



Untersuchung der Bodenqualität in Wohngebieten – Untersuchungskampagne 2018

Zusammenfassung der Ergebnisse

Januar 2021



ETAT DE FRIBOURG
STAAT FREIBURG

Service de l'environnement SEn
Amt für Umwelt AfU

Direction de l'aménagement, de l'environnement et des constructions DAEC
Raumplanungs-, Umwelt- und Baudirektion RUBD

Impressum

Ausgabe

—
Amt für Umwelt AfU – August 2020

Projektleiter

—
Thilo Dürr-Auster

Titelbild

—
AfU

Danksagung

—
Wir danken allen Eigentümerinnen und Eigentümern, die an dieser Studie teilgenommen haben.

Diese Publikation existiert nur in elektronischer Form. Sie ist auch in französischer Sprache erhältlich.

Auskunft

—
Amt für Umwelt AfU
Sektion UVP, Bodenschutz und Anlagensicherheit

Impasse de la Colline 4, 1762 Givisiez

T +26 305 37 60, F +26 305 10 02
sen@fr.ch, www.fr.ch/boden

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	5		
1.1	Überwachung: eine rechtliche Pflicht	5		
1.2	Ausgangslage	5		
1.3	Ziele der Kampagne	6		
2	Ablauf der Kampagne	7		
2.1	Auswahl der analysierten Standorte	7		
2.2	Art der untersuchten Standorte	8		
2.3	Die Probenahmen und Analysen in Kürze	8		
3	Ergebnisse	9		
3.1	Repräsentativität der Ergebnisse auf kantonaler Ebene	9		
3.2	Blei: Höhe der beobachteten Belastung	10		
3.3	Korrelation mit dem Alter des Gebäudes	10		
3.4	Tauglichkeit von Blei als Indikator für andere Belastungen	12		
4	Schlussfolgerung und Ausblick	13		
4.1	Häufige Überschreitungen der Richtwerte nach VBBo	13		
4.2	Ausblick	13		
4.2.1	Kartierung zur Verhinderung der Verbreitung von belastetem Bodenaushub	13		
4.2.2	Eine nationale Lösung für Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit belasteten Böden	14		
5	Quellenverzeichnis	15		
A1	Tabelle mit den Ergebnissen der Laboruntersuchungen	16		
A2	Methodentests für die XRF-Methode	17		

Liste der Abkürzungen

AltIV	Verordnung vom 26. August 1998 über die Sanierung von belasteten Standorten
GWR	Eidgenössisches Gebäude- und Wohnungsregister
MSE	Metallische Spurenelemente
PAK	Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
Pb	Blei
PW	Prüfwert nach VBBo
RW	Richtwert nach VBBo
SW	Sanierungswert nach VBBo
swisstopo	Bundesamt für Landestopografie
USG	Bundesgesetz vom 7. Oktober 1983 über den Umweltschutz
VBBo	Verordnung vom 1. Juli 1998 über Belastungen des Bodens
VVEA	Verordnung vom 4. Dezember 2015 über die Vermeidung und die Entsorgung von Abfällen
XRF	Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie (X-ray fluorescence spectrometry)

1 Einleitung

1.1 Überwachung: eine rechtliche Pflicht

Nach Artikel 4 der Bundesverordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) müssen die Kantone in den Gebieten, in denen feststeht oder zu erwarten ist, dass Belastungen des Bodens die Bodenfruchtbarkeit gefährden, für eine Überwachung der Bodenbelastung sorgen. Das Amt für Umwelt ist auf dem Gebiet des Kantons Freiburg verantwortlich für die Umsetzung der Überwachung aller chemischen Belastungen, die nicht von der Landwirtschaft stammen. Der Staat muss bei der Erkundung von gefährdeten Zonen proaktiv vorgehen und sich dabei auf die Daten der Nationalen Bodenbeobachtung (NABO) und auf wissenschaftliche Studien stützen. Sobald dem Kanton eine Verschmutzungsquelle oder eine Praxis bekannt wird, die zu chemischen Belastungen führen können, ergreift er Massnahmen, um die Risiken auf seinem Territorium abzuschätzen und gegebenenfalls durch Feldstudien zu verifizieren. Die Bundesämter sind dafür verantwortlich, den Kantonen die notwendigen technischen Grundlagen zur Verfügung zu stellen. Im Kanton Freiburg richtet sich die Bodenüberwachung insbesondere auf Flächen in der Umgebung ehemaliger oder aktueller potenzieller Verursacher (z. B. Verbrennungsanlagen, ehemalige Industriestandorte usw.) und Gärten (siehe Kapitel 1.2). Die Entwicklung der Bodenqualität in Familiengärten, öffentlichen Parks und Spielplätzen wird im Rahmen des [Bodenbeobachtungsnetzes FRIBO](#) (1) verfolgt.

Gesetzliche Grenzwerte (USG und VBBo)

Richtwerte (RW): Die Richtwerte geben die Belastung an, bei deren Überschreitung die Fruchtbarkeit des Bodens nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung langfristig nicht mehr gewährleistet ist.

Prüfwerte (PW): Die Prüfwerte geben für bestimmte Nutzungsarten Belastungen des Bodens an, bei deren Überschreitung nach dem Stand der Wissenschaft und der Erfahrung Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährdet werden können. Sie dienen der Beurteilung, ob Einschränkungen der Nutzung des Bodens nach Artikel 34 Abs. 2 USG nötig sind.

Sanierungswerte (SW): Die Sanierungswerte geben die Belastung an, bei deren Überschreitung nach dem Stand der Wissenschaft oder der Erfahrung bestimmte Nutzungen ohne Gefährdung von Menschen, Tieren oder Pflanzen nicht möglich sind.

1.2 Ausgangslage

In Wohngebieten und deren Umgebung ist das Risiko einer Verschmutzung mit metallischen Spurenelementen (MSE, früher Schwermetalle genannt) oder organischen Komponenten (PAK, PCB, PCDD/F) ein bekanntes Faktum. Mehrere kantonale Studien, insbesondere in den Kantonen Zürich, Uri und Solothurn, haben häufige Überschreitungen der Grenzwerte nach VBBo in städtischen Böden an den Tag gelegt (2) (3) (4). Der Kanton Freiburg bildet da keine Ausnahme: Die Untersuchungskampagnen, die zwischen 2011 und 2016 in den historischen Quartieren der Stadt Freiburg durchgeführt wurden, bestätigten das Vorhandensein von Schadstoffen in der Mehrzahl der 97 analysierten Standorte.

Dauer, Art und Intensität der Nutzung der Gärten sind die Hauptfaktoren, die den Grad der Belastung erklären. Die Schadstoffquellen stammen in erster Linie aus Hilfsstoffen (Asche, Kompost, Düngemittel, Pflanzenschutzmittel), Abfällen, aber auch aus Baustoffen, die über Staub oder Wasser eingebracht werden können. Auch handwerkliche Tätigkeiten in der Nähe der Gärten haben zum Eintrag unerwünschter Stoffe geführt. Des Weiteren kann ein einzelnes Ereignis zu einer erheblichen Belastung führen, wie zum Beispiel das Ausstreuen von Asche, die beim Verbrennen von mit Bleifarbe behandeltem Holz entstanden ist. In anderen Fällen handelt es sich um wiederholte Einträge in geringen Mengen, die sich über die Jahre in den Böden anreichern.

Der Ursprung der Belastungen und die Gefahren, die sie für Menschen, Tiere und Pflanzen darstellen, werden im Rahmen dieser Publikation nicht weiter behandelt, da diese Themen in den Berichten zu den oben erwähnten

kantonalen Studien und in der Zusammenfassung der Ergebnisse der Bodenanalysen in der Stadt Freiburg (5) (6), die auf der Website www.fr.ch/boden eingesehen werden können, detailliert behandelt sind.

Wegen der in der Stadt Freiburg festgestellten Belastung beschloss die Raumplanungs-, Umwelt- und Baudirektion (RUBD), die Untersuchung auf weitere Ballungsräume des Kantons auszudehnen, um die Zonen zu definieren, in denen die Gefahr besteht, dass die Richtwerte oder gar die Prüfwerte nach VBBo überschritten werden. So wurde zwischen 2018 und 2020 die hier behandelte Untersuchungsstudie durchgeführt.

1.3 Ziele der Kampagne

Übergeordnetes Ziel dieser Studie ist es, Daten über die chemische Qualität der städtischen Böden in drei Regionen des Kantons zu sammeln und so einen besseren Überblick über die Situation bezüglich der chemischen Bodenbelastungen zu erhalten. Diese zusätzlichen Daten sollen die Entscheidungsgrundlage für die Umsetzung von Massnahmen stärken, insbesondere von Massnahmen zur Verhinderung der Verbreitung von belastetem Bodenmaterial.

Konkret geht es bei dieser Untersuchungskampagne um die zentrale Frage, ob die in der Stadt Freiburg beobachtete Bodenbelastung aussergewöhnlich ist oder ob und in welchem Ausmass auch andere Ballungsräume des Kantons von diesem Problem betroffen sind. Das zweite Ziel besteht darin, die Grenzen der belasteten Gebiete zu definieren: Gibt es einen objektiven Parameter, der es ermöglicht, das Risiko der Bodenbelastung in Wohngebieten für eine Extrapolation auf das gesamte Kantonsgebiet vorherzusagen?

2 Ablauf der Kampagne

2.1 Auswahl der analysierten Standorte

Die Kenntnis des Standortauswahlverfahrens ist wesentlich für das Verständnis der Ergebnisse. Für die Untersuchungskampagne wurden drei Ballungsräume ausgewählt: Bulle, Estavayer und Murten (einschliesslich Meyriez und Muntelier). Diese drei Pole weisen Merkmale auf, die mit denen der Stadt Freiburg mit ihrem historischen Zentrum und der peripheren Stadtentwicklung zwischen Ende des 19. und Anfang des 20. Jahrhunderts vergleichbar sind. Ausserdem findet man hier die Hauptrisikofaktoren für Bodenbelastung, d. h. eine langandauernde und intensive Nutzung der Böden. Um das Untersuchungsgebiet der Studie abzugrenzen, wurde mit Hilfe der Siegfriedkarte 1945 ein ungefährer Perimeter um die bebauten Gebiete der Ballungsräume gezogen (siehe Beispiel für Murten in Abbildung 1).

Im Laufe der Jahre nahm die Versiegelung der Grünflächen infolge der Umwandlung und der Verdichtung der Wohngebiete zu. Um die noch heute bestehenden bewachsenen Bodenflächen vom Beginn des 20. Jahrhunderts zu kartieren, wurden die Siegfriedkarten 1900 und 1945 sowie Archivluftbilder (Fotosammlung swisstopo) visualisiert und mit der Situation im Jahr 2017 verglichen. Die Art der verwendeten Dokumente ist in Abbildung 2 unten dargestellt. Das Produkt dieser Erhebung diente als Grundlage für die endgültige Auswahl der zu beprobenden Flächen. In der Tat war das Ziel bei der vorliegenden Studie nicht, systematisch alle Parzellen zu beproben, sondern im Untersuchungsgebiet möglichst weitflächig verteilte Stichproben durchzuführen. Die Kartierung führte zu einer Vorauswahl von 715 Grundstücken mit alten Gärten, die heute noch existieren. Davon konnten 96 Einheiten (ca. 13 %) in die Untersuchungskampagne integriert werden. Vor allem die Zugänglichkeit zu den Eigentümerinnen und Eigentümern war ausschlaggebend für die endgültige Auswahl der Grundstücke, da sie einzeln kontaktiert werden mussten und ihre Zustimmung zur Durchführung der Probenahme nötig war. Gärten mit Mehrfachnutzung, z. B. als Rasen und Gemüsegarten, oder mit mehreren separaten Bereichen, wie etwa ein Garten vor und hinter dem Haus, wurden mehrfach beprobt. Insgesamt wurden 169 Flächen (im Folgenden als «Standorte» bezeichnet) beprobt. Einige wenige Analysen wurden ausserhalb der vordefinierten Untersuchungsbereiche vorgenommen. Damit sollte abgeklärt werden, ob auch Gärten in ländlichen Gebieten von der Belastung betroffen sind. Diese Standorte wurden nach den gleichen Kriterien ausgewählt wie in den Städten (siehe oben).

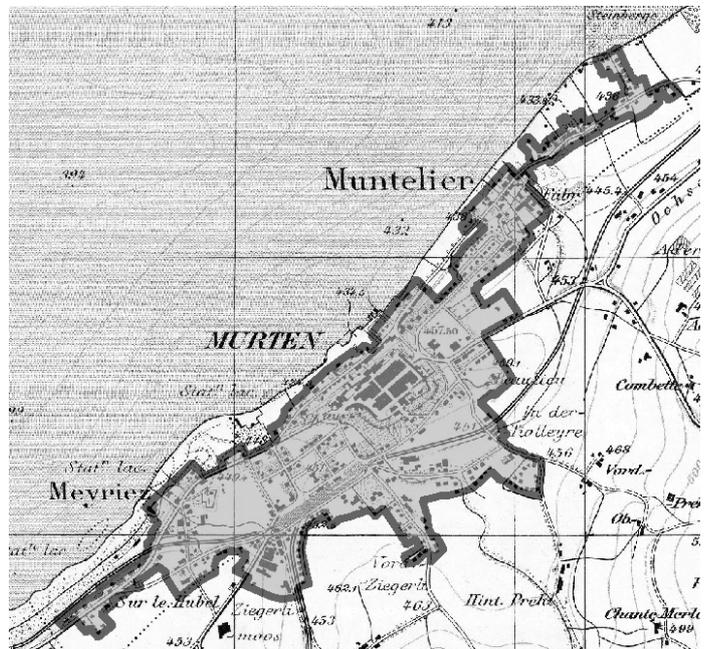


Abb. 1: Abgrenzung des Untersuchungsgebiets für Murten und Umgebung als Beispiel. Anhand der Siegfriedkarte 1945 wurde ein Perimeter um die bebauten Gebiete gezogen.



Abb. 2: Siegfriedkarte 1945, Luftbild swisstopo 1930 (Ausschnitt 19301020123680), Luftbild swisstopo 2017 (Quelle: Bundesamt für Landestopografie swisstopo).

2.2 Art der untersuchten Standorte

Zu den ausgewählten Standorten gehören öffentliche Räume und private Gärten. Die Hauptnutzungstypen sind Rasen, Gemüsegarten, Zierbeet, Wiese und Weide. Als Folge der Standortauswahlmethode (siehe vorheriges Kapitel) hatte die Mehrheit der analysierten Standorte seit der Urbanisierung des Gebiets keine wesentlichen Umgestaltungen erfahren. Nur in wenigen Fällen wurden bei neueren Bauprojekten die «ursprünglichen» Böden bearbeitet. Dies ist von entscheidender Bedeutung, da bei Erdarbeiten Böden bewegt, vermischt oder ganz ersetzt werden, was sich auf den Grad der Belastung auswirkt.

2.3 Die Probenahmen und Analysen in Kürze

Für jeden Standort wurde eine aus rund 20 Einzelproben vermengte Mischprobe in einem 100 m² grossen Quadrat entnommen, wobei die Zufallsverteilung als Verfahren angewandt wurde¹. Bei kleineren Probenahmeflächen wurde die Anzahl Einzelproben im Verhältnis zur Fläche reduziert. Aus praktischen Gründen fand das Sieben (mit einer Maschenweite von 2 mm) auf dem Feld statt.

Die offizielle Messmethode zur Ermittlung und Beurteilung der Schadstoffgehalte ist in der VBBo definiert. In Rahmen dieser Studie entschied sich das AfU für eine alternative Messmethode und konzentrierte sich hauptsächlich auf das Element Blei als Indikator, mit dem Ziel, die verfügbaren Ressourcen zu optimieren, d. h. die Kosten für chemische Analysen zu minimieren und die Zahl der vor Ort entnommenen Proben zu maximieren. Für diesen vereinfachten Ansatz waren vorgängig Methodentests nötig (siehe Anhang 2). Die Bleibelastung der Böden wurden durch Röntgenfluoreszenz-Spektrometrie, allgemein als XRF bezeichnet, bestimmt. Diese Methode, die besonders effektiv für Blei ist, wurde gewählt, um die Analysekosten zu senken und an Flexibilität bei der Organisation der Untersuchungskampagne zu gewinnen. Das Messgerät ist tragbar und ermöglicht eine erste Ablesung der Ergebnisse vor Ort. Der Hauptnachteil von XRF-Analysen ist der Ertragsverlust, der mit dem Feuchtigkeitsgehalt des Bodens zunimmt (0–50 %). Aus diesem Grund wurden die abschliessenden Messungen an trockenen Proben durchgeführt. Darüber hinaus wurden 53 Proben (von den 169) zusätzlich im Labor gemäss in der VBBo vorgegebenen Methode (MSE und PAK) analysiert, was einen Vergleich der Ergebnisse mit denen der XRF-Methode ermöglichte.

¹ Gemäss Handbuch «Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden» (BUWAL, 2003)

3 Ergebnisse

3.1 Repräsentativität der Ergebnisse auf kantonaler Ebene

Zur Erinnerung: Mit der Studie soll unter anderem festgestellt werden, ob die in der Stadt Freiburg festgestellte Bodenbelastung aussergewöhnlich ist oder ob es vergleichbare Situationen in anderen Städten des Kantons gibt. So wurde in einem ersten Schritt beschlossen, die Ergebnisse der Untersuchungskampagne 2018 mit den bestehenden Daten, d. h. mit denjenigen des Bodenbeobachtungsnetzes FRIBO für städtische Böden und der Analysekampagne der historischen Quartiere Freiburgs, zu vergleichen. In der Grafik in Abbildung 3 ist die Verteilung der drei Datensätze zu sehen. Im Falle des städtischen FRIBO zeigen die meisten Standorte eine Bleibelastung unter dem Richtwert (gelbe Linie, 50 mg Pb*kg⁻¹). In Freiburg liegt der Median zwischen dem Prüfwert für den Nahrungspflanzenanbau einerseits (orange Linie, 200 mg Pb*kg⁻¹) und dem für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme andererseits (rote Linie, 300 mg Pb*kg⁻¹). Die Ergebnisse für die Regionen Bulle, Murten und Estavayer liegen dazwischen, mit einem Median über dem Richtwert. Dieser Vergleich zeigt, dass die während der Kampagne in der Stadt Freiburg beobachteten Belastungen wahrscheinlich nicht repräsentativ für den gesamten Kanton sind. Dies ist auf eine hohe Dichte von Probenahmen in den belasteten Bereichen der Altstadt zurückzuführen.

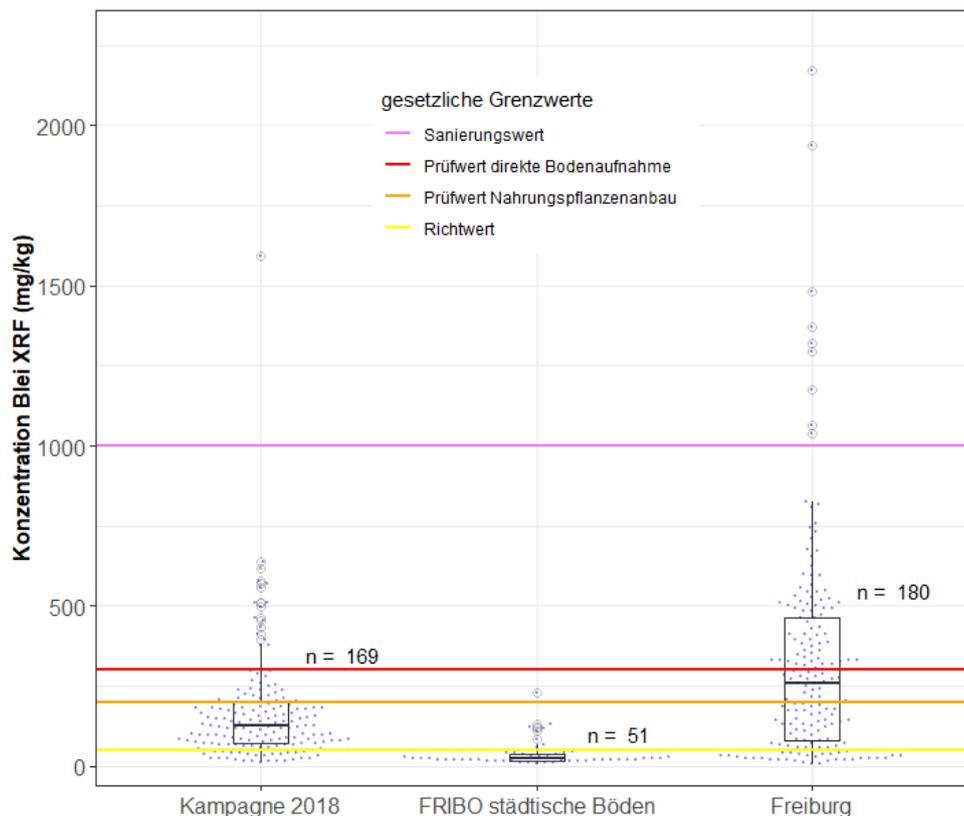


Abb. 3: Zusammenfassung der Ergebnisse der Bleigehaltmessungen, die im Rahmen der Untersuchungskampagne 2018 in den Regionen Bulle, Estavayer und Murten, des Bodenbeobachtungsnetzes FRIBO für städtische Böden sowie der Untersuchungskampagne in den historischen Quartieren der Stadt Freiburg durchgeführt worden sind. Die blauen Punkte stellen die Einzelergebnisse dar; der Box-Plot zeigt die Verteilung der Daten (Median, Quartile, Minimum und Maximum, Ausreisser). Die horizontalen Linien zeigen die verschiedenen gesetzlichen Grenzwerte an, die in der Legende angegeben sind.

Auch das städtische FRIBO garantiert keine ausreichende Repräsentativität, weil sich das Beobachtungsnetz hauptsächlich auf öffentliche Spielplätze und somit auf relativ neue Einrichtungen erstreckt. Deren «ursprüngliche» Böden wurden entweder während der Bauarbeiten bewegt oder waren nie einer Bleibelastung ausgesetzt, weil sie landwirtschaftlich oder extensiv genutzt wurden (Stadtpärke). Die Tatsache, dass die vorliegende Studie grössere Gebiete und vielfältigere Bodennutzungen abdeckt, erhöht die Repräsentativität der Bleibelastung auf kantonaler Ebene. In der Folge werden nur die Ergebnisse der Kampagne 2018 berücksichtigt.

3.2 Blei: Höhe der beobachteten Belastung

Wie aus Tabelle 1 hervorgeht, übersteigt die Mehrheit (84 %) der 169 analysierten Standorte (mittels XRF gemessene Werte) den Richtwert für Blei nach VBBo. Aus der Tabelle geht weiter hervor, dass ein Viertel der Standorte den Prüfwert für Nahrungspflanzenanbau und einer von zehn Standorten den Prüfwert für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme überschreitet. In Bezug auf die Bleibelastung überschreitet nur ein Standort den Sanierungswert. Die Laboranalysen ergaben, dass die Sanierungswerte (1080 mg/kg, siehe Ergebnisse in den Anhängen) an einem zweiten Standort überschritten werden. Am selben Standort war mit der XRF-Methode ein Wert von 571 mg/kg ermittelt worden. Diese Unterschiede lassen sich durch den partikelförmigen Charakter der Bleibelastung erklären. Ohne weitere Untersuchungen ist die Validierung des einen oder des anderen Werts nicht möglich.

Tabelle 1: Zahl und Anteil der Standorte mit Grenzwertüberschreitungen für Blei.

Gesetzliche Grenzwerte für Blei (VBBo)	Anteil der Proben, die die gesetzlichen Grenzwerte überschreiten (in Klammern, Anz. Standorte in absoluten Zahlen)
Richtwert (50 mg/kg)	84 % (142)
Prüfwert Nahrungspflanzenanbau (200 mg/kg)	25 % (42)
Prüfwert Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme (300 mg/kg)	11 % (18)
Sanierungswert (1000 mg/kg)	1 % (1)

Anmerkung zur Analysemethode:

Die methodische Überprüfung (siehe Anhang 2) hat gezeigt, dass die XRF-Methode die Bleibelastung im Vergleich zur Methode nach VBBo leicht überschätzt. Wären alle Analysen nach der offiziellen Methode durchgeführt worden, wäre der Prozentsatz der Proben, die die gesetzlichen Grenzwerte überschreiten, um ein paar Einheiten niedriger gewesen. Um diesen Effekt grob zu simulieren, wurde die mittlere analytische Verzerrung von $+27 \text{ mg Pb*kg}^{-1}$, die potenziell durch die Verwendung von XRF induziert wird, von allen Proben subtrahiert. In dieser Simulation überschreiten 69 % der Proben den Richtwert. Es sei darauf hingewiesen, dass dieser Simulation ein pessimistisches Szenario in Bezug auf die Zuverlässigkeit der XRF-Analysen zugrunde liegt. Im Bereich des Richtwerts ($0\text{--}100 \text{ mg Pb*kg}^{-1}$), hat das Gerät eine deutlich geringere analytische Verzerrung ($+3.3 \text{ mg Pb*kg}^{-1}$). Es ist daher zu erwarten, dass der tatsächliche Prozentsatz der Überschreitungen des Richtwertes viel näher bei 84 % als bei 69 % liegt.

3.3 Korrelation mit dem Alter des Gebäudes

Wie bereits erwähnt, ist die Nutzungsdauer der Gärten ein wesentlicher Risikofaktor für die chemischen Bodenbelastungen. Um den Nachweis für die Korrelation zu erbringen, wurde die auf den Grundstücken gemessene Bleibelastung mit dem im eidgenössischen Gebäude- und Wohnungsregister (GWR) angegebenen Baujahr in Beziehung gesetzt. Dieser Ansatz geht davon aus, dass die Dauer der Nutzung der Grünfläche mit dem Alter des Gebäudes auf dem Grundstück identisch ist. Als Konsequenz heisst das, je älter das Gebäude ist, desto wahrscheinlicher ist es, dass die umliegenden Gärten die gesetzlichen Grenzwerte überschreiten.

Die Daten der Kampagne 2018 wurden in drei Bauperioden gruppiert: i) vor 1919, ii) zwischen 1919 und 1960 und iii) nach 1960. Die Grafik in Abbildung 4 zeigt für jede Bauperiode (sowie für Standorte, an denen keine Gebäude stehen) den Prozentsatz der Standorte, die jeden Grenzwert nach VBBo überschreiten.

Für die Periode vor 1919 und für die Periode 1919 bis 1960 überschreitet ein grosser Teil der Standorte die gesetzlichen Grenzwerte nach VBBo. Nur 8 % bzw. 15 % der zu diesen beiden Bauperioden gehörenden Standorte liegen unter dem Richtwert. Dieses Ergebnis deutet darauf hin, dass die Grünflächen in der Nähe der vor 1960 errichteten Gebäude ein erhebliches Risiko einer Überschreitung der gesetzlichen Grenzwerte aufweisen.

Überschreitungen bei jüngeren Gebäuden (>1960) sind weniger häufig. Doch auch für diese Gruppe wird der Richtwert bei 33 % der Standorte überschritten (siehe Grafik). Diese Daten wurden einer weiteren Analyse unterzogen, um ihre Gültigkeit zu überprüfen. Diese Analyse ergab, dass die Daten des GWR nicht ganz zuverlässig sind: Manchmal entspricht das im GWR angegebene Baujahr dem Jahr, in dem ein Gebäude renoviert, verändert oder umgebaut wurde. Dies bedeutet, dass einige Standorte der Bauperiode «>1960» zugeordnet sind, obwohl sie eigentlich zu einer der beiden vorangegangenen Perioden gehören. Diese Überprüfung wurde anhand von Archivluftbildern durchgeführt und betraf vier von fünf Standorten (genauer gesagt zwei Parzellen, bei denen zwei Proben entnommen wurden). In der Grafik ist diese Gruppe von Daten, die früheren Bauperioden zugeteilt werden müssten, rot eingekreist. Nur ein Standort, der den Richtwert überschreitet, befindet sich tatsächlich auf einem Grundstück mit einem nach den 1960er-Jahren errichteten Gebäude. Hier erklärt sich die Ausnahme durch die Tatsache, dass sich dieses Gebäude zwischen zwei anderen Gebäuden aus der Periode 1920–1960 befindet, höchstwahrscheinlich das Resultat einer Parzellenzerstückelung. Würden diese Korrekturen in der Grafik vorgenommen, wäre für die Bauperiode «>1960» keine Überschreitung des Richtwerts zu beobachten: 100 % der Proben würden in der Gruppe «<RW» liegen. Es ist jedoch zu beachten, dass diese Gruppe nur durch eine kleine Anzahl Standorten (n=15) vertreten ist, da die Kampagne 2018 hauptsächlich alte Flächen betrifft. Daten aus anderen Kantonen und aus dem Bodenbeobachtungsnetz FRIBO für städtische Böden stützen jedoch die Annahme, dass «neuere» Grundstücke tendenziell nicht von Bleibelastungen betroffen sind.

Die Grafik zeigt auch eine Gruppe von Standorten, denen gestützt auf die Daten des GWR keine Nutzungsdauer zugeordnet werden konnte. Es handelt sich um die Gruppe «ohne Gebäude». Per Definition ist die Bauperiode mit einem Gebäude verbunden und daher ist es nicht möglich, unbebauten Grundstücken ein Alter zuzuordnen. Die verwendeten Daten führen daher zwangsläufig zu einer Gruppe «ohne Gebäude».

Die oben beschriebene Situation mit einem neueren Gebäude zwischen zwei älteren ist sehr interessant. Dies zeigt, dass es wichtig ist, auch das Alter der Nachbarschaft zu berücksichtigen, wenn das Risiko einer Überschreitung der gesetzlichen Grenzwerte auf einem Grundstück beurteilt wird. Dieses Prinzip könnte auch auf die Gruppe «ohne Gebäude» angewandt werden, um die Nutzungsdauer einer Parzelle abzuschätzen. Der Ansatz wird in Kapitel 4.2.1 ausführlicher erörtert.

Die Ergebnisse der Standorte, die ausserhalb des ursprünglich definierten Untersuchungsgebiets liegen, sind Teil der weiter oben beschriebenen Datenverarbeitung; die Zahl dieser Standorte (n=15) war zu gering für eine separate Analyse. 9 der 15 Standorte wiesen Überschreitungen des Richtwerts für Blei auf. Ein Gemüsegarten in der Nähe eines alten Gebäudes überschritt sogar den Prüfwert für Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme. Was die Landwirtschaftsflächen anbelangt, so sind sie von der Bleiproblematik nicht betroffen, wie die FRIBO-Ergebnisse und die im Rahmen dieser Studie durchgeführten Einzelanalysen bestätigen.

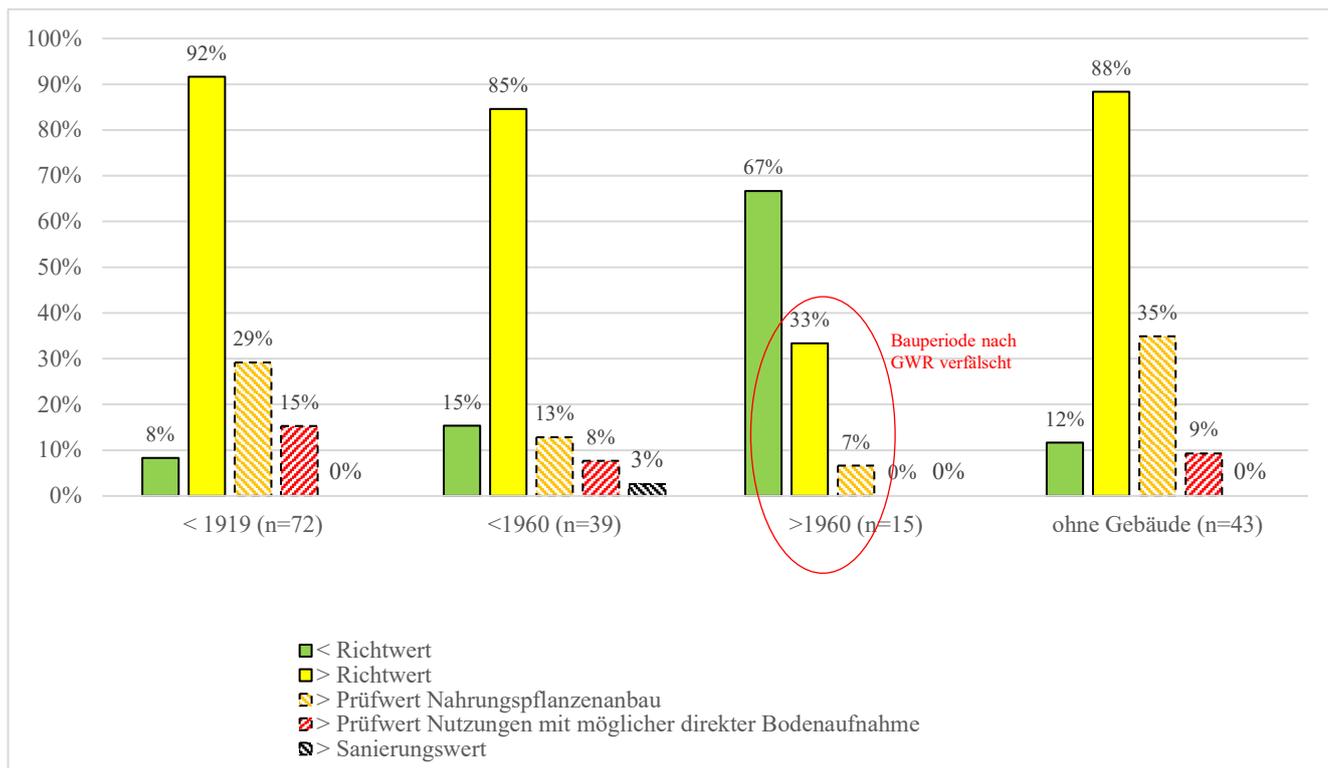


Abb. 4: Prozentualer Anteil der Standorte, die die verschiedenen Grenzwerte (VBB0 – Pb) überschreiten, aufgeschlüsselt nach Baujahr (Alter) der Gebäude auf dem betreffenden Grundstück. Die Balken mit einfarbiger Füllung stellen die Anteile der Standorte mit Bleikonzentrationen unter bzw. über dem Richtwert dar. Die Summe der Anteile ergibt 100 %. Die schraffierten Balken geben die Überschreitungen des Prüf- und des Sanierungswerts wieder. Mit anderen Worten, dies sind Untergruppen der Standorte, die den Richtwert (>RW) überschreiten. Die Gruppe «ohne Gebäude» repräsentiert Proben aus den unbebauten Grundstücken. Der rote Kreis weist auf Anomalien hin, die durch Ungenauigkeiten in der GWR-Datenbank verursacht werden; diese Daten sollten in den älteren Bauperiodenkategorien liegen (siehe Erklärungen weiter oben). Das «n =>» gibt die Anzahl Standorte in jeder Gruppe an.

3.4 Tauglichkeit von Blei als Indikator für andere Belastungen

Ungefähr ein Drittel der Proben wurde auch ins Labor zur Analyse nach der VBB0-Methode gesendet. Dadurch konnte das Analyseprogramm auf andere Schadstoffe wie PAK, Kadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber und Zink ausgedehnt werden. Die Ergebnistabelle ist in Anhang 1 abgebildet. In vielen Fällen enthält die Probe, wenn der Richtwert für Blei überschritten wird, auch ein oder mehrere andere Stoffe mit Konzentrationen über den gesetzlichen Grenzwerten (Richt- oder Prüfwert). Bei Proben mit Bleikonzentrationen unterhalb des Richtwerts wurde keine anderweitige Überschreitung beobachtet. Die Höhe der Bleibelastung ist nicht direkt mit den anderen Schadstoffbelastungen korreliert, doch zeigen die Ergebnisse, dass die Bleibelastung als qualitativer Indikator verwendet werden kann. Daraus kann im Rahmen der vorliegenden Studie gefolgert werden, dass die Wahrscheinlichkeit, neben Blei auch andere Schadstoffe zu finden, sehr gering ist, wenn der Richtwert für Blei nicht überschritten wird. Umgekehrt ist es besser, ein komplettes Analyseprogramm zu wählen, wenn die Probe eine übermäßige Bleibelastung aufweist.

4 Schlussfolgerung und Ausblick

4.1 Häufige Überschreitungen der Richtwerte nach VBBo

Verglichen mit der Situation in den historischen Vierteln der Stadt Freiburg sind die im Rahmen dieser Kampagne gemessenen Bleibelastungen insgesamt niedriger. Obwohl die räumliche Abdeckung in Bezug auf alle potenziell von dieser Art von Belastung betroffenen Gebiete noch immer gering ist, zeigen die Ergebnisse, dass die Bodenbelastung in Wohngebieten kantonsweit weniger bedeutend ist als in der Stadt Freiburg. Dennoch gibt es einen hohen Anteil an Böden in der Nähe von vor 1960 errichteten Gebäuden mit Bleikonzentrationen über dem Richtwert nach VBBo. Auch bei anderen Schadstoffen wie PAK, Quecksilber, Kupfer und Zink wurden Überschreitungen gemessen.

Hinsichtlich der geographischen Ausdehnung der Belastungen deuten die Ergebnisse dieser Studie darauf hin, dass Überschreitungen der Richtwerte nicht auf Ballungsräume beschränkt sind, sondern ganz allgemein alle Wohngebiete betreffen. Gärten in ländlichen Gebieten können ebenfalls übermässig hohe Schadstoffkonzentrationen aufweisen. Die Analyse der Daten bestätigt, dass die Dauer der Nutzung und die Nähe zu Gebäuden, die vor 1960 errichtet wurden, für das Belastungsrisiko massgebend sind. Die Verwendung der im GWR festgehaltenen Baujahre scheint ein vielversprechender Ansatz zur Vorhersage und Kartierung dieses Risikos zu sein und damit zur Verhinderung der Verbreitung von belastetem Aushubmaterial (siehe Kapitel 4.2.1).

4.2 Ausblick

4.2.1 Kartierung zur Verhinderung der Verbreitung von belastetem Bodenaushub

Laut VVEA unterliegen Böden, die während der Bauarbeiten abgetragen wurden und deren Schadstoffkonzentrationen über den Richtwerten nach VBBo liegen, Verwertungsbeschränkungen; damit soll die Verbreitung des belasteten Aushubmaterials verhindert werden. Heute ist die Rückverfolgbarkeit dieses Bodenaushubs jedoch nicht gewährleistet. Nach dem Abtransport von der Baustelle werden sie entweder im Rahmen eines anderen Bauprojekts für Umgebungsarbeiten verwendet oder sie werden zur Rekultivierung von Materialabbaustellen (Kiesgruben, Tongruben, Steinbrüche) eingesetzt, damit diese Abbaustellen wieder der Landwirtschaft zugeführt werden können. In beiden Fällen ist die Verwendung von belastetem Boden unerwünscht.

Um hier Abhilfe zu schaffen, haben mehrere Kantone eine Hinweiskarte zur Abgrenzung potenziell verschmutzter Flächen eingeführt. Dieses Instrument ermöglicht es den Behörden, auf effiziente und standardisierte Weise angemessene Anforderungen im Rahmen von Baubewilligungsverfahren festzulegen, wozu namentlich die Überprüfung der Qualität des überschüssigen Aushubmaterials, das die Baustelle verlässt, gehören kann. Konkret wird dabei vom Bauherrn verlangt, dass er Bodenanalysen vorlegt, auf deren Grundlage die konformen Verwertungsmethoden definiert werden.

Im Kanton Freiburg wird derzeit die Hinweiskarte der überwachungsbedürftigen Böden (Untersuchungsperimeter) erstellt. Der in dieser Studie aufgezeigte Zusammenhang zwischen dem Alter der Gebäude und dem Grad der Belastung ist ein Ausgangspunkt für die Automatisierung der Kartierung von Wohngebieten. Mit den Daten des GWR lässt sich das Risiko der Bodenbelastung auf die Parzelle genau abschätzen. Selbstverständlich muss diese Kartierungsmethode verfeinert werden, um auch unbebaute Risikoparzellen sowie solche, deren Bauperiode durch Gebäudesanierungen oder durch den Abbruch und Neubau von Gebäuden verzerrt ist, einzubeziehen. Im zweiten Fall ist es möglich, Anpassungen auf der Grundlage der Bauperiode des Quartiers vorzunehmen. Um diesen Prozess zu automatisieren, stehen GIS-Tools wie die räumliche Interpolation zur Verfügung. Zur Aufnahme in die Hinweiskarte von unbebauten Grünflächen können andere Datenbanken wie «Bodenbedeckung» verwendet werden. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass auch Gärten in ländlichen Gebieten von Überschreitungen der Richtwerte nach VBBo betroffen sein können. Die auf das Baujahr basierende Kartierungsmethode hat den Vorteil, dass sie auf das gesamte Kantonsgebiet, einschliesslich der ländlichen Gebiete, anwendbar ist. Die Hinweiskarte der überwachungsbedürftigen Böden und die sich daraus ergebenden Massnahmen werden einen ausreichenden Schutz

gegen die Verbreitung von verunreinigtem Bodenmaterial bieten. Damit wird es indes nicht möglich sein, isolierte oder aussergewöhnliche Fälle von Belastungen zu erfassen, die per Definition nicht vorhersehbar sind.

4.2.2 Eine nationale Lösung für Gesundheitsrisiken im Zusammenhang mit belasteten Böden

Bei Überschreitung der Prüfwerte kann ein belasteter Boden ein Gesundheitsrisiko für die Nutzenden darstellen. Kleinkinder sind besonders gefährdet, weil sie sich noch in der Entwicklung befinden und vor allem, weil sie im Vergleich zu Erwachsenen eine höhere intestinale Resorption und ein geringeres Körpergewicht haben. Die direkte Einnahme (Hand-Mund-Kontakt) oder der Verzehr von Gemüse und Früchten, die sich mit den Schadstoffen angereichert haben, können eine chronische Vergiftung des Kindes verursachen.

Grundstücke, die von einer solchen «diffusen» Verschmutzung betroffen sind, fallen nicht in den Geltungsbereich der AltIV, die für Flächen, auf denen Kinder regelmässig spielen, Sanierungsmassnahmen vorschreibt, wenn ein Konzentrationswert nach Anhang 3 AltIV überschritten wird. Die VBBo sieht Einschränkungen bei der Nutzung des betroffenen Bodens oder gar ein Verbot der betroffenen Nutzungen vor, wenn die Gesundheit von Menschen, Tieren oder Pflanzen gefährdet ist (Art. 9 und 10 VBBo). Die Gefährdungsabschätzung stützt sich auf die Weisungen des Bundesamts für Umwelt (BAFU) und wird von den Kantonen auf Einzelfallbasis durchgeführt.

Die Erfahrungen im Kanton Freiburg haben gezeigt, dass die Umsetzung von Einschränkungen oder Verboten für Flächen, auf denen Kinder regelmässig spielen, schwierig ist. Aus diesem Grund hat der Kanton Freiburg das BAFU ersucht, bei diffus belasteten Böden ähnliche Massnahmen wie in der AltIV vorzusehen; konkret soll eine Sanierungspflicht bestehen, sobald eine Gesundheitsgefährdung für Kinder vorliegt – und zwar unabhängig vom Schadstoff. Der Kanton möchte ausserdem, dass die Sanierung von Standorten bei Haus- und Familiengärten, Kinderspielplätzen und Anlagen, auf denen Kinder regelmässig spielen, nach denselben Modalitäten finanziert wird, wie die Sanierung von belasteten Standorten. 2015 begann das BAFU mit gesamtheitlichen Überlegungen zu den beiden Verordnungen VBBo und AltIV. Diese sind zum Zeitpunkt der Veröffentlichung des vorliegenden Dokuments noch im Gang.

Die Eigentümerinnen und Eigentümern, die an dieser Studie teilgenommen haben, haben Nutzungsempfehlungen erhalten. Allgemein gültige Empfehlungen für Benutzer von Böden, die vor 1960 überbaut wurden, sind auf der Webseite des Staats Freiburg unter dem Thema «Boden» verfügbar (direkter Link: <https://www.fr.ch/de/energie-landwirtschaft-und-umwelt/boden/die-wichtigsten-schadstoffe-im-boden>).

5 Quellenverzeichnis

1. **Landwirtschaftliches Institut des Kantons Freiburg (LIG).** FRIBO – Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Freiburg FRIBO – Bericht 1987–2016. *Website des Staats Freiburg, Bodenschutz.* [Online] März 2019.
https://www.fr.ch/sites/default/files/2019-05/de_RAP_fribo_2019.pdf.
2. **Affolter, Reto.** *Bericht Nr. 20 Schadstoffbelastung von Hausgärten in der Stadt Olten.* Olten: Amt für Umweltschutz, Abteilung Bodenschutz, 1998.
3. **Amt für Umweltschutz Uri.** *Schadstoffuntersuchungen in Gärten, Spielplätzen, Rebbergen und Wiesen des Kantons Uri.* Altdorf: s.n., 2009.
4. **Gsponer, Rolf.** *Ursachendifferenzierendes Vorgehen zur verdachtsorientierten Erkundung von Schwermetallbelastungen im Boden.* Zürich: ETH Zürich, 1996. Diss. ETH Nr. 11'862.
5. **Amt für Umwelt des Staats Freiburg.** Bodenanalysen in der Stadt, 2011–2016. *Website des Staats Freiburg, Bodenschutz.* [Online] Dezember 2017.
https://www.fr.ch/sites/default/files/contens/sol/_www/files/pdf71/analyses_sols_fribourg_synthese_de.pdf.
6. **BMG ENGINEERING AG.** Schwermetallbelastungen in Hausgärten in Freiburgs Altstadt, Kurzfassung. *Website des Staats Freiburg.* [Online] 14. Januar 2016.
https://www.fr.ch/sites/default/files/contens/sol/_www/files/pdf83/analyses_sols_fribourg_rapport_bmg_resume_de.pdf.

A1 Tabelle mit den Ergebnissen der Laboruntersuchungen

Ergebnisse der Laboruntersuchungen nach der VBBo-Methode betreffend metallische Spurenelemente und PAK für eine Auswahl von 53 Proben aus der Kampagne 2018

Probe Nr.	Bauperiode	pH	Organische Stoffe				Kalziumkarbonat	Σ PAK	Kadmium	Kobalt	Chrom	Kupfer	Quecksilber	Molybdän	Nickel	Blei	Zink
			Lehm	Silt	Sand												
		-	[%]	[%]	[%]	[%]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	[mg/kg]	
1	<1919	7.3	7.7	25	28	46	1	<0,50	0.18	3.56	13.2	15	0.04	0.24	13	20	46
2	ohne Gebäude	6.9	5.7	25	29	47	1	<0,50	0.22	5.09	21.5	16	0.07	0.21	21	22	47
3	ohne Gebäude	6.6	5.8	17	23	60	1	<0,50	0.18	4.46	17.1	26	0.09	0.25	16	32	85
4	<1960	6.5	4.9	7	9	84	0	<0,50	0.24	2.71	10.8	18	0.11	<0,25	9	40	78
5	<1960	7.7	3.8	23	22	55	14.5	0.56	0.34	4.34	12	31	0.21	0.14	16	52	82
6	<1919	7.4	6.7	20	28	52	28.4	0.93	0.35	3.99	11.1	33	0.21	0.13	14	70	138
7	<1919	7.4	5	22	34	45	10.1	2.5	0.67	6.41	27.2	76	0.20	0.15	31	71	215
8	ohne Gebäude	7.5	4.8	17	23	60	7.8	<0,50	0.22	4.48	15.2	39	0.36	0.11	18	74	93.4
9	ohne Gebäude	5.7	9.7	31	27	41	0	<0,50	0.42	5.76	15.4	26	0.33	<0,25	17	79	76.8
10	<1960	7.3	6.3	15	21	64	1	3.04	0.32	5.62	21.7	54	0.12	0.20	16	82	242
11	<1919	7.4	4.7	16	25	59	3	<0,50	0.32	4.30	20.2	49	0.23	<0,25	17	90	134
12	<1919	7.1	10.2	32	31	37	1	2.51	0.47	5.23	24.2	33	0.34	0.22	19	90	113
13	<1960	7.5	3.8	15	28	57	2.3	2.45	0.53	4.88	19.9	71	0.51	<0,25	18	95	185
14	ohne Gebäude	7.6	3.5	19	24	57	9.9	1.81	0.56	4.82	15	54	0.14	0.10	19	104	210
15	<1960	7.3	6.1	19	26	55	32.2	8.58	0.39	3.57	11.7	81	0.31	0.19	13	110	161
16	<1919	7.3	6.6	15	22	63	7.4	2.05	0.33	3.87	17.7	48	0.36	0.18	18	115	169
17	<1960	7.2	8.3	24	26	50	21.4	0.91	0.45	4.38	11.9	51	0.43	0.18	15	120	180
18	<1919	7.3	6.2	16	26	58	1.9	0.91	0.35	4.79	18.5	41	0.46	<0,25	19	123	160
19	<1919	7.3	13.5	25	29	46	5.7	0.53	0.53	7.38	36.8	366	0.36	0.18	47	127	189
20	ohne Gebäude	7.5	6.4	14	20	66	7.5	1.14	0.35	4.18	22.3	84	1.44	0.35	17	135	136
21	<1960	7.1	8.6	25	22	53	14.8	<0,50	0.89	4.30	21.3	94	0.34	0.20	15	149	255
22	<1919	6.8	5.7	19	26	55	1	0.72	0.31	5.20	17.6	46	1.64	0.21	19	157	139
23	<1919	7.4	5.3	14	19	67	8.3	1.47	0.29	4.11	14.8	56	0.96	0.13	17	158	141
24	<1919	7.5	5.5	22	24	55	1	0.91	0.57	5.16	17.7	212	0.13	0.17	19	162	263
25	<1919	7.3	5.5	14	19	67	10.5	0.81	0.36	3.75	17.7	81	0.70	0.17	17	171	229
26	> 1960	7.1	9.8	30	26	44	7.2	3.03	0.55	4.79	15.8	54	0.37	0.21	17	172	240
27	<1919	7.4	5.4	13	21	67	19.4	2.03	0.30	4.06	13.7	57	0.43	0.15	16	172	185
28	ohne Gebäude	7.5	4.9	13	24	63	10.7	0.64	0.30	4.24	25.6	74	1.46	0.21	19	173	162
29	ohne Gebäude	7.4	5.5	12	21	67	11.7	1.39	0.25	3.26	11.8	47	1.95	0.11	14	186	141
30	<1960	7.2	5.4	18	27	55	4.3	3.63	0.41	5.37	18.5	99	0.29	0.25	20	190	259
31	ohne Gebäude	7.3	6.5	14	22	64	8.1	1.92	0.28	4.27	18.1	86	1.36	0.30	18	195	149
32	ohne Gebäude	7.6	4.3	7	17	76	19	1.68	0.38	3.21	13.7	58	0.53	0.13	13	200	193
33	ohne Gebäude	7.6	5.3	12	15	74	11.8	<0,50	0.43	3.92	17.1	81	1.01	<0,25	16	201	197
34	<1919	7.5	7.2	15	22	63	16.7	8.11	0.35	4.07	16	75	1.27	0.30	16	209	219
35	<1919	7.4	6.3	14	20	65	5.4	7.26	0.44	4.03	15.9	45	0.48	0.19	16	210	261
36	<1919	7.4	9	9	15	76	1	0.52	0.45	3.50	15.2	597	0.20	0.26	19	233	584
37	ohne Gebäude	7.4	6.9	12	23	65	13.2	1.08	0.64	3.66	18.6	139	1.10	0.32	15	251	518
38	ohne Gebäude	7.2	9.3	25	23	53	28.7	3.08	0.50	4.10	24.1	67	0.28	0.26	15	265	237
39	<1919	7.6	5.9	22	35	43	6	1.81	0.80	7.61	31.6	109	0.25	0.20	31	268	562
40	<1919	7.6	8.5	20	23	58	33.8	7.63	0.45	3.87	17.2	42	0.59	0.24	15	308	187
41	<1919	7.4	8.2	23	24	53	35.3	8.15	0.68	4.01	20	79	0.70	0.20	17	341	326
42	<1960	7.5	5	24	30	46	19.6	3.67	0.90	5.04	19.7	122	0.36	0.13	18	346	463
43	<1919	7.4	7.4	15	20	65	14.8	1.45	0.36	3.88	14.9	119	2.93	0.20	15	364	197
44	<1960	7.2	8.3	22	18	60	21.9	1.27	0.51	4.11	13.9	68	1.92	0.20	15	380	195
45	<1919	7.1	7.5	18	25	58	1	6.91	0.39	5.60	19.9	174	0.34	0.18	21	385	172
46	ohne Gebäude	7.5	4.8	15	27	58	16.3	0.83	0.65	4.87	14.6	60	0.72	0.07	18	426	386
47	<1960	7.4	5	12	17	72	8.2	1.31	0.54	2.94	15.2	154	0.23	0.21	12	435	351
48	<1919	7.4	6.1	19	25	56	27.6	1.95	0.91	4.97	23.8	193	1.38	<0,25	20	454	368
49	ohne Gebäude	7.6	6.2	13	17	70	12	0.77	0.42	4.58	14.7	138	8.02	<0,25	16	552	192
50	<1919	7.3	7.4	17	27	56	5.1	<0,50	0.49	4.77	18.2	81	1.38	0.29	19	587	327
51	<1919	7.4	4.7	12	20	69	9.6	0.97	0.63	4.14	23.6	93	0.26	0.37	16	619	505
52	ohne Gebäude	7.4	6	13	21	66	13.6	1.65	0.36	3.62	15.5	85	1.91	0.20	15	1080	197
53	<1960	7.5	6.5	11	16	73	10.6	1.39	0.75	3.60	18.7	179	0.34	0.32	17	1592.5	354

Legende Farbcode	
< Richtwert	Grün
> Richtwert	Gelb
> Prüfwert Nahrungspflanzenbau	Orange
> Prüfwert Nutzungen mit möglicher direkter Bodenaufnahme	Rot
> Sanierungswert	Violett

A2 Methodentests für die XRF-Methode

Dieser Anhang existiert nur in französischer Sprache und kann beim Amt für Umwelt bezogen werden.