

Prognosemethode zur qualitativen Abschätzung der Bodenbelastung in Kleingartenanlagen

Petra U. Reichard und Andreas Papritz



Dr. Petra U. Reichard
Studium der Geologie an der TU Clausthal in Clausthal-Zellerfeld, Promotion im Bereich Bodenchemie an der ETH Zürich, Schweiz. Seit 2007 bei einem Altlasten- und Bodenbüro in Zürich, Schweiz tätig.



Dr. Andreas Papritz
Studium der Biologie und Promotion in Geostatistik an der ETH Zürich, Schweiz. Seit 1997 Oberassistent am Departement Umweltwissenschaften der ETH Zürich.

Zusammenfassung

Mittels logistischer Regressionsrechnungen wurde eine Prognosemethode entwickelt, mit der für Blei und PAK (Summe der 16 häufigsten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe) die Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen in Böden von Kleingartenanlagen vorhergesagt werden kann. Die beiden Messgrößen können als Leitvariablen für die Belastung von Gartenböden mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen gelten. Für die Berechnungen werden keine Schadstoffmesswerte benötigt, sondern nur Angaben zum Alter und zur Vornutzung eines Areals sowie Informationen über potentielle Schadstoffquellen in seiner Umgebung. Anhand der Prognosen können Anlagen identifiziert werden, in welchen Prüfwertüberschreitungen mit einiger Wahrscheinlichkeit vorkommen. Diese Gartenanlagen können dann mit Schadstoffmessungen prioritär untersucht werden. Das Risiko, dass aufwändige Bodenuntersuchungen unnötigerweise in Kleingartenanlagen mit geringer Belastung der Böden durchgeführt werden, lässt sich so verringern. Die Prognosemethode kann damit als Instrument zur Verdachtsflächenerfassung und Prioritätenermittlung eingesetzt werden.

◆ **Schlüsselwörter:** logistische Regression, Bodenbelastung, Prüfwertüberschreitung, Kleingarten, Blei (Pb), polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Summary

We used logistic regression to forecast the frequency with which the concentrations of soil lead (Pb) and PAH (sum of the 16 most common polycyclic aromatic hydrocarbons) exceed the test thresholds in allotment gardens. PAH and Pb are well suited to assess the pollution of garden soils. Chemical analyses are not required for forecasting. The predictions are computed solely from the attributes of an allotment such as its age, the land-use before the gardens were established and the presence of pollutant sources in its neighbourhood. Our method can be used to identify allotments that have a high risk for exceeding the test thresholds. Those should then primarily be surveyed in detail by collecting soil samples and measuring their pollutant content. By reducing the number of surveys of allotments with minor soil pollution, we save unnecessary expenses and use the financial resources available for soil monitoring more efficiently.

◆ **Keywords:** logistic regression, soil contamination, test threshold, allotment garden, lead (Pb), polycyclic aromatic hydrocarbons (PAH)

1. Einleitung

Böden von Kleingärten (in der Schweiz: Familiengärten) sind nicht selten mit Schwermetallen und organischen Schadstoffen belastet. In der Schweiz müssen deshalb

vor einem Bauvorhaben, welches mit Bodenumlagerungen verbunden ist, die Böden von Kleingärten auf ihre Schadstoffbelastung untersucht werden [1]. Zur Bewertung von Bodenbelastungen werden in der schweizerischen Verordnung über die Belastung des Bodens (VBBo) [2] Richt-, Prüf- und Sanierungswerte definiert, die in ihrer Bedeutung den Vorsorge-, Prüf- und Maßnahmewerten der deutschen Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) [3] entsprechen. Tabelle 1 stellt die in dieser Arbeit verwendeten Prüfwerte der VBBo den Bodenwerten der BBodSchV gegenüber. Überschreitet die Konzentration eines Schadstoffs im Boden für eine bestimmte Nutzungsart den Prüfwert, so müssen die kantonalen Vollzugsbehörden gemäß VBBo untersuchen, ob von der Bodenbelastung eine Gefährdung für die betroffenen Schutzgüter ausgeht. Bei erwiesener Gefährdung sind die Behörden verpflichtet, Maßnahmen zu ihrer Beseitigung zu ergreifen.

Kleingärten sind häufig nicht in privatem Besitz, sondern gehören öffentlichen Körperschaften. Den Städten und Kommunen, die mehrere Kleingartenanlagen besitzen, können durch die Bodenuntersuchungen, die für die Gefährdungsabklärung notwendig werden, beträchtliche Kosten entstehen. Die hier vorgestellte, vom Verein TUSEC-IP Koordination Schweiz [4] finanzierte Prognosemethode erlaubt, für ein Kleingartenareal eine Vorhersage der zu erwartenden Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen zu berechnen. Zur Berechnung werden keine Schadstoffdaten benötigt, sondern nur Angaben zur Geschichte und zur Vornutzung sowie zum Vorhandensein von potentiellen Schadstoffquellen in der Nähe des Gartenareals. Diese Informationen sind meist relativ einfach und kostengünstig zu beschaffen. Kleingartenanlagen können dann anhand der prognostizierten Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen für weitere eingehende Bodenuntersuchungen nach dem Grad der vermuteten Schadstoffbelastung priorisiert werden. Dadurch können die Vollzugsbehörden ihre begrenzten Ressourcen dort einsetzen, wo die Schadstoffbelastung der Böden dies mit einiger Wahrscheinlichkeit am ehesten erfordert. Das Risiko, dass aufwändige Bodenuntersuchungen in Kleingartenanlagen mit nur geringer Belastung der Böden durchgeführt werden, lässt sich durch den Einsatz unserer Prognosemethode verringern. Damit tragen wir zu einer effizienten Verwendung der begrenzten finanziellen Mittel im stofflichen Bodenschutz bei.

2. Datengrundlage

Zur Eichung der Prognosemethode wurden Messwerte der Schadstoffgehalte in Böden von Kleingärten benötigt. Als Erstes wurden Schadstoffdaten von ca. 50 Kleingartenanlagen aus der ganzen Schweiz zusammengetragen. Anschließend wurde geprüft, wie häufig die verschiedenen Schadstoffe gemessen worden sind. Weiter wurde pro Kleingartenanlage die Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen durch die verschiedenen Schadstoffe ermittelt. Um eine möglichst vorsichtige Beurteilung der Belastung des Bodens zu erreichen, wurde diejenige Nutzungsart berücksichtigt, für welche die VBBo die niedrigsten Prüfwerte definiert (Tabelle 1). Aufgrund dieser Auswertungen wurden zwei Leitvariablen aus der Palette der möglichen Schadstoffe ausgewählt.

Die Wahl fiel auf Blei (Pb) als Leitvariable für Schwermetalle und auf PAK (Summe der 16 häufigsten polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe) als Leitvariable für organische Schadstoffe. Von den Schwermetallen ist Pb am häufigsten gemessen worden, und es traten, gleich häufig wie bei Cu und Zn, in 20 % aller Kleingartenarealen Prüfwertüberschreitungen auf. Prüfwertüberschreitungen durch das toxikologisch bedeutsamere Cd waren deutlich seltener (nur in 5 % der Anlagen). Blei ist zudem ein „sensitiver“ Schadstoff, da kaum Prüfwertüberschreitungen durch Cu oder Zn auftraten, ohne dass nicht auch Pb den Prüfwert überschritt. Beispielsweise traten nur bei 6 % aller berücksichtigten Schadstoffmesswerte Prüfwertüberschreitungen durch Zn auf, obwohl der Prüfwert durch Pb nicht überschritten wurde. Organische Schadstoffe sind in den Bodenproben aus Kleingärten generell seltener als Schwermetalle gemessen worden. Einzig PAK-Messwerte waren in nennenswerter Zahl verfügbar. Deshalb wurde diese Substanzgruppe als Leitvariable für organische Schadstoffe gewählt.

Für die statistische Modellierung der Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen durch Pb standen Messwerte von insgesamt 507 Bodenproben aus 47 Kleingartenanlagen zur Verfügung, für PAK waren es 205 Bodenproben aus 20 Anlagen.

3. Erhebung der Merkmale zur Prognostizierung der Bodenbelastung

Zusätzlich zur Auswertung der Schadstoffmesswerte

	VBBö	BBodSchV
Pb	Prüfwert für Nahrungspflanzenanbau 200 mg/kg (Totalgehalt, Salpetersäureextrakt)	Prüfwert für Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze für Nutzgärten 0.1 mg/kg (Gehalt mobile Fraktion im Ammoniumnitratextrakt, entspricht ca. 300 mg/kg Gesamt-Pb bei pH 6,0)
	Prüfwert für direkte Bodenaufnahme 300 mg/kg (Totalgehalt, Salpetersäureextrakt)	Prüfwert für Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) für Nutzungsart Kinderspielflächen/Wohngebiete 200/400 mg/kg (Totalgehalt, Königswassereextrakt)
PAK	Prüfwert für Nahrungspflanzenanbau 20 mg/kg (Totalgehalt Summe der 16 PAK; Extraktion nach ISO-Standard)	Prüfwert für Wirkungspfad Boden-Nutzpflanze für Nutzgärten 1 mg/kg für Benzo(a)pyren (Totalgehalt, entspricht etwa 10 mg/kg für Summe der 16 PAK; Soxhlet-Extraktion mit Toluol)
	Prüfwert für direkte Bodenaufnahme 10 mg/kg (Totalgehalt Summe der 16 PAK; Extraktion nach ISO-Standard)	Prüfwert für Wirkungspfad Boden-Mensch (direkter Kontakt) für Nutzungsart Kinderspielflächen/Wohngebiete 2/4 mg/kg für Benzo(a)pyren (Totalgehalt, entspricht etwa 20/40 mg/kg für Summe der 16 PAK; Soxhlet-Extraktion mit Toluol)

wurden für jede Kleingartenanlage die Merkmale ermittelt, mit welchen die Bodenbelastung prognostiziert werden sollte. Um diese Angaben zu erheben, wurden Begehungen vor Ort durchgeführt, es wurden Personen befragt und altes Kartenmaterial ausgewertet. Jedes Merkmal wurde nach dem Schlüssel „0 = kein Einfluss/trifft nicht zu“ und „1 = hat Einfluss/trifft ganz oder teilweise zu“ beurteilt.

Die erfassten Merkmale lassen sich in die 4 Gruppen „Alter“, „Vornutzung“, „Umgebung“ und „Eindruck“ unterteilen (Tabelle 2). Bei der Gruppe „Alter“ wurde bestimmt, ob die Anlagen vor 1930, zwischen 1930 und 1955, zwischen 1956 und 1980 oder nach 1980 errichtet

Tabelle 1:
Prüfwerte der Schweizerischen Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö [2]) für Blei und PAK im Vergleich zu den Bodenwerten der Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV [3]). Die in dieser Arbeit verwendeten Prüfwerte sind kursiv dargestellt.

E.On AG

Tabelle 2 (links): Merkmale von Kleingartenanlagen, die für die Prognostizierung der Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen für Blei und PAK verwendet wurden und durch logistische Regressionsanalyse ermittelte Gewichtungsfaktoren.

Merkmal		Gewichtungsfaktor für Pb	Gewichtungsfaktor für PAK
Alter	vor 1930 errichtet	-0.26	-3.99
	zwischen 1930–55 errichtet	-1.02	-5.71
	zwischen 1956–80 errichtet	-1.96	-26.67
	nach 1980 errichtet	-18.26	-26.25
Vornutzung	Weide	-1.39	-1.78
	Landwirtschaft	-1.05	(-)
	Garten	-1.66	19.81
	Rebberg	2.61	(-)
	Aufschüttung	1.09	(-)
Umgebung	Umgebung Straße	0.80	(-)
	Umgebung Altlast	0.42	2.15
Eindruck	Fremdmaterial	(-)	4.52

Abb. 1 (rechts): Luftbildaufnahmen der Anlagen A (oben) und C (unten) und deren Umfeld [6] (KG = Kleingartenanlage).



worden sind (Abgrenzung von Perioden von 25 Jahren, ausgehend vom Jahr 2005). Bei der Merkmalsgruppe „Vornutzung“ wurde beurteilt, ob die Anlagen früher als Dauergrünland (Weide), ackerbaulich (Landwirtschaft), als Garten oder als Rebberg genutzt worden sind oder ob eine Auffüllung mit standortfremdem Material stattgefunden hat. Diese Merkmale wurden auch dann mit einer „1“ bewertet, wenn das betreffende Merkmal nur für Teilflächen der Kleingartenanlage zutraf oder die erwähnte Nutzung nur vorübergehend stattgefunden hat. Bei der Gruppe „Umgebung“ wurde beurteilt, ob eine Kleingartenanlage an stark befahrenen Straßen (Entfernung < 100 m) liegt und ob sich das Areal auf einer Altlast bzw. direkt neben einer Altlastenfläche befindet. Darüber hinaus wurde der Fremdmaterialanteil der Böden in den Anlagen geschätzt und mit „1“ beurteilt, wenn auf mindestens 10 % aller Parzellen Fremdmaterial gesichtet wurde (Merkmal „Eindruck“).

4. Statistische Modellierung der Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen

Für die Prognostizierung der Bodenbelastung musste die Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen durch Pb und PAK mit den Merkmalen der Kleingartenanlagen verknüpft werden. Dazu wurde für beide Leitvariablen je eine logistische Regressionsanalyse durchgeführt. Bei einer logistischen Regressionsanalyse wird die logit-transformierte Häufigkeit eines Ereignisses (hier Prüfwertüberschreitungen) als eine gewichtete Summe der Werte von erklärenden Variablen (hier Merkmale der Kleingartenanlagen mit den numerischen Werten 0 oder 1) modelliert. Damit konnte bestimmt werden, welche Merkmale die Bodenbelastung

im Mittel verstärken (positives Gewicht), vermindern (negatives Gewicht) oder keinen Einfluss haben (Gewicht gleich Null). Die gewichtete Summe der Merkmale ist dann ein Maß für die Bodenbelastung. Eine detailliertere Beschreibung der statistischen Analysen ist [5] zu entnehmen.

5. Ergebnisse

Die ermittelten Gewichtungsfaktoren der geprüften Merkmale sind in Tabelle 2 aufgeführt. Die statistische Auswertung der Daten mittels logistischer Regressionsanalyse reproduzierte im Wesentlichen die erwarteten Abhängigkeiten zwischen den Merkmalen einer Kleingartenanlage und der Belastung der Böden. Aus Tabelle 2 geht hervor, dass das Alter einer Anlage die Belastung der Böden stark beeinflusst. Je älter eine Anlage ist, desto stärker sind seine Böden im Mittel belastet. Das Merkmal „Altlast“ übt einen verstärkenden Einfluss aus. Außerdem spielt die Vornutzung des Kleingartengeländes eine Rolle (verminderte Belastung bei Vornutzung als Weide). Während diese Befunde weitgehend den Erwartungen entsprechen, sind einige Zusammenhänge (vor allem bei PAK) schwieriger zu interpretieren (fehlender Einfluss von „Straße“, entgegengesetzte Wirkung von „Garten“ bei Pb und PAK). Diese kontraintuitiven Resultate sind vermutlich vor allem durch den relativ kleinen Stichprobenumfang bedingt (PAK nur 20 Anlagen). Da für bestimmte Merkmalskombinationen keine Prüfwertüberschreitungen beobachtet worden

Tabelle 3: Eingabemaske der Prognosemethode für die Beispiel-Anlagen A, B und C (für Einzelheiten siehe Text).

Areal	Alter					Merkmale					Prognose			
	vor 1930	1930–1955	1956–1980	1981–heute		Vornutzung				Eindruck	Umgebung	Pb	PAK	
					Garten	Rebberg	Weide	Landwirtschaft	Aufschüttung	Fremdmaterial	Altlast	Straße	Häufigkeit [%]	Häufigkeit [%]
A	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	62	72
B	1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	21	63
C	0	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	3	0

sind, sind die Schätzungen der Effekte gekoppelt. Eine solche Koppelung ist verantwortlich für die betragsmäßig sehr großen Gewichte der Merkmale „Garten“ und „1956–80“, welche entgegengesetztes Vorzeichen aufweisen.

Die Güte der Modellierung der Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen wurde für beide Leitvariablen mittels einer Kreuzvalidierung überprüft. Dazu wurden die Daten eines bestimmten Kleingartenareals vorübergehend aus dem Datensatz entfernt, und das logistische Regressionsmodell wurde an den reduzierten Datensatz angepasst. Mit den Merkmalen der fraglichen Anlage wurde anschließend die Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen prognostiziert. Diese Schritte wurden für alle Gartenanlagen wiederholt. Die Spearman Rangkorrelationskoeffizienten der prognostizierten und beobachteten Häufigkeiten (Pb: 0.63, PAK: 0.73) zeigen eine gute Übereinstimmung zwischen den Prognosen und den Messdaten.

Um die Anwendung der Prognosemethode zu illustrieren, wurden die Merkmale für mehrere Kleingartenanlagen einer schweizerischen Stadt erhoben, die nicht im Datenkollektiv enthalten waren, welches für die Modellableitung verwendet wurde, und die Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen durch Pb und PAK vorhergesagt. Mit drei dieser Anlagen (Anlagen A, B und C, vgl. Tabelle 3) wird im Folgenden der Einfluss der Merkmale auf die Prognose der Bodenbelastung illustriert. Anlage A (Abbildung 1) befindet sich mitten im städtischen Siedlungsgebiet mit einer Vielzahl von Ver-

kehrswegen und in unmittelbarer Nachbarschaft von Gewerbe- und Industriebetrieben. Für dieses Areal wurde für Pb eine Häufigkeit an Prüfwertüberschreitungen von 62 % und für PAK von 72 % vorhergesagt (Tabelle 3). Anlage C (Abbildung 1) befindet sich dagegen am Stadtrand in einem Gebiet mit gemischter Nutzung (Wohnbauten, landwirtschaftlich genutzte Flächen, Wald). Das Gebiet ist nur mit kleineren Verkehrswegen erschlossen, und es gibt keine Industrie- und Gewerbeflächen in der näheren Umgebung. Die vorhergesagte Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen liegt bei diesem Areal für Pb bei 3 % und für PAK gar bei 0 % (Tabelle 3). Der Vergleich der Anlagen A und C zeigt deutlich den Einfluss der Merkmale auf die Bodenbelastung auf. Anlage A ist stark durch seine urbane Lage geprägt, Anlage C liegt dagegen in einem Gebiet ohne bedeutende Schadstoffemittenten. Dies spiegelt sich in den jeweiligen Prognosen wieder. Die Umgebung der dritten Kleingartenanlage B ist sehr ähnlich dem Umfeld von Anlage C, Anlage B ist jedoch über 25 Jahre älter als C. Für Anlage B sind die vorhergesagten Häufigkeiten an Prüfwertüberschreitungen deshalb wesentlich höher als für Anlage C, nämlich 21 % für Pb und 63 % für PAK (Tabelle 3). Diese Unterschiede sind durch die verschiedenen Nutzungsdauern als Garten bedingt. Die Beispiele illustrieren, dass die Merkmale einer Kleingartenanlage, die sich aus seinem Umfeld, seiner Geschichte und der Vornutzung ergeben, dazu verwendet werden können, die Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen in den Böden des Areals abzuschätzen.

E.On AG

6. Diskussion

Mit der hier vorgestellten Prognosemethode stellen wir ein Werkzeug zur Verfügung, welches erlaubt, sich einen groben Überblick über das Ausmaß der Schadstoffbelastung von Böden in Kleingartenanlagen zu verschaffen. Für die Prognose müssen keine Schadstoffgehalte gemessen werden. Es genügt, wenn die Merkmale erhoben werden, welche die geschichtliche und aktuelle Situation einer Anlage beschreiben. Diese Merkmale sind in der Regel kostengünstiger zu bestimmen als Schadstoffgehalte von Bodenproben. Die Handhabung der Prognosemethode ist einfach. Für die Berechnung der Prognosen müssen für die Merkmale nur die Werte 0 oder 1 in eine Microsoft Excel Tabelle eingegeben werden. Die Häufigkeit von

Einfache Handhabung der Prognosemethode

Prüfwertüberschreitungen wird dann automatisch vorhergesagt. Die Eingabetabelle ist unter www.fabo.zh.ch/internet/bd/aln/fabo/de/ueberw/ausw/garten/kleingarten.html als Download verfügbar.

Mit diesen Vorhersagen können Kleingartenanlagen grob nach der erwarteten Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen in eine Prioritätenliste eingetragen oder für ein Verdachtsflächenkataster klassifiziert werden. Die Kreuzvalidierungsanalyse hat gezeigt, dass das Auftreten von Prüfwertüberschreitungen bei 80–90% aller berücksichtigten Anlagen richtig vorhergesagt werden konnte. Somit können gezielt diejenigen Anlagen beprobt werden, die hinsichtlich der erwarteten Bodenbelastung als prioritär eingestuft werden. Dies hilft, Kosten und Aufwand beim Vollzug der gesetzlichen Bodenschutzbestimmungen zu optimieren.

Streng genommen können mit unserer Methode nur Prüfwertüberschreitungen durch Pb und PAK prognostiziert werden. Diese Prognosen geben aber gleichwohl Hinweise auf die allgemeine Belastungssituation in einem Gartenareal, weil mit der Wahl der Leitvariablen Pb und PAK eine vorsichtige Beurteilung der Bodenbelastungen angestrebt wurde. In Einzelfällen können aber natürlich Prüfwertüberschreitungen durch andere Schadstoffe vorkommen, die mit der Prognosemethode nicht vorhergesagt werden können. Bei einer genügend großen Anzahl an Messdaten von anderen Schadstoffen, könnte die Prognosemethode aber ohne Probleme für diese Stoffe erweitert werden.

Unsere Methode eignet sich des Weiteren nicht, um Vorhersagen für einzelne Parzellen innerhalb einer Kleingartenanlage zu treffen. Es kann lediglich eine Vorhersage für die Anlage als Ganzes berechnet werden, so dass nicht ausgeschlossen werden kann, dass einzelne Parzellen, z. B. aufgrund anderer, nicht betrachteter Einflußgrößen, stärker belastet sind, als für die Gesamtanlage vorhergesagt.

Durch den Einbezug weiterer Messdaten, kann die Prognosemethode vermutlich verbessert werden. Vor allem die Modellierung der Häufigkeit von Prüfwertüberschreitungen durch PAK basiert auf einer recht kleinen Stichprobe. Durch die Aufnahme neuer, möglichst umfangreicher Datensätze, können die in Tabelle 2 dargestellten Gewichtungsfaktoren neu geschätzt werden. Daraus ergeben sich möglicherweise neue Erkenntnisse über kausale Zusammenhänge zwischen den Merkmalen und dem Ausmaß der Schadstoffbelastung. Die Methode lässt sich darüber hinaus leicht auf deutsche bzw. europäische Richtlinien für den stofflichen Bodenschutz übertragen. Dazu muss die Modellierung lediglich mit den entsprechenden Prüfwerten wiederholt werden.

Literatur

- [1] BUWAL 2001: Wegleitung Verwertung von ausgehobenem Boden. Vollzug Umwelt; Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, Schweiz.
- [2] Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens (VBBO), SR 814.12.
- [3] Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV) vom 12. Juli 1999. BGBl. I, 1554.
- [4] TUSEC-IP (Technique of urban soil evaluation in city regions – Implementation in planning procedures). www.tusec-ip.org.
- [5] Reichard P.U. & Papritz A. 2007: Qualitative Abschätzung der Bodenbelastung in Kleingärten. Fachbericht. Institut für Terrestrische Ökosysteme, ETH Zürich, Zürich, Schweiz, www.fabo.zh.ch/internet/bd/aln/fabo/de/ueberw/ausw/garten/kleingarten.html.
- [6] Swisstopo 2003: SWISSIMAGE – Farbiges Orthofotomosaik der Schweiz, Bundesamt für Landestopographie, Wabern, Schweiz.

Anschriften der Autoren:

Dr. Petra U. Reichard
 BABU GmbH – Büro für Altlasten, Boden und Umwelt
 Rautistrasse 13
 8047 Zürich
 Schweiz
 Tel.: +41 (0)43 3 11 10 47
 p.reichard@babu.ch

Dr. Andreas Papritz
 ETH Zürich
 Institut für Terrestrische Ökosysteme
 Universitätstrasse 16
 8092 Zürich
 Schweiz
 Tel.: +41 (0)44 6 33 60 72
 papritz@env.ethz.ch

ahu AG