetalle Cadmium (Schutzgut Mensch) und Kupfer (Schutzgut Tier) betrachtet. Die Ergebnisse werden im Folgenden in der Form gekerbter Boxplots für die Essgewohnheiten *BAG-Durchschnitt* und *Vegetarier* wiedergegeben. Hierbei wird vor allem auf den maximalen Ausschöpfungsgrad Bezug genommen.²³

²³ Dieser entspricht der Relation zwischen der berechneten Maximaldosis und dem verwendeten Referenzwert für die jeweils betrachtete Klassen nach Tabelle 5.

4.4.2.1 Aufnahme­pfad Boden-Nahrungspflanze-Mensch

Die Analyse der Gesamtfrachten zeigt unabhängig von den betrachteten Szenarien, dass Cadmium vor allem durch den Konsum von selbst angebauten Kartoffeln, Karotten, Sellerie und Salat aufgenommen wird. Hierbei macht sich vor allem die Stellung der Kartoffel als Grundnahrungsmittel bemerkbar. Werden alle Salate summiert, so werden über diese Gemüsesorte rund 12% der gesamten Cadmium-Fracht aufgenommen, was etwa dem Anteil der Karotten entspricht. Über die 4 höchsten Frachten (Kartoffeln, Karotten, Sellerie und Kopfsalat) erfolgt die Aufnahme von insgesamt etwa 70% der Gesamtfracht an Cadmium.

Tabelle 15 Anteil der Gemüsesorten an der Gesamtfracht an Cadmium in % für den Aufnahme­pfad Boden-Pflanze-Mensch (Jauslin 2005; IZB)

Rang	Gemüse	Anteil [%]
1	Kartoffel	41.8
2	Karotten, Möhren (Rüebli)	10.9
3	Sellerie	8.7
4	Kopfsalat	6.7
5	Tomate	4.3
6	Zwiebel	2.4
7	Blumenkohl	2.0
8	Wirsing (Wirzkohl)	1.3
9	Weiss- u. Spitzkohl (-kabis)	1.2
10	Rotkohl (-kabis)	1.0
11	Römischer Salat (Lattich)	0.9
12	Spinat / Schnittmangold (Krautstiel)	0.9
13	Randen (Rote Beete)	0.9
14	Übrige Kohlarten	0.8
15	Rettich	0.8
16	Batavia	0.8
17	Pflücksalat	0.8
18	Rauke (Rucola)	0.8
19	Eichblattsalat	0.8
20	Lollo Rosso	0.8

Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3)"

Abbildung 20 gibt die täglich aufgenommene Cadmiumdosis für Erwachsene wieder, die auf der Grundlage der im Rahmen des Projektes P3 gemessenen Pflanzengehalte ermittelt worden ist. Es zeigt sich in allen Fällen ein Ausschöpfungsgrad von weniger als 50% des Referenzwertes. Im Vergleich zu unbelasteten Pflanzen ergibt sich auf der Grundlage der Messdaten eine leicht erhöhte Aufnahme.

Für alle Altersklassen gilt, dass die Erhöhung der Cadmium-Dosis um so deutlicher ist, je höher der Selbstversorgungsgrad wird, da hierdurch ein grösserer Anteil höher belasteter Nahrung konsumiert wird. Für Vegetarier ist die Belastung dabei höher als für Nichtvegetarier.

Für *Kleinkinder* liegt die höchste Gefährdung vor, für die in der Abbildung dargestellten *Erwachsenen* die geringste. Diese beiden Altersklassen markieren folglich die beiden Extreme der Betrachtung. Die beiden Altersklassen *Kind* und *Jugendliche* liegen dazwischen.

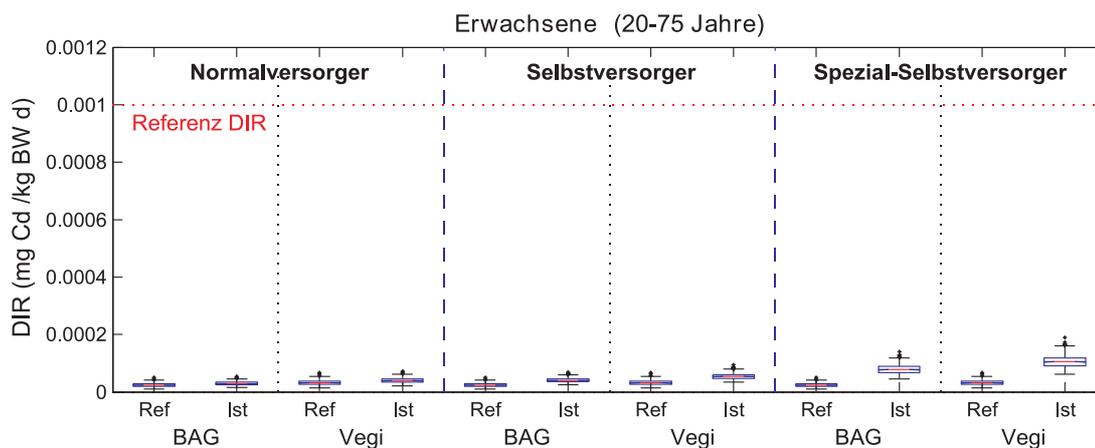


Abbildung 20 Tägliche Aufnahme rate [mg Cd/ (kg BW x d)] für Erwachsene durch Gemüsekonsum. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3)" für Normal-, Selbst- und Spezialselbstversorger

Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3, ergänzt)"

Gegenüber dem Szenario *Ist-Zustand (Messwerte P3)* sind die Aufnahme rates bei Berücksichtigung der Daten von Wirz und Winistörfer (1987), welche ebenfalls von Dornacher Gärten stammen, leicht erhöht. Allerdings steigt dabei auch die Streuung der Daten an. Der maximale Ausschöpfungsgrad steigt bei Kleinkindern von 41% im vorgenannten Szenario auf nun 54% (vgl. Abbildung 24). Alle berechneten Dosen liegen aber noch deutlich unter dem Referenzwert.

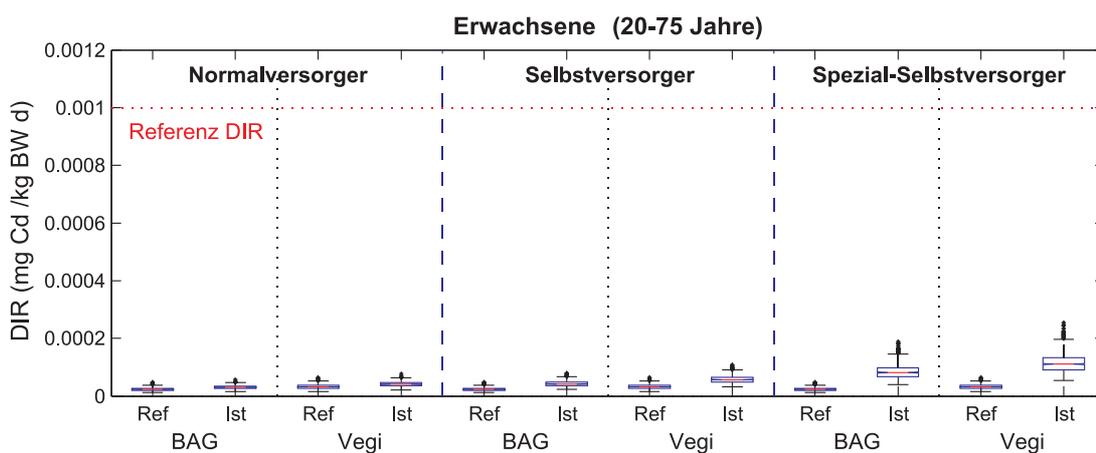


Abbildung 21 Tägliche Aufnahme rate [mg Cd/ (kg BW x d)] für Erwachsene durch Gemüsekonsum. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3, ergänzt)" für Normal-, Selbst- und Spezialselbstversorger

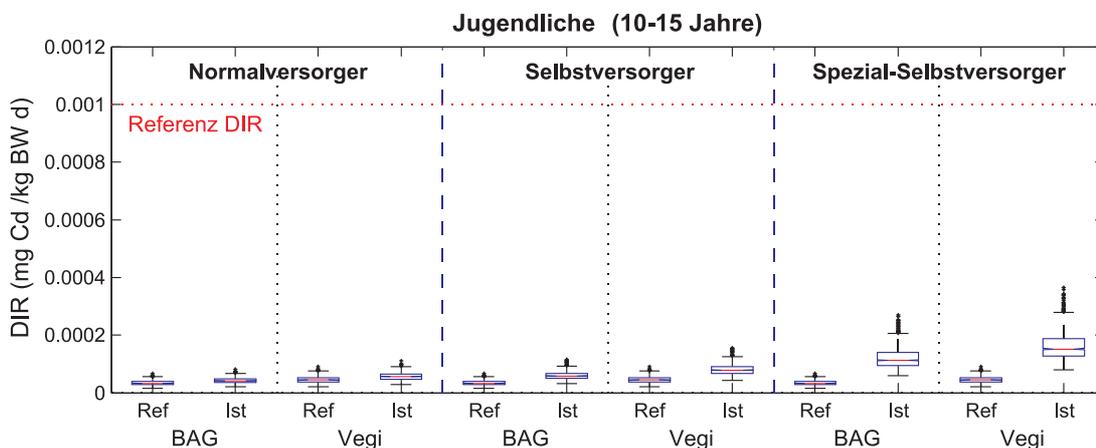


Abbildung 22 Tägliche Aufnahme rate [mg Cd/ (kg BW x d)] für Jugendliche durch Gemüsekonsum. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3, ergänzt)" für Normal-, Selbst- und Spezialselbstversorger

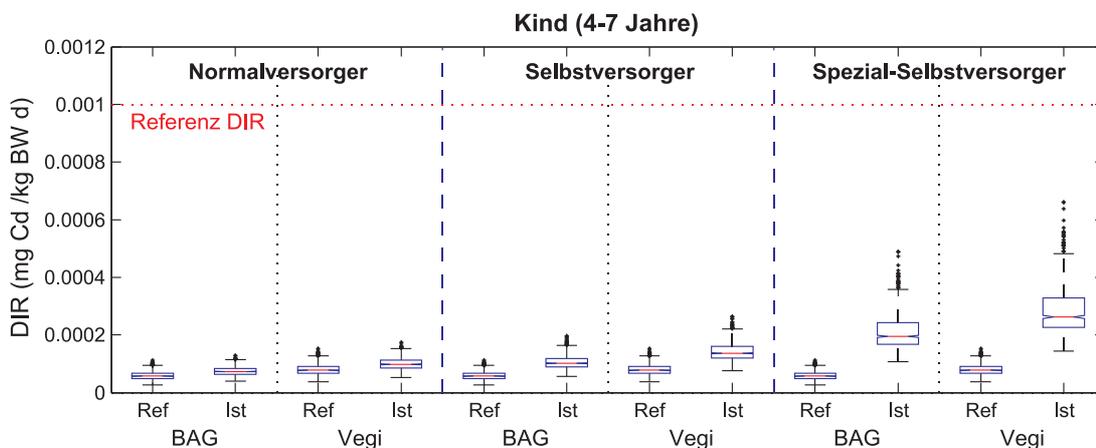


Abbildung 23 Tägliche Aufnahme rate [mg Cd/ (kg BW x d)] für Kinder durch Gemüsekonsum. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3, ergänzt)" für Normal-, Selbst- und Spezialselbstversorger

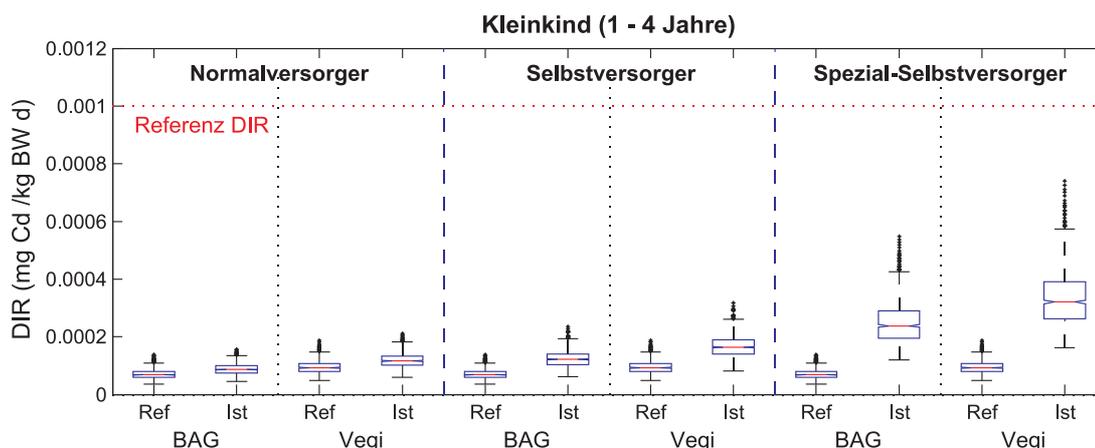


Abbildung 24 Tägliche Aufnahme rate [mg Cd/ (kg BW x d)] für Kleinkinder durch Gemüsekonsum. Szenario "Ist-Zustand (Messwerte P3, ergänzt)" für Normal-, Selbst- und Spezialselbstversorger

Szenario "Doppelte Pflanzenkonzentrationen"

Für die Berechnungen wurde angenommen, dass die Cadmium-Gehalte des zuletzt beschriebenen Szenarios in den Pflanzen um einen Faktor 2 erhöht sind. Für Kleinkinder ergibt sich bei vegetarischer Ernährungsweise und sehr hohem Selbstversorgungsanteil (Spezialselbstversorger) eine Überschreitung des Referenzwertes in rund 6% der Fälle. Auch beim Fall BAG Durchschnitt beträgt der Ausschöpfungsgrad rund 80%. Hier liegt rund 1% der Werte über dem Referenzwert. Liegt der Selbstversorgungsgrad bei 30%, wie im Fall Selbstversorger, so liegt die Aufnahme rate für Cadmium deutlich unter dem Referenzwert und beträgt für den Fall der fleischlosen Ernährung rund 39%.

Für *Erwachsene* liegt der Ausschöpfungsgrad des Referenzwert auch im schlechtesten Fall (Selbstversorgungsgrad 100%, Vegetarier) bei etwa 35%.

Die beiden Altersklassen *Kinder* und *Jugendliche* liegen zwischen den Aufnahme rates von Kleinkindern und Erwachsenen. Der Ausschöpfungsgrad für Kinder liegt im Fall der Spezialselbstversorger mit vegetarischer Lebensweise bei rund 88%. Etwa 2% der Werte überschreiten den Referenzwert. Bei den Jugendlichen liegt der Wert im gleichen Fall bei 51%; der Referenzwert wird hierbei nicht überschritten.

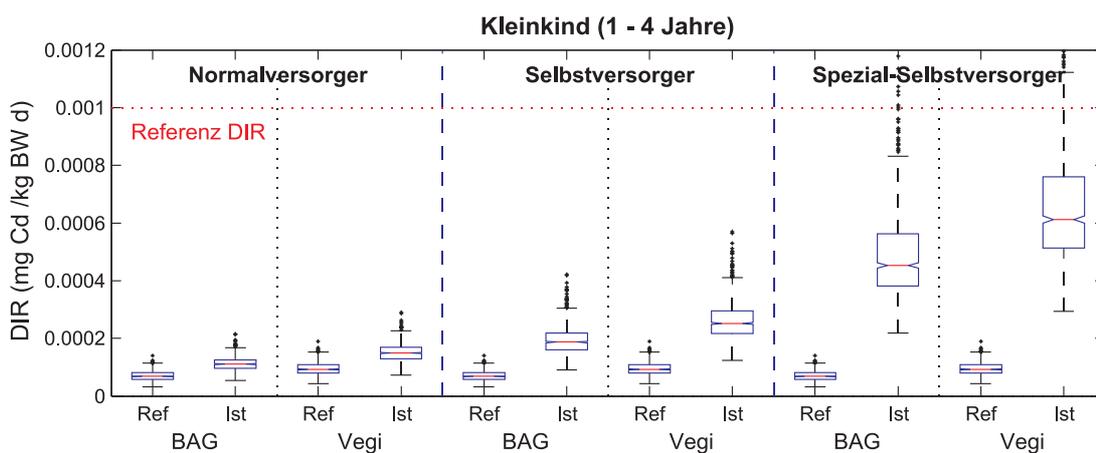


Abbildung 25 Tägliche Aufnahme rate für Kleinkinder durch Gemüsekonsum [mg Cd/ (kg BW x d)]. Szenario "Doppelte Pflanzenkonzentration"

Szenario "Verzicht auf frachtmässig relevante Gemüse"

Dieses Szenario verwendet dieselben Daten wie das Szenario "doppelte Pflanzengehalte", verzichtet jedoch auf den Verzehr der fünf gemäss Tabelle 15 für die Gesamtaufnahme bedeutsamsten Gemüse. In der Folge wird der Referenzwert nicht mehr überschritten. Das 95%-Perzentil für den Ausschöpfungsgrad beträgt für den Spezialselbstversorger und den Vegetarier noch 25%. Damit liegt der Wert rund 75% tiefer als beim Szenario "doppelte Pflanzenkonzentration" was etwa dem Beitrag der 5 Gemüsesorten zur Gesamtfracht entspricht.

Wird anstelle eines Verzichts auf die fünf Gemüse lediglich der Eigenversorgungsgrad auf 50 % vermindert, reduziert sich der Ausschöpfungsgrad ebenfalls merklich, so dass der Referenzwert nicht mehr erreicht wird.

Transferfunktionen

Die Verwendung der Transferfunktionen des deutschen Umweltbundesamtes (Knoche et al. 1999) anstelle der im Rahmen des Projektes P3 erhobenen und mit Literaturdaten ergänzten Werte führte zu einer etwa doppelt so hohen Aufnahme von Cadmium.

Variation Speiseplan

Auf der Basis der Szenarien "Ist-Zustand" und "Doppelte Pflanzengehalte" wurde berechnet, wieviele Portionen einer Gemüsesorte pro Jahr konsumiert werden können, ohne dass langfristig mit gesundheitlichen Problemen gerechnet werden muss. Hierbei wurden keine Wechselwirkungen betrachtet.

Die Berechnungen zeigen, dass Kleinkinder bei Sellerie im Durchschnitt 180 Portionen à 135 g (Ernährungsweise: Vegetarier) pro Jahr konsumieren dürfen. Für die Maximaldosis ergeben sich 95 Portionen, bei doppelter Konzentration sind es für die Maximaldosis noch 48 Portionen.

Für Gemüse ab Rang 5 (vgl. Tabelle 15) dürfen die Gemüse - auch mit der Maximaldosis gerechnet - täglich konsumiert werden; auf der Basis des Mittelwerts sind es alle Gemüse ausser Sellerie.

Die Berechnungen für die Erwachsenen zeigen, dass alle Gemüse ausser Sellerie täglich konsumiert werden dürfen und ab Rang 3 sogar mehrmals täglich eine Portion von 250 g aufgenommen werden darf.

Bei den Beilage-Portionen zeigt sich, dass bei den Kleinkindern wiederum alle Gemüse ausser Sellerie täglich konsumiert werden dürfen. Wird mit dem Mittelwert gerechnet, so können die Gemüse (ausser Sellerie und Schnittmangold) mehrmals täglich konsumiert werden.

Erforderliche Anbaufläche

Die für eine vollständige Selbstversorgung einer Familie²⁴ erforderliche Anbaufläche beträgt je nach zu Grunde gelegten Erntemengen 100 bis 170 m². Die im Projektperimeter angetroffene Gartengrösse betrug etwa 70 bis 100 m², so dass eine Eigenversorgung grundsätzlich möglich erscheint.

4.4.2.2 Aufnahmepfad Boden-Mensch

Die Abschätzung der direkten Bodenaufnahme, bei der von einer täglichen Exposition gegenüber dem kontaminierten Boden ausgegangen wurde, zeigt, dass der Referenzwert in keinem Szenario in erheblichem Masse ausgeschöpft wird. Der Ausschöpfungsgrad für Kleinkinder beträgt im schlimmsten Fall rund 16%. Die anderen Altersklassen liegen deutlich tiefer. Wird die Exposition gegenüber dem Boden reduziert, vermindert sich auch die Aufnahme in entsprechendem Masse. Die Ergebnisse sind in der folgenden Abbildung grafisch dargestellt.

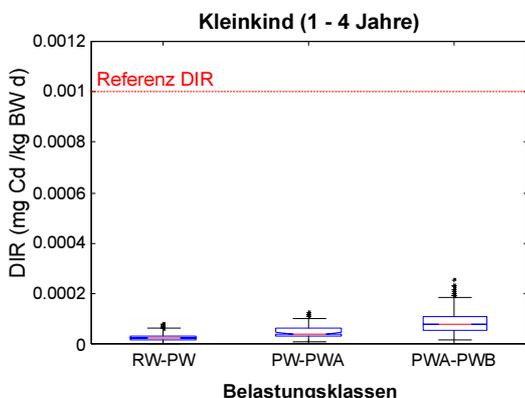


Abbildung 26 Orale Bodenaufnahme durch Kleinkinder. Szenario "Ist-Zustand"

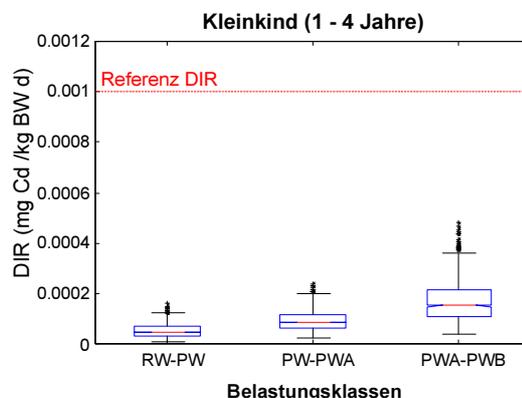


Abbildung 27 Orale Bodenaufnahme durch Kleinkinder. Szenario "Worst Case"

4.4.2.3 Totale orale Schadstoffaufnahme

Zur Erhebung der gesamten Cd-Aufnahme wurden die in den vorangegangenen Kapiteln dargestellten Ergebnisse der beiden Aufnahmepfade Boden-Pflanze-Mensch und Boden-Mensch kombiniert. Das Hauptaugenmerk wurde dabei auf Kleinkinder gelegt, da sich bei der vorangehenden Einzelbetrachtung für diese Gruppe jeweils das höchste Risiko ergab.

²⁴ Annahme: 2 Erwachsene, 1 Kind

Für die summative Betrachtung wurde der Referenzwert der WHO von $1 \mu\text{g Cd}$ pro Kilogramm Körpergewicht und Tag um 20% reduziert. Dies entspricht dem durchschnittlichen Ausschöpfungsgrad (Zimmerli und Erard 1980) und trägt dem Umstand Rechnung, dass nicht die gesamte durchschnittliche Cd-Aufnahme über Gemüse erfolgt.

Der Anteil der direkten Bodenaufnahme an der totalen oralen Schadstoffingestion ist vergleichsweise gering, so dass sich dasselbe Muster wie für den Aufnahmepfad Boden-Pflanze-Mensch zeigt, jedoch auf erhöhtem Niveau.

Abbildung 28 zeigt die totale Aufnahme an Cadmium für die verschiedenen betrachteten Szenarien und Ernährungsformen.

Für Kleinkinder aus der Gruppe der Selbstversorger wird der Referenzwert bei keinem der betrachteten Szenarien erreicht. Bei ausschliesslicher Selbstversorgung (Gruppe Spezialebstversorger) wird der Referenzwert dagegen im Szenario doppelte Pflanzenkonzentrationen deutlich überschritten und selbst bei einem Verzicht auf frachtrelevante Gemüsesorten knapp erreicht.

Der Ausschöpfungsgrad ist bei beiden betrachteten Selbstversorgungsgraden bei vegetarischer Ernährungsweise markant höher.

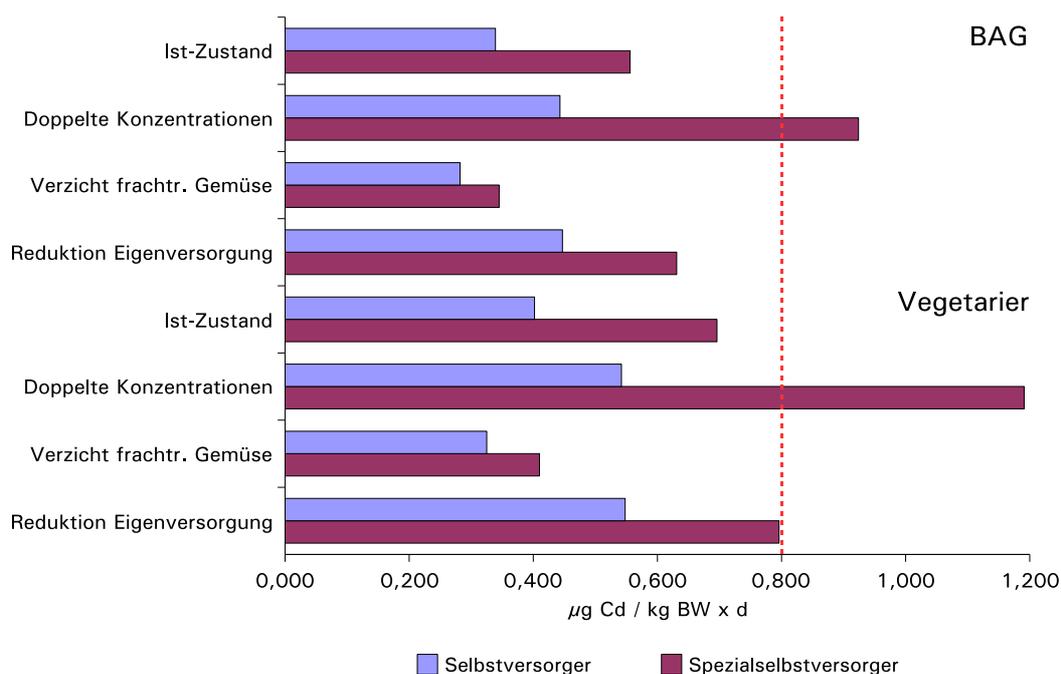


Abbildung 28 Totale orale Cd-Aufnahme über die Aufnahmepfade Boden-Pflanze-Mensch und Boden-Mensch durch Kleinkinder für die verschiedenen betrachteten Szenarien. Die Balken geben die Werte für das 95%-Perzentil an. Der Referenzwert DIR wurde angepasst (siehe Text). Frachtr. = frachtrelevant.

4.4.2.4 Aufnahmepfad Boden-Futterpflanze-Tier

Bei der Betrachtung der Schadstoffaufnahme durch Tiere wurde primär die Kupferaufnahme durch Wiederkäuer untersucht. Besonders relevant ist hierbei das Schaf, da diese Tierart eine geringe Toleranzschwelle gegenüber diesem Schwermetall aufweist und die Schafhaltung innerhalb des Bodenbelastungsgebietes Dornach betrieben wird.

Die Betrachtung erfolgte anhand der beiden Szenarien "Grünfutter" und "Weidegang". Bei ersterem wurde die Cu-Aufnahme über Grünfutter simuliert, wobei die Verunreinigung mit anhaftender Erde in Stufen berücksichtigt wurde. Gemessen an der beim Weidegang von Schafen üblichen Bodenaufnahme ist der angenommene Erdaufnahmeanteil eher gering.

Beim zweiten Szenario wurde zusätzlich zur Cu-Aufnahme über das Pflanzenmaterial beim Weiden direkt aufgenommenes Bodenmaterial berücksichtigt. Dessen Anteil ist erfahrungsgemäss höher als bei der blossen Futternutzung.

Zur Beurteilung des Grünfutters wurden die Grenzwerte nach FMBV herangezogen, für diejenige des Weidegangs die Schwellenwerte²⁵ nach Kessler (1993). Bei beiden Szenarien zeigte sich, dass weniger die Schwermetallgehalte in den Pflanzen selbst, sondern die Menge anhaftenden bzw. direkt aufgenommenen Bodenmaterials ausschlaggebend für die Gefährdung ist.

Szenario "Grünfutter"

In diesem Szenario wurde der Verunreinigungsgrad in Schritten von 0 bis 15% erhöht und geprüft, ab welchem Verunreinigungsgrad der Höchstwert der FMBV für das Futter erreicht wird. Gemäss BUWAL 2005 ist ein Verunreinigungsgrad von 15% bei Grünfutter durchaus möglich.

Der FMBV-Höchstwert für das Schaf wird bereits bei Kupferkonzentrationen im Boden unterhalb des Prüfwerts ab einem Erdanteil von rund 5% überschritten²⁶. Mit zunehmender Bodenbelastung wird der Einfluss erdiger Verunreinigungen grösser. Bei Bodengehalten zwischen Prüfwert und Prüfwert A wird der FMBV-Höchstwert für das Schaf ab einem Erdanteil von rund 2.5% erreicht, derjenige für das Rind unter 10%. Im Bereich zwischen Prüfwert B und dem Sanierungswert kommt es bereits bei geringen erdigen Verunreinigungen zu einer Überschreitung der Grenzwerte für beide Tierarten. Die folgende Abbildung 29 zeigt den Zusammenhang.

25 Unterer Schwellenwert = Toleranzschwelle

Oberer Schwellenwert = Toxizitätsschwelle

26 Diese Aussagen gelten für die Maximalwerte der angenommenen Verteilungen.

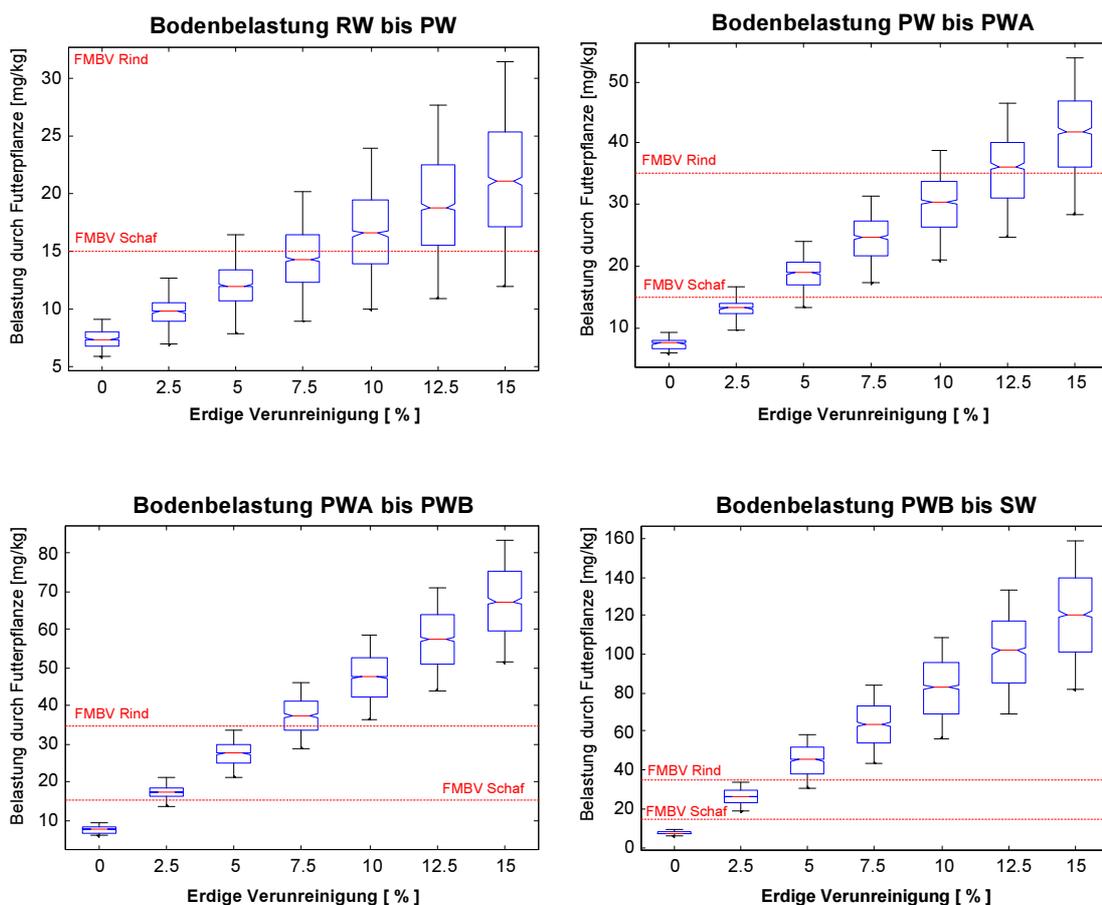


Abbildung 29 Belastung von Futterpflanzen nach Belastungsbereichen mit erdiger Verunreinigung von 0–15%. Szenario "Grünfutter"

Szenario "Weidegang"

In Analogie zum Szenario "Grünfutter" zeigt Abbildung 30 die Belastung von Futterpflanzen in 5%-Schritten der erdigen Verunreinigung von 0 auf 30% für das Szenario "Weidegang".

Die Abbildung verdeutlicht, dass der obere Schwellenwert für Schafe in Futtermitteln ab dem Cu-Prüfwert bereits bei einem Verunreinigungsgrad von unter 10% überschritten wird. Ab dem Prüfwert A (300 mg Cu/kg TS) muss bereits bei 5% Verunreinigung mit einer Überschreitung des oberen Schwellenwertes gerechnet werden. Im Bereich hoher Bodenbelastung wird der obere Schwellenwert selbst bei geringer Erdaufnahme erreicht bzw. überschritten.

Für das Rind wird der obere Schwellenwert bei Bodengehalten zwischen dem Prüfwert A und B und einem Verunreinigungsgrad von 20% überschritten²⁷.

²⁷ Ohne Abbildung. Details siehe Jauslin (2005; IZB).

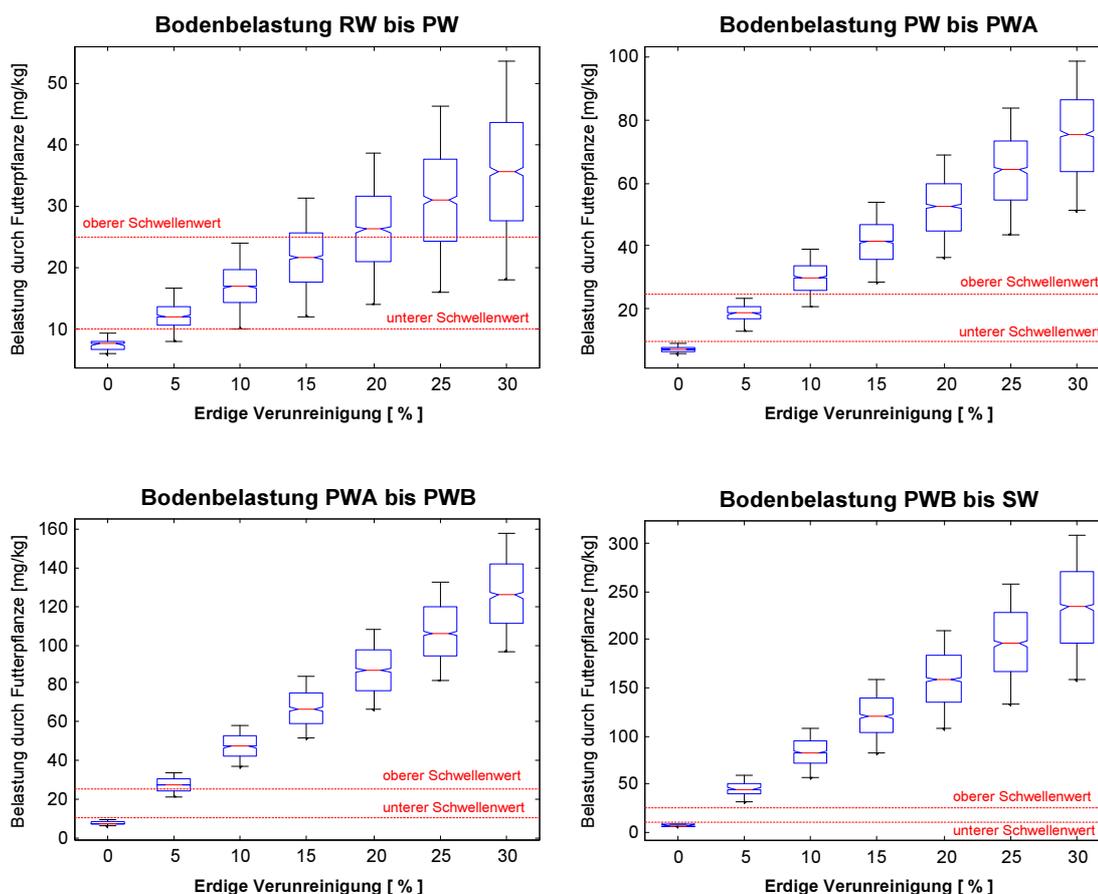


Abbildung 30 Belastung von Futterpflanzen nach Belastungsbereichen mit erdiger Verunreinigung von 0–30%. Szenario "Weidegang". Schwellenwerte für das Schaf²⁸

4.4.3 Gefährdungsbeurteilung

Im Folgenden wird die Gefährdungssituation für die Schutzgüter Mensch und Tier anhand der in Kapitel 3.6.6 beschriebenen Kriterien beurteilt. Hierbei werden das Handbuch Gefährdungsabschätzung (BUWAL 2005) und die Ergebnisse der Gefährdungsmodellierung herangezogen. Abschliessend erfolgen auf der Grundlage der Stoffverordnung Aussagen zur Kompostverwendung.

4.4.3.1 Aufnahmepfad Boden-Pflanze-Mensch

Der Ermittlung der Gefährdungskategorie gemäss Handbuch liegen jeweils die in den Pflanzen ermittelten Höchstwerte zu Grunde.

Die höchsten Cadmium-Konzentrationen wurden in Knollensellerie gemessen. Hierbei wurde der FIV-Grenzwert auf 2 Parzellen überschritten, so dass diese Pflanzen nicht mehr für die menschliche Ernährung geeignet sind und nicht in Verkehr gebracht werden dürfen. Gemäss Handbuch ist in diesem Fall mit einer *konkreten Gefährdung* zu rechnen.

²⁸ Unterer Schwellenwert = Toleranzschwelle
 Oberer Schwellenwert = Toxizitätsschwelle

Tabelle 16 Ermittlung der Gefährdungskategorie (Cadmium)

Pflanze	Normalgehalt	Höchstgehalt	GW _{kGm}	Messwert _{max}
Knollensellerie	0.007	0.2	0.054	0.300
Schnittmangold	0.005	0.2	0.103	0.124
Lauch (Porree)	0.007	0.05	0.029	0.009
Zwiebeln	0.002	0.05	0.026	0.009

GW_{kGm} = Grenzwert *konkrete Gefährdung möglich*; aus Normal- und Höchstgehalt berechneter Quotient nach Tabelle 9 (BUWAL 2005)

Bei anderen Gemüsen treten keine Überschreitungen der FIV-Grenzwerte auf. Für Schnittmangold ergab die Berechnung gemäss Tabelle 9 die Gefährdungskategorie *konkrete Gefährdung möglich*.

Die mit Hilfe des Handbuchs Gefährdungsabschätzung ermittelten Gefährdungskategorien können durch die Ergebnisse der Gefährdungsmodellierung differenziert und um vielfältige Konsumaspekte ergänzt werden.

Die Gefährdungsmodellierung hat gezeigt, auf welche Gemüsearten die grössten Gesamtfrachten zurückzuführen sind. Von den in Tabelle 16 erfassten Gemüsen kommt hierbei primär dem Knollensellerie Bedeutung zu, dessen Beitrag mit rund 9% beziffert wurde. Dennoch ergibt sich auf der Grundlage der im Projektperimeter ermittelten Schadstoffgehalte ungeachtet des Alters, des Selbstversorgungsgrades oder der Ernährungsweise keine Überschreitung des Referenzwertes der WHO. Hierbei ist allerdings ein im Vergleich zum gesamtschweizerischen Durchschnitt deutlich erhöhter Ausschöpfungsgrad festzustellen.

Kleinkinder sind insgesamt dem grössten Risiko ausgesetzt. In allen betrachteten Szenarien ist ihre körperlgegewichtsbezogene tägliche Aufnahme am grössten und die der Erwachsenen am geringsten. Die beiden anderen betrachteten Altersgruppen liegen zwischen diesen Extremen.

Generell kann bemerkt werden, dass die Zunahme der täglichen körperlgegewichtsbezogenen Cadmiumdosis mit zunehmendem Selbstversorgungsgrad ansteigt. Ein Selbstversorgungsgrad von 50% deutete bei keinem Szenario auf eine Gefährdung hin. Aufgrund der Grösse vieler Anbauflächen im Projektperimeter ist eine vollständige Eigenversorgung möglich, wenngleich nicht die Regel.

Analog zur Selbstversorgung ist auch für Vegetarier das Risiko erhöht.

Hieraus ergibt sich, dass bei angenommenen doppelten Pflanzenkonzentrationen eine Gefährdung der Kleinkinder eintritt, wenn diese vegetarisch ernährt werden und Gemüse verzehren, welches ausschliesslich aus dem über dem Prüfwert belasteten Bereich des Untersuchungsperimeters stammt. Auch für die Altersklasse Kind ist unter diesen Umständen ein sehr hoher Ausschöpfungsgrad von 87% zu verzeichnen.

Ein Verzicht auf die Selbstversorgung mit den 5 hinsichtlich der Gesamtaufnahme an Cadmium bedeutensten Gemüsen (Kartoffeln, Karotten, Sellerie, Salat und Tomaten) reduziert die Cd-Aufnahme entscheidend. Die Aufnahme für Kleinkinder reduziert sich dadurch um 75%; bereits ein Verzicht auf Kartoffeln hat eine Reduktion um 40% zur Folge. Eine Gefährdung tritt in der Folge in beiden Fällen nicht mehr auf.

4.4.3.2 Aufnahmepfad Boden-Mensch

Eine Beurteilung der Gefährdungssituation im Hinblick auf Cadmium ist auf der Grundlage des BUWAL-Handbuchs Gefährdungsabschätzung nicht möglich, da das darin enthaltene Expertensystem nicht für den im Untersuchungsperimeter ange-troffenen Wertebereich der Cadmium-Belastung verwendet werden kann. Der Prüf-wert der VBBo für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme von 10 mg/kg TS wird mit Ausnahme des Metallwerkstandortes nirgends erreicht oder überschritten. Dies gilt sowohl für die Entnahmetiefe der Bodenproben von 0-20 cm, als auch von 0-5 cm, woraus sich für diesen Transferpfad die Gefährdungs-klasse *keine Gefährdung* ergibt.

Diese Klassierung konnte mit der Gefährdungsmodellierung bestätigt werden, weshalb die orale Bodenaufnahme für sich alleine keine Gefährdung darstellt. Der Referenzwert wurde zu maximal einem Drittel ausgeschöpft. Auch hier zeigte sich die grösste Gefährdung beim Kleinkind.

Die Reduktion der Exposition gegenüber dem Boden hat eine markante Verringe- rung des Risikos zur Folge, woraus sich die Bedeutung dieses Vorgangs als allen- falls zu empfehlende Massnahme ableiten lässt.

4.4.3.3 Totale orale Schadstoffaufnahme

Für Kleinkinder aus der Gruppe der Selbstversorger wird der angepasste Referenz- wert bei keinem der betrachteten Szenarien erreicht, bei ausschliesslicher Selbst- versorgung unter Annahme doppelter Pflanzenkonzentrationen deutlich über- schritten. Selbst der Verzicht auf frachtrelevante Gemüsesorten reicht hier für eine Risiko-Reduktion nicht aus. Der Ausschöpfungsgrad ist bei beiden betrachteten Selbstversorgungsgraden bei vegetarischer Ernährungsweise markant höher.

4.4.3.4 Aufnahmepfad Boden-Pflanze-Tier

Bei den Analysen des Grünfutters wurden keine Überschreitungen der FMBV- Höchstgehalte festgestellt. Die Ermittlung der Gefährdungskategorie gemäss Tabelle 10 ergab für Cadmium *keine Gefährdung*.

Für Kupfer kann jedoch unter Bezugnahme auf den Höchstgehalt für das Schaf eine konkrete Gefährdung nicht ausgeschlossen werden. Es ergibt sich hier die Katego- rie *konkrete Gefährdung möglich*. Hierbei werden die Anhaftung von Bodenmaterial und der Weidegang der Tiere nicht berücksichtigt.

Tabelle 17 Ermittlung der Gefährdungskategorie für Futtergras

SM	Normalgehalt	Höchstgehalt	GW _{kGm}	Messwert _{max}
Cadmium	0.01	1	0.51	0.095
Kupfer	0.5	15 (Schaf)	7.75	7.9
		35 (Rind)	17.75	7.9

GW_{kGm} = Grenzwert *konkrete Gefährdung möglich*; aus Normal- und Höchstgehalt berechneter Quotient ge- mäss Tabelle 10 (BUWAL 2005)

Die Gefährdungsmodellierung hat gezeigt, dass die Belastung des Futtermittels vor allem durch den Grad der Verunreinigung mit belasteter Erde beziehungsweise der direkten Bodenaufnahme beim Weidegang bestimmt wird. Der Höchstgehalt der FMBV für das Schaf wird bei einem Anteil erdiger Verunreinigungen des Grünfutters von 2.5% überschritten, derjenige für das Rind bei rund 9%²⁹.

Der untere beziehungsweise obere Schwellenwert für Futtermittel wird beim Schaf bei einer Bodenbelastung im Bereich des Prüfwerts bereits bei einem Erdanteil von weniger als 10% erreicht. Für das Rind wird der obere Schwellenwert bei Bodengehalten zwischen dem Prüfwert A und B und einem Verunreinigungsgrad von 20% überschritten.

Eine Gefährdung von Schafen durch Weidegang erscheint für die Prüfwertzone also in jedem Fall als gegeben. Weidende Kühe oder Rinder sind dagegen erst bei höheren Bodenbelastungen gefährdet. Eine Gras- oder Heunutzung für Rinder ist unter der Bedingung, dass das Material möglichst sauber geerntet wird, vertretbar.

4.4.3.5 Kompost

Die in der Stoffverordnung definierten Qualitätsanforderungen an Kompost wurden auf einer Vielzahl der beprobten Parzellen nicht erfüllt. Die Regressionsanalysen haben gezeigt, dass bereits bei Cadmiumgehalten im Boden unterhalb des Prüfwerts mit unzulässig hohen Konzentrationen im Kompost gerechnet werden muss. Für Kupfer tritt derselbe Fall unterhalb des Prüfwerts A ein.

Bei üblichen Gaben ist daher damit zu rechnen, dass sich die Schwermetalle im Boden übermässig anreichern. Da hieraus lokal, das heisst vor allem in den Pflanzbeeten, ein Anstieg der Schwermetallkonzentrationen resultiert, trägt die Verwendung von selbst erzeugtem Kompost auf Parzellen, die höhere Belastungen als 1.7 mg/kg Cadmium beziehungsweise 180 mg/kg Kupfer oder 650 mg/kg Zink aufweisen, mittel- beziehungsweise langfristig zu einer Verschlechterung der Situation im Hinblick auf die Bodengehalte und somit zur Gefährdung bei. Eine Verwendung solchermaßen belasteten Komposts im Familiengarten- und Quartierbereich wird von der kantonalen Behörde gestützt auf Art. 8 VBBo zu beurteilen sein (Verhinderung weiterer Zunahme der Bodenbelastung). Auf den Parzellen, deren Bodengehalte die oben genannten Limite unterschreiten, erscheint die Verwendung der angetroffenen Komposte dagegen möglich.

4.4.3.6 Zusammenfassende Gefährdungsbeurteilung

Bei alleiniger Betrachtung einzelner Aufnahmepfade unter den Bedingungen des Ist-Zustandes ergibt sich zwar ein gegenüber dem gesamtschweizerischen Durchschnitt erhöhtes Risiko; hieraus lässt sich jedoch keine allgemeine Gefährdung ableiten.

Unter den gegebenen Umständen erscheint lediglich unter ungünstigen Voraussetzungen eine Gefährdung durch den Verzehr belasteter Gemüse gegeben, zumindest bei Kleinkindern. Dies gilt umso mehr, wenn die Kombination von Aufnahmepfaden betrachtet wird (vgl. Kapitel 4.4.2.3). So ist für Kleinkinder, die vegetarisch aus dem eigenen Garten ernährt werden und dort regelmässig beim Spielen oral Boden aufnehmen, eine Gefährdung möglich, wenn Selbstversorgungs-

²⁹ Diese Aussagen gelten für die Maximalwerte der angenommenen Verteilungen.

grad und Schadstoffgehalte hoch sind. Kommen andere Expositionen wie etwa das (Passiv-)Rauchen hinzu, ist eine Verschlechterung der Situation zu erwarten.

Der Referenzwert der WHO gilt für chronische Wirkungen, impliziert also eine lange andauernde Exposition des Schutzgutes gegenüber der Belastung. Bei heranwachsenden Kleinkindern nimmt die gewichtsbezogene Aufnahme bei gleichbleibender Exposition jedoch aufgrund der Gewichtszunahme deutlich ab, so dass der Referenzwert mit zunehmendem Alter unterschritten wird. Hiermit sinkt auch die Wahrscheinlichkeit chronischer Schäden markant.

Hinsichtlich des Weidegangs von Tieren innerhalb der Prüfwertzone muss für Schafe von einer Gefährdung ausgegangen werden. Für Rinder ist diese geringer, sie ist jedoch im "oberen Prüfwertbereich" unter ungünstigen Bedingungen nicht auszuschliessen. Die Gras- oder Heunutzung erscheint demgegenüber weitgehend unproblematisch, solange das Futter nicht übermässig verschmutzt ist.

Die Verwendung von Kompost innerhalb der Prüfwertzone erscheint aufgrund der vorliegenden Resultate nicht empfehlenswert, da die indikativ herangezogenen Grenzwerte der Stoffverordnung bereits bei relativ niedrigen Cadmium- und Kupfergehalten im Boden überschritten werden.

4.5 Qualitätssicherung

Im Verlauf des Projekts schälten sich drei Hauptthemen mit Auswirkungen auf Nachvollziehbarkeit und Reproduzierbarkeit heraus:

- Schnittstellenprobleme mit erheblicher Fehlerhäufigkeit und sich daraus ergebendem Mehraufwand bei der Bearbeitung und Datenpflege. Es handelte sich hauptsächlich um Flüchtigkeits-, Übertragungs- und Schreibfehler in Tabellen und Resultatblättern.
- Die Problematik der Erfassung und Definition der kombinierten Messunsicherheit, deren Berücksichtigung in der Planung und geostatistischen Berechnung. Dabei kam auch der Teilaspekt des Laborbias zwischen verschiedenen Labors zum Vorschein.
- Die parzellenscharfe Abgrenzung von topografisch uneinheitlichen Parzellen sowie die Darstellung von topografisch bedingten Belastungssprüngen, insbesondere an Hangkanten.

Diese Fragestellungen konnten anlässlich der in Phasen gegliederten Bearbeitung mit Zwischenbesprechungen und –berichten angegangen und gelöst werden.

Aus Sicht der QS wurde das Projekt korrekt, nachvollziehbar und mit reproduzierbaren Resultaten abgewickelt. Das Projektziel konnte inhaltlich sowie termin- und kostengerecht erreicht werden.

Ausblick

5 **Ausblick**

Mit dem vorliegenden Synthesebericht sind die Datenerhebungen und Auswertungen des Projektes P3 abgeschlossen. Die vorhandene Datenbasis erlaubt eine hinreichend genaue Unterteilung des Untersuchungsperimeters in *Richtwert-, Prüfwert- und Sanierungswertzonen*. Die geforderte Zuordnung der Parzellen zu einer solchen Zone ist erfolgt und in der Belastungskarte kartografisch festgehalten. Die Sanierungswertzone wurde dabei parzellenscharf, die Prüf- und die Richtwertzone blockscharf abgegrenzt. Die Phase *Abgrenzung* ist damit abgeschlossen.

Die erhobenen Daten ermöglichen auch eine detaillierte Beurteilung der Gefährdungssituation, wobei durch das Zusatzprojekt Gefährdungsmodellierung insbesondere auch die Unsicherheiten berücksichtigt werden konnten. Insgesamt ist es nun möglich, Massnahmen zur Gefährdungsabwehr für den Bereich der Prüfwertzone zu erarbeiten. Die Phase Gefährdungsabschätzung hat damit das in Kapitel 2 formulierte Teilziel erreicht.

Aufbauend auf die nun vorliegenden Erkenntnisse folgt die konkrete Umsetzung im Rahmen des Vollzugs. Zuständig sind die kantonalen Behörden.

Literatur

6 Literatur

6.1 Berichte Projekt Zusatzuntersuchungen P3

Im Rahmen der Projektbearbeitung wurden von den einzelnen beteiligten Projektmodulen phasenweise Zwischenberichte zuhanden der Projektleitung erstellt. Diese entsprechen dem jeweiligen Stand der Arbeiten. Aus Datenschutzgründen sind diese Berichte interner Natur.

Probenahme / Anbauversuche / Auswertung / GIS (Modul A)

- Kayser, A., Presler, J., Kägi, J., Meuli, R., Klaus, G. (2003): Bodenbelastungsgebiet Dornach, Zusatzuntersuchungen (Projekt P3) - Erster Zwischenbericht Modul A. 24. November 2003
- Kayser, A., Presler, J., Kägi, J., (2004a): Bodenbelastungsgebiet Dornach, Zusatzuntersuchungen (Projekt P3) - Zweiter Zwischenbericht Modul A. 24. Juli 2004
- Kayser, A., Pfenninger, S., Presler, J. (2004b): Bodenbelastungsgebiet Dornach, Zusatzuntersuchungen (Projekt P3) - Anbauversuche. 6. November 2004
- Kayser, A., Presler, J., Kägi, J., (2005): Bodenbelastungsgebiet Dornach, Zusatzuntersuchungen (Projekt P3) – Dritter interner Zwischenbericht Modul A. 14. Januar 2005
- Kayser, A., Meuli, R., Pfenninger, S., Presler, J. (2005): Bodenbelastungsgebiet Dornach, Zusatzuntersuchungen (Projekt P3) – Interner Zwischenbericht Gefährdungsabschätzung (2. Auflage). 10. Februar 2005

Qualitätssicherung (Modul C)

- Reinecke, T. (2003): Bodenbelastungsgebiet Dornach, Zusatzuntersuchungen P3 Zwischenbericht Phase 1 Modul C, Qualitätssicherung. 24. November 2003
- Reinecke, T. (2004): Bodenbelastungsgebiet Dornach, Zusatzuntersuchungen P3 Zwischenbericht Phase 2 Modul C, Qualitätssicherung. 12. August 2004
- Reinecke, T. (2005): Bodenbelastungsgebiet Dornach, Zusatzuntersuchungen P3 Entwurf Schlussbericht Modul C, Qualitätssicherung. 16. Februar 2005
- Reinecke, T. (2005): Bodenbelastungsgebiet Dornach, Zusatzuntersuchungen P3 Schlussbericht Modul C, Qualitätssicherung. 10. Mai 2005

Geostatistik (Modul D)

- Papritz, A. und Herzig, C. (2003): Zusatzuntersuchungen P3 im Bodenbelastungsgebiet Dornach. Zwischenbericht über die geostatistischen Auswertungen für Phase 1 des Projektes. 28. November 2003
- Papritz, A. (2004a): Zusatzuntersuchungen P3 im Bodenbelastungsgebiet Dornach. Zwischenbericht über die geostatistischen Auswertungen für Phase 2 des Projektes. 15. Juli 2004
- Papritz, A. (2004b): Zusatzuntersuchungen P3 im Bodenbelastungsgebiet Dornach. Bericht über die Qualitätssicherungsarbeiten für Modul D. 2. November 2004
- Papritz, A. (2005): Zusatzuntersuchungen P3 im Bodenbelastungsgebiet Dornach. Schlussbericht über die geostatistischen Auswertungen der Daten aus dem Projekt P3. 14. April 2005

Gefährdungsmodellierung (Zusatzmodul)

Jauslin, M. (2005): Schlussbericht Gefährdungsmodellierung Bodenbelastungsgebiet Dornach. 7. Juli 2005

6.2 Sonstige Literatur

AfU (1999): Bodenbelastungsgebiet Dornach. Information der Bevölkerung vom 3. Mai 1999. Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn

AfU (1999): Bodenbelastungsgebiet Dornach. Situationsbericht vom 16. Juni 1999. Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn

Agrosocope (1996/2004): Schweizerische Referenzmethoden der Eidgenössischen landwirtschaftlichen Forschungsanstalten. Band 3 – Bodenuntersuchungen zur Schadstoffanalytik. Loseblattsammlung mit Ergänzungslieferungen.

AltIV (1998): Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten (Altlasten-Verordnung), SR 814.680.

Ammann, S., Desales, A. (2004): VBBo-Ringanalysen 2003. Bericht, Agroscope FAL Reckenholz, Eidgenössische Forschungsanstalt für Agrarökologie und Landbau, Zürich.

Bachmann, G., Oltmanns, J., Konietzka, R., Schneider, K. (1999): Berechnung von Prüfwerten zur Bewertung von Altlasten. Ergänzbare Handbuch. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

BAG (1998): Vierter Schweizer Ernährungsbericht. Bundesamt für Gesundheit, Bern.

Baize, D., Sterckeman, T. (2001): Of the necessity of knowledge of the natural pedo-geochemical background content in the evaluation of the contamination of soils by trace elements. *The Science of the Total Environment*. 264: 127-139

Bechtel Jacobs Company LLC (1998): Empirical Models for the Uptake of Inorganic Chemicals from Soil by Plants. Technischer Bericht BJC/OR-133. US Department of Energy, Office of Environmental Management.

Bergmann, W. (1993): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. 3. Ausgabe, Gustav Fischer Verlag, Jena.

BUWAL (2001): Wegleitung Verwertung von ausgehobenem Boden (Wegleitung Bodenaushub). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Dezember 2001

BUWAL (2003): Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 2003

BUWAL (2003): Wegleitung Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden (Gefährdungsabschätzung). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Entwurf November 2003

BUWAL (2004): Handbuch Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden (Gefährdungsabschätzung). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Entwurf August 2004

BUWAL (2005): Handbuch Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden (Gefährdungsabschätzung). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Entwurf Januar 2005. 83 S.

BUWAL (2005): Handbuch Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden (Gefährdungsabschätzung). Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, 104 S.

- Chan, G. und Wood, A. T. A. (1997): An algorithm for simulating stationary gaussian random fields. *Journal of the Royal Statistical Society Series C.* 46: 171–181
- ChemRRV: Verordnung des EDI zur Reduktion von Risiken beim Umgang mit bestimmten besonders gefährlichen Stoffen, Zubereitungen und Gegenständen (Chemikalien-Risikoreduktions -Verordnung). Inkraftgetreten am 1.8.2005
- Chilès, J.-P. und Delfiner, P. (1999). *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty.* Verlag Wiley, New York.
- Christl, I., Gulz, P.A., Kretzschmar, R., Schulin, R. (2004) (Hrsg.): Umgang mit Bodenbelastungen in Familiengärten der Stadt Zürich. Fallstudie. ETH Zürich, Institut für terrestrische Ökologie.
- Coullery, P., Diserens, E., Neyroud, J.-A. , Quinche, J.-P. (1996) : Sols pollués – métaux lourds et plantes bioindicatrices. Documents Environnement No. 58 – Sol. BUWAL, Bern
- Cressie, N. A. C. (1991). *Statistics for Spatial Data.* Wiley, New York.
- Delschen, T., König, W. (1998): Untersuchung und Beurteilung der Schadstoffbelastung von Kulturböden im Hinblick auf den Wirkungspfad Boden-Pflanze. In: Rodenkranz et al. (Hrsg.): *Bodenschutz – ergänzbares Handbuch.* Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Dessaules, A., Dahinden, R. (1996): Schadstoffgehalte von Böden in der Schweiz. Schlüssel zur Identifikation gesteinsbedingter Richtwertüberschreitungen. Vollzug Umwelt, BUWAL, Bern.
- Erard, M., Dick, R., Zimmerli, B. (1986): Studie zum Lebensmittel-Pro-Kopf-Verzehr der Schweizer Bevölkerung. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 77:88-130
- FAC (1990): Kriterien zur Beurteilung einiger Schadstoffgehalte von Futter- und Nahrungspflanzen. Schriftenreihe der Eidg. Forschungsanstalt für Agrikulturchemie und Umwelthygiene, Nr.8, Liebefeld-Bern, 156 S.
- FAC (1995): Probenahme von Kompost, Anleitung zur Probenahme für die Qualitätskontrolle von Kompost, Versuche zur Probenahme von Kompost. Agroscope, Reckenholz.
- FAL (2002): Klassifikation der Böden der Schweiz. Zweite, korrigierte Ausgabe der "Klassifikation und Nomenklatur der Bodenkundlichen Gesellschaft der Schweiz (BGS)", 1992. Agroscope, Reckenholz.
- FIV (1995): Verordnung des EDI vom 26. Juni 1995 über Fremd- und Inhaltsstoffe in Lebensmitteln (Fremd- und Inhaltsstoffverordnung, FIV), SR 817.021.23
- FMBV (1999): Verordnung des EVD vom 10. Juni 1999 über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln, Zusatzstoffen für die Tierernährung, Silierungszusätzen und Diätfuttermitteln (Futtermittelbuch-Verordnung, FMBV), SR 916.307.1
- Fröhlich, S. (1997): Variabilität der Bindungsstärken von Schwermetallen auf einer Sanierungsfläche im Bodenbelastungsgebiet Dornach. Diplomarbeit, ETH Zürich, Institut für terrestrische Ökologie, Schlieren.
- Fröhlich, S., Keller, A. (1997): Stoffbilanzierung von Landwirtschaftsflächen und Gartenböden – Zusammenfassung von Datengrundlagen für das Bodenbelastungsgebiet Dornach. Institut für terrestrische Ökologie, Fachbereich Bodenschutz, ETH Zürich. Dezember 1997, 50 S.
- Frossard R., Bono R., Schmutz D., Buser A., Simon P., Wenk P., Schaub S. (2000): Cadmium in acht Weizensorten – Ergebnisse eines Anbauversuchs in Nenzlingen, Basel-Landschaft. *Mitt. Gebiete Lebensm. Hyg.* 91, 473-483.
- Geiger, G., Schulin, R. (1992): Risikoanalyse, Sanierungs- und Überwachungsvorschläge für das schwermetallbelastete Gebiet von Dornach. AfU-Berichte Nr. 2A. Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn, Solothurn.

- Gierse, R., Reinirkens, P. (2002): Bodenbelastungskarten der Stadt Wuppertal. Bodenschutz 1/02.
- Grünenfelder, B., Schmidli, F. (1998): Schwermetallbilanzierung belasteter Böden und ihre Anwendung im Rahmen der sanften Bodensanierung. Diplomarbeit, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Abteilung für Kulturtechnik und Vermessung.
- Herzig, C. (2003): Räumliche Verteilung der Schwermetallbelastung im Boden von Dornach. Diplomarbeit, Departement für Umweltnaturwissenschaften, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich.
- Jauslin, M., Keller, A., Schulin, R. (2004): Schwermetallbelastete Böden – Quantitative Modelle zur Abschätzung der Gefährdung von Mensch und Umwelt – Evaluationsbericht, Umweltmaterialien 176. Hrsg: Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), Bern.
- Jenka, B., Pozzi, A., Meili, E. (1996): Cadmiumtransfer Boden-Nahrungspflanzen. Schlussbericht März 1996. Fachstelle Bodenschutz des Kantons Zürich, Zürich
- John, D., Schmieder, B., Staub, M. (2000): Evaluation von Standorten in Dornach für Pilotversuche zur sanften Sanierung schwermetallbelasteter Böden. Vertiefungsblock Bodenschutz, Technischer Bericht. ETH Zürich, ITOe, Fachbereich Bodenschutz.
- Kabata-Pendia, A., Pendias, H. (1992): Trace elements in soils and plants. CRC Press, London
- Kayser, A. (2003): Vergleich der Gehalte an Kupfer, Zink und Cadmium in Lattich auf Boden des Standortes Mattenweg, Dornach – Daten aus Kayser 2001 und Geiger 1990. Mündliche Präsentation anlässlich der Startsitung P3 vom 11.6. 2003 in Solothurn.
- Kayser, A., Wenger, K., Attinger, W., Grünwald, A., Gupta, S.-K, Furrer, G., Schulin, R. (2002): Sanierung schwermetallbelasteter Kulturböden - Felduntersuchungen im Bodenbelastungsgebiet Dornach. TerraTech (2):39-43.
- Keller, A. (2000): Assessment of uncertainty in modelling heavy metal balances of regional agroecosystems. ETH Dissertation Nr. 13944, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich
- Keller, A. Jauslin, M., Schulin, R. (1999): Bodendaten und Stoffflussanalysen im Schwermetallbelastungsgebiet Dornach. Zusammenfassung der Ergebnisse von 1995-1998. AfU-Berichte Nr. 55. Amt für Umweltschutz des Kantons Solothurn.
- Kessler, J., (1993): Schwermetalle in der Tierproduktion. Landwirtschaft Schweiz, 6, 273-277.
- Kitanidis, P. K. (1983). Statistical estimation of polynomial generalized covariance functions and hydrological applications. Water Resources Research. 19(4): 909–921.
- Knoche, H., Brand, P., Viereck-Götte, L., Böken, H. (1999): Schwermetalltransfer Boden-Pflanze. Texte 11/99. Umweltbundesamt, Berlin.
- Lin, Y. (1994): Simulationsmodell zur Cadmium-Exposition durch Altlasten vor und nach der Sanierung. Forschungsberichte VDI. Reihe 15. Nr. 130. VDI Verlag
- Muntau, H., Rehnert, A., Desaulles, A., Wagner, G., Theocharopoulos, S., Quevauviller, Ph. (2001): Analytical aspects of the CEEM soil project. The Science of the Total Environment. 264:27-49
- Priestley, M. B. (1981). Spectral Analysis and Time Series, volume 1 and 2. Academic Press, London.
- Rosenkranz, D., Bachmann, G., Einsele, G. Hareß, H.-M. (Hrsg.) (1988): Bodenschutz – Ergänzbares Handbuch. Erich Schmidt Verlag, Berlin.

- Sauerbeck, D. (1985): Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agritekturchemischer Sicht. Materialien zur Umweltforschung. Kohlhammer, Stuttgart
- Schmotz, W., Faeseler, P., Riesen, M., Henze, I. (2002): Die Verordnung des "Bodenplanungsgebietes Harz im Landkreis Goslar" – Ein Instrument zum Vollzug des Bundes-Bodenschutzgesetzes (BBodschG) in einem Belastungsgebiet. Bodenschutz 1/02.
- Schuldt, T. (1990): Hamburger Ansätze zur Beurteilung von Bodenverunreinigungen. In: Rosenkranz et al. (1988): Bodenschutz – Ergänzbare Handbuch. Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- Schweizerisches Lebensmittelbuch (SLMB), Stand 2003: Probenahmeverfahren, Kap. 1.3. CDROM-Version. Bundesamt für Gesundheit (BAG), Bern.
- Streuli, U. (2002): Merkblätter zum Anbau von Buschbohnen, Krautstiel und Kohlrabi. Landwirtschaftliches Zentrum Ebenrain, Beratungsstelle Hausgarten, Sissach.
- Suttner, T., Außendorf, M., Martin, W. (1998): Hintergrundwerte anorganischer Problemstoffe in Böden Bayerns. GLA Fachberichte, Bayerisches Geologisches Landesamt, München.
- TVA (1990): Technische Verordnung vom 10. Dezember 1990 über Abfälle (TVA), SR 814.600.
- Umweltbundesamt (1999): UMS-System – EDV-Module UMS und SISIM. CD-ROM. UBA, Fachgebiet Altlasten, Berlin.
- USEPA (1989): Exposure Factors Handbook. Update 1996. Office of Research and Development, National Center for Environmental Assessment, Washington DC.
- USEPA (1992): Guidelines for Exposure Assessment. FRL-4129-5. Office of Health and Environmental Assessment, U.S. Environmental Protection Agency Washington DC.
- VBBö (1998): Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBö), SR 814.12.
- Vogler, K. (1993): Schwermetallaufnahme der Vegetation in Abhängigkeit von sorptionsrelevanten Bodeneigenschaften. ETH Dissertation Nr. 10117. ETH, Zürich.
- Vogler, K., Schmitt, H.W. (1990): Schwermetalltransfer Boden-Pflanze. Beziehung zwischen der Schwermetallbelastung des Bodens und der Pflanzenaufnahme als Funktion sorptionsrelevanter Bodeneigenschaften. NFP Boden Nr 53, Schweizerischer Nationalfonds, Bern.
- Wagner, G., Lischer, P., Theocharopoulos, S., Muntau, H., Desales, A., Quevauviller, P. (2001): Quantitative evaluation of the CEEM soil sampling intercomparison. The Science of the Total Environment. 264: 73–1014
- Weigel, H.-J., Schütze, G., Becker, R., Dämmgen, U., Nagel, H.-D., Schlutow, A. (2003): Risikoabschätzung der Cadmium-Belastung für Mensch und Umwelt infolge der Anwendung von cadmiumhaltigen Düngemitteln. DBG Mitteilungen 102 (1): 9-10
- WHO (1992): Cadmium. Environmental Health Criteria 134. World Health Organization, Geneva.
- Wirz, E., Winistörfer, D. (1987): Bericht über Metallgehalte in Boden- und Vegetationsproben aus dem Raum Dornach. Kantonales Laboratorium Solothurn.
- Zimmerli, B., Erard, M. (1980): Verunreinigungen von Lebensmitteln. Toxische Schwermetalle. In: BAG (Hrsg.), Zweiter Schweizer Ernährungsbericht.

Glossar

7 Glossar

Ausschöpfungsgrad

Zur Charakterisierung des sich nach den Ergebnissen der Gefährdungsmodellierung ergebenden Risikos verwendete Grösse (Prozentanteil eines toxikologisch begründeten Referenzwertes). Siehe auch Kapitel 3.6.6.1, Seite 43.

Austauschproben

Proben, die zwischen den beteiligten Labors im Sinne der Qualitätssicherung ausgetauscht und analysiert werden.

BAG

Bundesamt für Gesundheit. In den Ergebnisgrafiken der Gefährdungsmodellierung verwendet für eine Ernährungsweise, die dem von Erard et al. (1986) publizierten Lebensmittel-Pro-Kopf-Verzehr der Schweizer Bevölkerung entspricht.

Belastungsklasse

Zur Wahl neuer Messstellen verwendete Klassierung. Belastungsklassen wurden mit Hilfe der Grösse der 5%- und 95%-Quantile der konditionalen Simulation (vgl. 3.5.4.2, Seite 32) definiert.

Belastungsstufe

Im Rahmen des Projektes P3 wurde die Bodenbelastung in sechs Stufen unterteilt. Die Grenze zwischen erster und zweiter Stufe entspricht dabei dem *Richtwert*, diejenige zwischen zweiter und dritter Stufe dem *Prüfwert* der VBBo. Stufe 6 entspricht dem Bereich von *Sanierungswert*überschreitungen. Der Wertebereich zwischen Prüf- und Sanierungswert wurde weiter unterteilt. Die Belastungsstufen sind in Tabelle 4, Seite 28 definiert.

Belastungszone

Überbegriff für den Bereich des Untersuchungsperimeters, in dem einer der *Bodenbelastungswerte* der VBBo überschritten ist. Die Belastungszone wird unterteilt in *Richtwert*-, *Prüfwert*- und *Sanierungswertzone*.

Blockscharf

Bereiche ähnlicher Belastung werden auf dem Niveau von Strassenzügen und anderen geografischen Elementen unter Verwendung gutachterlicher Methoden zusammengefasst.

Bodenbelastungsgebiet

Überbegriff für das die Gemeinden Dornach (SO), Aesch (BL), Arlesheim (BL) und Reinach (BL) umfassende Gebiet.

Bodenbelastungswert

Überbegriff für die in der VBBo definierten *Richt*-, *Prüf*- und *Sanierungswerte*.

Boxplot

Dient zur Visualisierung und zum Vergleich von statistischen Datensätzen. Die Graphik reduziert die Daten auf wenige beschreibende Parameter. Sie beinhaltet den Median, die 25%- und 75%-Quantile und die beiden Extremwerte. Die Länge der Fehlerbalken (Whisker) beträgt maximal das 1,5-fache des Interquartilsabstands ($1,5 \cdot \text{IQR}$) und wird immer durch einen Wert aus den Daten bestimmt. Werte, die über dieser Grenze liegen, werden separat in das Diagramm eingetragen und als Ausreisser bezeichnet. Im Falle der Ergebnisgrafiken der Gefährdungsmodellierung handelt es sich bei der *Maximaldosis* in der Regel um einen solchen Ausreisser.

Doppel- beziehungsweise Mehrfachanalysen

Doppelte oder mehrfache Analysen, die ein Labor mit ein und derselben Probe durchgeführt hat.

Doppel- beziehungsweise Mehrfachbestimmung

Doppelte oder mehrfache Messungen, die ein Labor mit ein und demselben Proben-Extrakt durchgeführt hat.

Doppelproben

Proben, die bei ein und derselben Probenahme von derselben Fläche mit derselben Methode entnommen wurde.

Grenzwert

Der Grenzwert gemäss FIV ist die Höchstkonzentration, bei dessen Überschreitung das Lebensmittel für die menschliche Ernährung als ungeeignet gilt. Der Höchstgehalt der FMBV gilt analog für Futtermittel.

Höchstkonzentration

Als Höchstkonzentration gilt gemäss FIV die Konzentration eines Stoffes und seiner toxikologisch bedeutsamen Folgeprodukte, die in oder auf einem bestimmten Lebensmittel im Zeitpunkt der Abgabe an die Konsumentinnen oder Konsumenten vorhanden sein darf. Die Höchstkonzentration eines Stoffes wird als *Toleranzwert* oder als *Grenzwert* angegeben.

Maximaldosis

Im Rahmen der Gefährdungsmodellierung verwendeter Begriff für die höchste berechnete tägliche Schadstoffdosis (DIR). Im Falle der Ergebnisgrafiken der Gefährdungsmodellierung handelt es sich bei der Maximaldosis in der Regel um einen als Ausreisser markierten Datenpunkt.

Normalversorger

Eine Person, deren Nahrungsversorgung zu 10% durch die Selbstversorgung mit Gemüse aus dem eigenen Garten gedeckt wird. Begriff wird in der Gefährdungsmodellierung verwendet.

Parzellenscharf

Bereiche ähnlicher Belastung werden auf dem Niveau von einzelnen Parzellen zusammengefasst. Hierfür ist für jede Parzelle mindestens ein Datensatz erforderlich.

Prüfwert

Bodenbelastungswert der VBBo. Der Prüfwert gibt für bestimmte Nutzungsarten Belastungen des Bodens an, bei dessen Überschreitung nach dem Stand der Wissenschaft und der Erfahrung Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährdet werden können.

Prüfwertzone

Zone, in welcher der Prüfwert der VBBo für mindestens eines der Schwermetalle Kupfer, Zink oder Cadmium überschritten ist. Die Zuordnung einer Parzelle zu dieser Zone erfolgt unter Anwendung des in Kapitel 3.5.5 definierten Regelsatzes.

Richtwert

Bodenbelastungswert der VBBo, oberhalb dessen langfristig die Bodenfruchtbarkeit nicht gewährleistet ist.

Richtwertzone

Zone, in welcher der Richtwert der VBBo für mindestens eines der Schwermetalle Kupfer, Zink oder Cadmium überschritten ist. Die Zuordnung einer Parzelle zu dieser Zone erfolgt unter Anwendung des in Kapitel 3.5.5 definierten Regelsatzes.

Sanierungswert

Bodenbelastungswert der VBBo, oberhalb dessen eine konkrete Gefährdung von Menschen, Tieren und Pflanzen gegeben ist.

Sanierungswertzone

Zone, in welcher der Sanierungswert der VBBo für mindestens eines der Schwermetalle Kupfer, Zink oder Cadmium überschritten ist. Die Zuordnung einer Parzelle zu dieser Zone erfolgt unter Anwendung des in Kapitel 3.5.5 definierten Regelsatzes.

Schwellenwert

Der Schwellenwert ist der kleinste Wert einer physikalischen oder physiologischen Größe, der als Ursache für eine nachweisbare Veränderung ausreicht. Im vorliegenden Bericht werden die Schwellenwerte nach Kessler (1993) für Schwermetalle in der Tierproduktion verwendet. Der *untere Schwellenwert* gibt dabei die Toleranzschwelle, der *obere Schwellenwert* eine Toxizitätsschwelle an.

Selbstversorger

Eine Person, deren Nahrungsversorgung zu 30% durch die Selbstversorgung mit Gemüse aus dem eigenen Garten gedeckt wird. Begriff wird in der Gefährdungsmodellierung verwendet.

Spezielselbstversorger

Eine Person, deren Nahrungsversorgung vollständig durch die Selbstversorgung mit Gemüse aus dem eigenen Garten gedeckt wird. Begriff wird in der Gefährdungsmodellierung verwendet.

Toleranzwert

Der Toleranzwert ist die Höchstkonzentration gemäss FIV, bei dessen Überschreitung ein Lebensmittel als verunreinigt oder sonst im Wert vermindert gilt. In begründeten Fällen wird für einen Stoff ein Toleranzwert und ein *Grenzwert* festgelegt.

Vegi

In den Ergebnisgrafiken der Gefährdungsmodellierung verwendet für die fleischlose Ernährungsweise. Diese wurde aus dem von Erard et al. (1986) publizierten Lebensmittel-Pro-Kopf-Verzehr der Schweizer Bevölkerung errechnet, indem ein um den Faktor 1.35 höherer Gemüsekonsum angenommen wurde.