

Auftraggeberin: Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) des Kantons Luzern

UNTERSUCHUNGSBERICHT

Gefährdungsabschätzung in Zusammenhang mit chemischen Bodenbelastungen in den Gemeinden Ebikon, Emmen, Luzern, Meggen, Meierskappel, Root und Udligenswil



Projektleitung: Leonard Zourek
Korreferat: Lars Knechtenhofer / Dr. Martin Hoffmann
Projekt-Nr.: 22.080.2

Buchrain, 19. Februar 2024

INHALTSVERZEICHNIS

ZUSAMMENFASSUNG	3
1 EINLEITUNG	5
1.1 Ausgangslage	5
1.2 Ausgeführte Arbeiten	6
1.3 Verwendete Unterlagen	6
2 UNTERSUCHUNG	9
2.1 Auswahl der zu untersuchenden Anlagen	9
2.2 Grundsätze zur Standortauswahl	12
2.3 Untersuchungskonzepte	12
2.4 Probenahme	13
2.5 Laboranalytik	14
3 ERGEBNISSE	15
4 DISKUSSION	16
5 GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG	18
5.1 Grundlagen / vorhandene Nutzungen	18
5.2 Vorgehen / Methoden	18
5.3 Futterpflanzenanbau	19
5.4 Nahrungspflanzenanbau	21
5.5 Direkte Bodenaufnahme	21
5.6 Ergebnisse der ersten Gefährdungsabschätzung	22
6 AUSBLICK	27

ANHANG

Anhang 1	Liste Probenahmeflächen
Anhang 2	Pläne Probenahmeflächen inkl. Ausbreitungsmodellierung
Anhang 3	Klassierungstabelle
Anhang 4	Belastungspläne
Anhang 5	Gefährdungsabschätzungen BAFU-Tool
Anhang 6	Analysenberichte

VERTEILER

- Kanton Luzern, Umwelt und Energie (uwe), Gewässer und Boden

ZUSAMMENFASSUNG

<p>Ausgelöst durch das Bekanntwerden einer grossflächigen Belastung der Böden in der Region Lausanne mit polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen (PCDD/F, im Folgenden "Dioxine" genannt), welche mutmasslich auf den Betrieb der KVA Vallon zurückzuführen ist, liess die Dienststelle Umwelt & Energie des Kantons Luzern (DS uwe) prüfen, ob auch im Kanton Luzern rund um potenzielle Emittenten erhöhte Bodenbelastungen mit Dioxinen und weiteren Schadstoffen auftreten.</p>	<p>Ausgangslage</p>
<p>Dioxine sind persistente organische Schadstoffe (POPs), welche bereits in geringen Konzentrationen für Menschen und viele Wirbeltiere toxisch sind. Sie wurden nicht gezielt produziert, sondern entstehen z.B. bei Verbrennungen, chlorchemischen Prozessen und der Stahlproduktion.</p>	
<p>Die hier dokumentierte Untersuchung hatte zum Ziel, mögliche Schadstoffbelastungen im Boden zu identifizieren, welche via Luftpfad durch den Betrieb potenzieller Emittenten im Gebiet Luzern-Emmen-Ebikon entstanden sein könnten. Hierbei lag der Fokus auf möglichen Bodenbelastungen mit PCDD/F, es sollten jedoch auch weitere Schadstoffe berücksichtigt werden, bei denen Prüfwertüberschreitungen als möglich erachtet wurden.</p>	<p>Ziel</p>
<p>Die KVA Ibach, die Papierfabrik Perlen sowie das Stahlwerk Emmen wurden für die erste Untersuchungsetappe als prioritäre Emittenten eingestuft. Auf Grundlage der Ergebnisse der ersten Etappe wurden in der zweiten Etappe die Giesserei Emmen und das Krematorium Luzern als mögliche relevante Emittenten mit einbezogen. Auf Grundlage einer Ausbreitungsmodellierung der Abluft aller Anlagen (mit Ausnahme der Giesserei Emmen) wurden 29 Probenahmestandorte identifiziert, welche sowohl über eine hohe Eintragswahrscheinlichkeit von Schadstoffen als auch über eine sensible Nutzung verfügen. An jeder Probenahmefläche wurde eine Flächenmischprobe entnommen.</p>	<p>Probenahmeflächen</p>
<p>Neben den Dioxinen wurden die Bodenproben auch auf dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle (dl-PCB), Schwermetalle sowie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) untersucht.</p>	<p>Analysierte Schadstoffe</p>
<p>Die Dioxine-Gehalte lagen in 27 der 29 Bodenproben unter dem VBBo-Richtwert von 5 ng I-TEQ / kg und in zwei Proben zwischen dem VBBo-Richtwert und dem VBBo-Prüfwert von 20 ng I-TEQ/kg. Die Untersuchung lieferte keine Hinweise auf erhöhte Dioxingehalte im Bereich des Prüfwertes von 20 ng I-TEQ/kg, d.h. es besteht auf den untersuchten Flächen keine Gefährdung und kein Handlungsbedarf bzgl. Gefahrenabwehr hinsichtlich PCDD/F.</p>	<p>Geringer Dioxingehalt: Keine Gefährdung</p>
<p>Jedoch wurden im Untersuchungsgebiet zahlreiche Überschreitungen von Richtwerten und einzelne Überschreitungen von Prüfwerten von Schwermetallen (SM) nachgewiesen. Diese befinden sich vor allem im urbanen Gebiet und können neben den einzelnen Anlagen auch durch diffuse Quellen verursacht sein.</p>	<p>Mehrere Standorte mit erhöhten SM-Gehalten</p>
<p>Eine Prüfwertüberschreitung kann je nach Nutzung der betroffenen Fläche eine Gefährdung darstellen. Die Gefährdungssituation muss im Einzelfall geprüft werden (daher die Bezeichnung "Prüfwert"). Eine erste orientierende Gefährdungsabschät-</p>	<p>Vereinzelte Gefährdung bei Futterpflanzenanbau</p>

zung zeigt, dass auf einzelnen Flächen mit Prüfwertüberschreitungen bei der Beweidung durch Schafe eine konkrete Gefährdung bestehen könnte. Für diese Flächen muss die Behörde prüfen, ob unter Berücksichtigung der effektiven Nutzung und Belastung der massgebenden Bodenschichten Massnahmen zur Gefährdungsabwehr notwendig sind. Zudem zeigte die erste Gefährdungsabschätzung, dass bei einer Umnutzung gewisser Dauergrünlandflächen zu einer ackerbaulichen Produktion von Futter- oder Nahrungsmitteln auch konkrete Gefährdungen bestehen können.

In der vorliegenden Untersuchung wurden fünf potenzielle Hauptemittenten untersucht. Es gibt im Kanton Luzern weitere potenzielle Emittenten sowie diffuse Eintragspfade, welche zu Prüfwertüberschreitungen im Boden geführt haben könnten. Diese Verdachtsflächen werden im Rahmen der interkantonalen Bodenbeobachtung (KABO) der Zentralschweizer Kantone (Umwelt Zentralschweiz) systematisch inventarisiert und in einem GIS-Layer zusammengefasst. Die entsprechenden Erkenntnisse dienen and Grundlage für weitere Untersuchungen der Dienststelle Umwelt und Energie. KABO ZCH

1 EINLEITUNG

1.1 Ausgangslage

Das Bekanntwerden einer grossflächigen Bodenbelastung mit polychlorierten Dibenzodioxinen und -furanen (PCDD/F, im Folgenden auch "Dioxine" genannt) rund um die ehemalige Kehrlichtverbrennungsanlage (KVA) Vallon in Lausanne im Sommer 2021 warf die Frage auf, ob auch an weiteren Standorten in der Schweiz mit vergleichbaren Bodenbelastungen zu rechnen sei. Der Kanton Luzern hatte bis dahin keine systematische Untersuchung der potenziellen Dioxinbelastung im Boden durchgeführt, weder bei der ehemaligen KVA Ibach noch an anderen Orten. Der Fokus bei Untersuchungen zu Bodenbelastungen wurde bis dahin auf andere Schadstoffe gelegt.

Ausgangslage

Unabhängig von den Erkenntnissen aus dem Kanton Waadt hat die Dienststelle Umwelt und Energie (im Folgenden "DS uwe" genannt) insbesondere unter Berücksichtigung des gesetzlichen Leistungsauftrags potenziell gefährliche Bodenbelastungen priorisiert [1]. Darauf basierend legt die DS uwe chemische Bodenbelastungen mit Prüfwertüberschreitungen (gem. VBBo) als prioritären Untersuchungsbereich für die kantonale Umweltbeobachtung Boden fest. Innerhalb des Untersuchungsbereichs sollte, unter Berücksichtigung der gesellschaftlichen und aktuellen politischen Sensitivität, zunächst als Initialprojekt der Fokus auf die Gefährdungsabschätzung allfälliger Dioxinbelastungen innerhalb der Gemeinden Luzern, Emmen und Ebikon gelegt werden. In den genannten Gemeinden liegen die ehemaligen, potenziellen Hauptemittenten von Dioxinen (vgl. Kapitel 2.1).

Mit Auftragsbestätigung vom 28. Februar 2022 des Kantons Luzern (DS uwe) wurde die FRIEDLIPARTNER AG, Buchrain, mit der Untersuchung und ggf. Gefährdungsabschätzung der Bodenbelastungen durch Dioxine im Kanton Luzern beauftragt.

Auftrag

Das Projekt wurde seitens DS uwe von Matthias Grob geleitet, die Projektaufsicht erfolgte durch Daniel Christen (DS uwe), Werner Göggel (DS uwe) und Andrea Muff (Kommunikation BUWD). Die Arbeiten wurden inhaltlich durch eine Projektbegleitgruppe begleitet, in welcher neben Vertreter*innen der DS uwe (Dörte Carstens (Altlasten), Stephan Schneider (Luftreinhalung), Silvan Rüttimann (Abfall), Jasmin Einig (Luftreinhalung)) auch die Real AG (Martin Zumstein, Daniele Vergari) vertreten war. Die Projektbearbeitung erfolgte durch die FRIEDLIPARTNER AG sowie die Simultec AG als Unterauftragnehmende (Ausbreitungsmodellierung).

Projektorganisation

Für die erste Untersuchungsetappe wurden auf Basis einer kantonsinternen Vorauswahl [2] sowie ergänzender Recherchen zu Prozessen und Anlagenhistorien in Rücksprache mit der Projektbegleitgruppe die KVA Ibach, die Papierfabrik Perlen sowie das Stahlwerk Emmen als prioritär zu untersuchende Emittenten ausgewählt. Basierend auf einer Schadstoffausbreitungsmodellierung durch die Simultec AG [3] erstellte die FRIEDLIPARTNER AG ein Konzept zur Untersuchung möglicherweise mit PCDD/F belasteter Böden [4].

Etappe 1

Auf Grundlage von ergänzenden Recherchen und der Ergebnisse der ersten Untersuchungsetappe wurde eine zweite Etappe geplant und nach Abstimmung mit der Projektbegleitgruppe ausgeführt. Die zweite Untersuchungsetappe sollte einerseits

Etappe 2

Wissenslücken schliessen und andererseits den Kenntnisstand in Bezug auf weitere relevante Emittenten (Krematorium Luzern und Giesserei Emmen) verbessern.

Der vorliegende Bericht dokumentiert die Ergebnisse beider Untersuchungsetappen und enthält einen Vorschlag zum weiteren Vorgehen.

1.2 Ausgeführte Arbeiten

FRIEDLIPARTNER AG, Buchrain:

- Erarbeitung Untersuchungskonzept Etappe 1 [4] auf Grundlage der Ausbreitungsmodellierung [3] in Rücksprache mit der Projektbegleitgruppe; ergänzende Recherchen zu den Emittenten
- Entnahme von Bodenproben, Erteilen Analyseaufträge
- Auswerten und Interpretieren der Messwerte
- Erstellen des Berichts zur Etappe 1
- Konzeption Etappe 2 in Rücksprache mit der Projektbegleitgruppe
- Entnahme von Bodenproben, Erteilen Analyseaufträge
- Auswerten und Interpretieren der Messwerte
- Erstellen des vorliegenden Berichts

Drittleistungen:

- Ausbreitungsmodellierung durch die Simultec AG, Zürich
- Chemische Untersuchung von 29 Boden-Proben durch die Eurofins Umwelt Ost GmbH, Bobritzsch-Hilbersdorf (D)

1.3 Verwendete Unterlagen

- [1] Synthesebericht Umweltbeobachtung 2021 der Dienststelle uwe. *Publikation geplant.*
- [2] Gefährdungsabschätzung in Zusammenhang mit Bodenbelastungen über Prüfwert in den Gemeinden Luzern / Emmen / Ebikon. Projektskizze der Dienststelle uwe vom 21. Dezember 2021
- [3] Chemische Bodenbelastung Kanton Luzern. Ausbreitungsmodellierung Dioxine. Bericht simultec AG vom 25. Mai 2022
- [4] Untersuchung von PCDD/F-Bodenbelastungen im Kanton Luzern. Überarbeitetes Untersuchungskonzept Etappe 1. Bericht FRIEDLIPARTNER AG vom 14. November 2022.
- [5] Kehrichtverbrennungsanlage KVA Luzern 2000. Bericht zur Umweltverträglichkeitsprüfung UVP. Bericht der Künzler & Partner AG vom Oktober 1993.

- [6] Immissionsmessungen Stahlindustrie Emmenbrücke. Schlussbericht der Inhaltsstoffanalytik von Bergerhoff- und High-Volume-Sampler-Messungen von April 2013 bis März 2014. Bericht inNet Monitoring AG vom 12. Mai 2014.
- [7] Dioxine durch Stahl. Emissionen von PCDD/F und dioxinähnlichen PCB durch Stahlwerke und Schredderanlagen am Beispiel des Elektrostahlwerks in Riesa. Erschienen in: KGV-Rundbrief 2/2011, Öko-Institut e.V.
- [8] Von Moos / Swiss Steel AG, Emmenbrücke. Archivkatalog Staatsarchiv Luzern, abgerufen am 29. August 2022 unter <https://query-staatsarchiv.lu.ch/detail.aspx?ID=1544573>
- [9] Dioxin Formation in Pulp and Paper Mills of India. Environmental Science and Pollution Research. Juli 2007.
- [10] Dioxine und dioxinähnliche PCB in Umwelt und Nahrungsketten. Umweltbundesamt, 2018.
- [11] Keine erhöhten Dioxingehalte bei Kehrlichtverbrennungsanlagen. Medienmitteilung der Bau- und Verkehrsdirektion des Kantons Bern vom 1. März 2022.
- [12] Schlammverbrennungsanlage: Revision ist abgeschlossen. Artikel der real vom 26. Dezember 2022.
<https://www.real-luzern.ch/ueber-real/neuigkeiten/news-detail/schlammverbrennungsanlage-revision-ist-abgeschlossen/>
- [13] GIS-Layer Hinweisflächen für anthropogene Böden, Kanton Luzern (https://www.geo.lu.ch/meta/?metauid=BODHINAB_DS&version=3)
- [14] Zeitreise-Tool Luftbilder swisstopo (<https://www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/karten-geodaten-online/zeitreise-luftbilder.html>)
- [15] Zeitreise-Tool Kartenwerke swisstopo (<https://www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/karten-geodaten-online/zeitreise.html>)
- [16] Handbuch Probenahme und Probenvorbereitung für Schadstoffuntersuchungen in Böden. BAFU, 2003
- [17] Wegleitung: Bestimmung von polychlorierten Dioxinen und Furanen in Böden. BAFU, 2001.
- [18] Beurteilung von Boden im Hinblick auf seine Verwertung. Modul der Vollzugshilfe "Bodenschutz beim Bauen". BAFU, 2021.
- [19] Contaminations des sols aux dioxines dans la région lausannoise – exposition de la volaille et résidus dans les denrées alimentaires. Bericht Unisanté vom Dezember 2022.
- [20] Wohnüberbauung [REDACTED]
Luzern. Chemische Bodenuntersuchung. Bericht [REDACTED]
[REDACTED]
- [21] Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden. Handbuch des BAFU von 2005.

- [22] Risikobeurteilung von Bodenschadstoffen in Haus- und Familiengärten gemäss Anhang 3, Ziffer 2 AltIV für die menschliche Gesundheit. Bericht SCAHT vom 24. Januar 2017.

2 UNTERSUCHUNG

2.1 Auswahl der zu untersuchenden Anlagen

Die Projektskizze [2], welche die Grundlage für die Ausschreibung der Arbeiten bildete, enthielt bereits eine erste Selektion von potenziellen Emittenten von PCDD/F, z.T. aber auch von anderen Schadstoffen wie z.B. Schwermetallen oder polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen (PAK). Folgende Emittenten wurden in einer kantonsinternen Voruntersuchung ermittelt: Potenzielle Emittenten

- KVA Ibach
- Stahlwerk von Moos AG
- Papierfabrik Perlen
- Klärschlammverbrennungsanlage REAL
- Krematorium Luzern
- Giesserei von Roll Casting AG
- LOACKER AG (Altholzfeuerung)
- Ziegelei Ineichen AG
- Ziegelei Schumacher AG
- Bauhag Produkte AG (Altholzfeuerung)
- Altholz- & Knochenverbrennungsanlage Migros (Dierikon)
- Ehemalige Deponie Friedental (Mottfeuer, Kehrichtverbrennung, etc.)
- Einsatz Rauchgranaten Schweizer Armee (Emmen)

In der ersten Untersuchungsetappe sollten diejenigen Emittenten untersucht werden, bei denen aufgrund der Betriebsprozesse eine PCDD/F-Bildung und -ausbreitung am wahrscheinlichsten erscheint. Dies sind v.a. die ehemalige Kehrichtverbrennungsanlage (KVA) Ibach, die Papierfabrik Perlen sowie das Stahlwerk in Emmen. Prioritäre Anlagen

Die KVA Ibach (siehe Abbildung 1), in Betrieb vom 1971 bis 2015, kann aufgrund des Fundes PCDD/F-belasteter Böden um die KVA Vallon in Lausanne als prioritär zu untersuchender relevanter Emittent angesehen werden. Zudem ist bekannt, dass von der KVA Ibach PCDD/F-Emissionen ausgingen, v.a. vor Inbetriebnahme der Rauchgaswäscher (1982) [5]. KVA Ibach



Abbildung 1: KVA Ibach (undatiert).
Quelle: <https://www.srf.ch/news/zentralschweiz-bald-ist-der-ofen-aus-in-der-kva-ibach>

Für das Stahlwerk in Emmen (siehe Abbildung 2) ist dokumentiert, dass es zur Ausbreitung von schwermetallhaltigen Stäuben kam [6]. Da bei der Stahlherstellung je nach verwendetem Stahlschrott auch PCDD/F entstehen können [7], können Dioxinimmissionen in der Umgebung nicht ausgeschlossen werden. Zudem kommt beim Stahlwerk die Tatsache hinzu, dass der Betrieb schon seit Mitte des 19. Jahrhunderts dort ansässig ist [8].

Stahlwerk Emmen



Abbildung 2: Stahlwerk Emmen im September 1946.
Quelle: ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv / Fotograf: Bärtschi, Hans-Peter; Unbekannt / SIK_01-053618 / CC BY-SA 4.0

Die Papierfabrik Perlen (siehe Abbildung 3) wurde in die erste Untersuchungs-
 etappe aufgenommen, weil bekannt ist, dass bei der Papierherstellung, insbeson-
 dere durch den Einsatz von Chlor beim Papierbleichen, PCDD/F entstehen können
 [9], [10] und im Werk eine interne Rückstandsverbrennungsanlage betrieben wird.
 Auch die Papierfabrik ist bereits seit dem späten 19. Jahrhundert in Betrieb.

Papierfabrik Perlen



Abbildung 3: Papierfabrik Perlen im Juni 1965.
 Quelle: ETH-Bibliothek Zürich, Bildarchiv / Fotograf: Comet Photo AG (Zürich) /
 Com_F65-05621 / CC BY-SA 4.0

PCDD/F können grundsätzlich auch bei weiteren (industriellen) Prozessen (Herstel-
 lung von Pflanzenschutzmitteln, metallurgische Prozesse, Klärschlammverbren-
 nung, Krematorien, etc.) entstehen. Diese weisen i.d.R. ein geringeres Emis-
 sionspotential auf.

Für die zweite Untersuchungsetappe wurden in Rücksprache mit der Begleitgruppe
 zwei solcher Emittenten ausgewählt:

Emittenten Etappe 2

Das Krematorium Luzern wurde ausgewählt, weil eine Untersuchung von PCDD/F-
 Belastungen in Böden rund um drei KVA im Kanton Bern Hinweise darauf lieferte,
 dass die Böden im Umfeld des Krematoriums Biel PCDD/F-Konzentrationen über
 dem VBBo-Prüfwert aufweisen [11].

Krematorium Luzern

Die Giesserei Emmen wurde ausgewählt, weil sie als metallurgischer Betrieb auch
 ein Potenzial zur Emission von PCDD/F aufweist (s.o.) und sich zudem in einem
 dicht besiedelten Gebiet befindet.

Giesserei Emmen

Die Klärschlammverbrennungsanlage der REAL wurde ebenfalls einer genaueren
 Prüfung unterzogen. Jedoch wurde aufgrund ihrer jüngeren Betriebsgeschichte (In-
 betriebnahme 1995 [12]) entschieden, dass in ihrem Umfeld keine Prüfwertüber-
 schreitungen zu erwarten seien, da davon auszugehen ist, dass allfällige Schad-
 stoffe im Abgas durch die Rauchgasreinigung grösstenteils abgefangen wurden.

2.2 Grundsätze zur Standortauswahl

Die Auswahl der meisten Probenahmestandorte basierte auf einer Ausbreitungsmodellierung der Abgase von vier der Emittenten (Stahlwerk, KVA, Papierfabrik, Krematorium) [3]. Für die Modellierung wurden zunächst Windfeldberechnungen auf der Grundlage der Windmessungen an der Wetterstation Luzern für das Jahr 1981 (MeteoSchweiz), dem Geländehöhenmodell DHM25 von Swisstopo und dem CORINE-Landnutzungskataster durchgeführt. Anhand der Windfeldberechnungen und der anlagenspezifischen Parameter (Austrittsgeschwindigkeit und -temperatur des Abgases, Lage und Kaminhöhe der Anlage) wurde für die o.g. Emittenten eine Ausbreitungsrechnung mit dem Programm AUSTAL durchgeführt um die Maxima der trockenen und nassen staubgebundenen PCDD/F-Deposition zu bestimmen.

Die Lage der Probenahmeflächen und die Ergebnisse der Ausbreitungsmodellierung sind in Anhang 2 dargestellt.

Die Auswahl der Probenahmestandorte folgte den folgenden Grundsätzen:

- Identifizieren der Bereiche mit der höchsten Gefährdung (und nicht nur der höchsten Belastung)
 - Möglichst vollständiges Erfassen von Bereichen mit hohen modellierten Immissionswahrscheinlichkeiten unter Berücksichtigung der Emissions-szenarien "Trockendeposition" und "Nassdeposition"
 - Erfassen verschiedener und sensibler Bodennutzungen
- Möglichst vollständiger Ausschluss von Flächen, welche rekultiviert wurden oder in denen der Boden seit Inbetriebnahme des jeweilig betrachteten Emittenten ersetzt wurde (Meliorationen, Terrainveränderungen, etc.).
Quellen: Hinweisflächen für anthropogene Böden [13], Prüfung Luftbilder (verfügbar ab 1971 [14]) und Landeskarten (verfügbar ab 1864 [15]).

2.3 Untersuchungskonzepte

Die Standortauswahl der ersten Untersuchungsetappe folgte den in Kapitel 2.2 genannten Grundsätzen an den drei Hauptemittenten KVA Ibach, Stahlwerk Emmen und Papierfabrik Perlen [4].

Die Standortauswahl der zweiten Untersuchungsetappe, welche in Rücksprache mit der Begleitgruppe nach Vorliegen der Resultate (vgl. Kapitel 3) der ersten Etappe festgelegt wurde, zielte auf weitere Ziele/Fragestellungen ab:

- Untersuchung der Böden im Umfeld weiterer Emittenten (Giesserei Emmen (Proben F.07 bis F.08) sowie Krematorium Luzern (Proben F.09 bis F.11))
- Verifikation der Richtwertüberschreitung von PCDD/F im Bereich Museggmauer¹ (Proben F.01 und F.02)

¹ Die DS uwe stellte Messergebnisse von vier weiteren Bodenproben aus der Stadt Luzern zur Verfügung. Zwei dieser Proben (P1 und P2 aus Untersuchung [20]), welche in der Nähe

- Verdichten der Datenlage im modellierten Nassdepositionsbereich der KVA Ibach (Probe F.03)
- Abdecken des dicht besiedelten Teils der Stadt Luzern am westlichen Ufer des Vierwaldstättersees, auch wenn dort keine Immissionen modelliert wurden (Proben F.04 und F.05)

Die Platzierung der Probenahmestandorte beim Krematorium basierte auf der bereits ausgeführten Ausbreitungsmodellierung [3].

2.4 Probenahme

Die Probenahme erfolgte am 23., 29. und 30. November 2022 (Etappe 1) sowie am 11. und 20. Juli 2023 (Etappe 2) gemäss BUWAL-Handbuch Probenahme [16]. Die Standortkoordinaten (s. Tabelle in Anhang 1) wurden mittels GPS angepeilt und als Mittelpunkt einer 10 m x 10 m grossen Probenahmefläche definiert. Die Flächen wurde mit einem Massband ausgemessen und mit Weidezaunpfählen markiert. Die Lage der Probenahmeflächen ist in der Liste in Anhang 1 bzw. in den Plänen in Anhang 2 ersichtlich. Einmessen Flächen

Mittels Hohlmeisselbohrern wurden jeweils 16 Einzelproben systematisch verteilt entnommen [16] und zu einer Flächenprobe vereinigt. Die Probenahmetiefe wurde der VBBo entsprechend der Nutzung angepasst. Bei Böden mit möglicher direkter Bodenaufnahme (Kinderspielplätze, Hausgärten etc.) wurde die Schicht von 0 – 0.05 m ab Oberkante des Terrains (OKT) und bei Böden mit land- oder forstwirtschaftlicher Nutzung die Schicht 0 – 0.2 m ab OKT beprobt. Proben-Entnahme

Einige Flächen (K.05, K.08, F.01, F.02, F.04, F.06, F.07, F.11) weichen von diesem Grundsatz ab: sie befinden sich auf Dauergrünland und sollen in etwa die Belastung der angrenzenden sensiblen Nutzungen (Privatgärten in Wohngebieten) repräsentieren. Daher wurden auf diesen Flächen die obersten 5 cm des Bodens beprobt, wie für die Beurteilung von Nutzungen mit direkter Bodenaufnahme vorgegeben.

Bei allen Flächen mit Probenahmetiefe 0 – 5 cm wurde die Anzahl Einstiche auf ca. 40 erhöht, um eine ausreichende Probemenge sicherzustellen.

Bei der Probenahme zeigte sich, dass bei Standort K.09 unter der Rasendecke eine künstliche Auffüllung vorlag, welche Ziegelbruchstücken und Kohle enthielt. Auch bei Standorten F.03, F.05, F.11 waren in 1 bis 2 von 16 Einstichen Ziegelbruchstücke erkennbar. Anthropogen beeinflusste Böden wären gemäss Untersuchungskonzept [4] prinzipiell auszuschliessen gewesen. Die im Rahmen der Standortauswahl ausgeführte Auswertung der Quellen zu anthropogenen Bodenbeeinflussungen (u.a. historische Luftbilder und Karten; Details vgl. [4]) ergab jedoch im Vorfeld keine Hinweise auf eine anthropogene Beeinflussung der Böden an den vorgenannten Standorten. Fremdstoffhaltiges Material

der Museggmauer entnommen wurden, wiesen bzgl PCDD/F eine leichte VBBO-Richtwertüberschreitung auf (6.9 resp. 5.2 ng I-TEQ / kg).

Bevor die Proben ans Labor versandt wurden, wurde der Ton-, Silt- und Sandgehalt sowie der Gehalt an organischem Kohlenstoff geschätzt. Schätzung Körnung und C_{org}

2.5 Laboranalytik

Die Proben wurden im Labor der Eurofins Umwelt Ost GmbH entsprechend Anhang 1 Ziffer 2 Absätze 4 und 5 der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) vorbereitet. Probenvorbereitung

Zur Ermittlung der Totalgehalte der Schwermetalle wurden die vorbereiteten Bodenproben gemäss Anhang 1 Ziffer 2 Absatz 5 VBBo mit 2 molarer Salpetersäure extrahiert und der Extrakt mit ICP-OES gemessen. Die Bestimmung der Gehalte an PCDD/F und dl-PCB erfolgte gemäss BAFU-Wegleitung [17] mittels Soxhlet-Extraktion. Die Gehalte an polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen wurden gemäss Methode DIN EN 15527: 2008-09 bestimmt. Schadstoffe

Bei den Standorten, bei welchen die erste Gefährdungsabschätzung (vgl. Kapitel 5) auf eine mögliche konkrete Gefährdung hindeutete, wurde der pH-Wert (in CaCl₂) gemessen.

3 ERGEBNISSE

Zur Ermittlung der Belastungskategorie des vorhandenen Bodens werden die Schadstoffgehalte der Bodenproben (siehe Analysenberichte in Anhang 6) in der Tabelle in Anhang 3 und den Plänen in Anhang 4 mit den Massnahmenwerten der VBBo bzw. der Vollzugshilfe Verwertung Boden (VHVB) [18] verglichen. Bei Vorliegen verschiedener Prüf- oder Sanierungswerte für einen Schadstoff wurde für die Klassierung der jeweils tiefere Wert gewählt. Gemäss VBBo werden zur Ermittlung der Bodenbelastung bzgl. PCDD/F die PCDD/F-Gehalte gewichtet nach Toxizitäts-äquivalenten des Internationalen Modells bezogen auf 2,3,7,8-TCDD (I-TEQ, exkl. Bestimmungsgrenze; vgl. Analysenberichte in Anhang 6) angewendet.

In 27 von 29 untersuchten Proben lagen die Gehalte an PCDD/F unter dem VBBo-Richtwert von 5 ng I-TEQ / kg. Zwei Proben (F.03 und F.10, Lage vgl. Plan in Anhang 4) lagen mit 7.8 bzw. 7.5 ng I-TEQ / kg über dem VBBo-Richtwert, jedoch deutlich unterhalb des VBBo-Prüfwertes von 20 ng I-TEQ / kg. Diese beiden Standorte befinden sich im modellierten Nassdepositionsbereich der KVA resp. im modellierten Trockendepositionsbereich des Krematoriums

Die Berücksichtigung der dl-PCB (und damit verbunden die Verwendung der Toxizitäts-Äquivalenzfaktoren der WHO aus dem Jahr 2005) ändert an der Klassierung der Resultate wenig: einzig Probe F.02 würde bei Berücksichtigung der dl-PCB und Verwendung von WHO₀₅-TEQ den Wert von 5 ng TEQ / kg² überschreiten. Die dl-PCB tragen somit nur geringfügig zur Belastung bei (toxizitätsgewichteter Summenwert für PCDD/F + dl-PCB).

Die Schwermetallanalysen der 29 Proben zeigen folgendes Bild (vgl. Tabelle in Anhang 3):

- In 10 Proben liegen die Schwermetallgehalte unter den VBBo-Richtwerten
- In 9 Proben wurden einer oder mehrere VBBo-Richtwerte überschritten, jedoch kein Prüfwert.
- In 10 Proben wurden einer oder mehrere Prüfwerte überschritten. 6 dieser Proben überschreiten lediglich den Prüfwert für Zink aus der Vollzugshilfe [18] (die VBBo gibt für Zn keine Prüfwerte vor). In 4 anderen Proben wurden zusätzlich zu diesem Prüfwert für Zink noch VBBo-Prüfwerte überschritten (F.03: Pb, Cd, Cu; F.05, F.06 und F.11: Pb).

Bzgl. PAK wies einzig die Probe S.05 mit 1.1 mg/kg eine leichte Überschreitung des VBBo-Richtwertes von 1 mg/kg auf. In allen anderen Proben lagen die PAK-Gehalte unter dem VBBo-Richtwert.

² entspricht dem VBBo-Richtwert, welcher jedoch in I-TEQ und nicht in WHO₀₅-TEQ definiert ist

4 DISKUSSION

Die ausnahmslos unter dem VBBo-Prüfwert (20 ng I-TEQ / kg) liegenden Gehalte an **PCDD/F** deuten darauf hin, dass der Betrieb von Giesserei, Krematorium, KVA, Papierfabrik und Stahlwerk zu **keinen potenziell gefährlichen Immissionen** von PCDD/F in die Böden der Umgebung geführt haben. Keine Gefährdung durch PCDD/F

Allerdings zeigte die Untersuchung, dass im Nahbereich von Krematorium und KVA vereinzelt PCDD/F- Gehalte über dem VBBo-Richtwert vorliegen. Diese Werte sind gegenüber der Hintergrundbelastung erhöht und zeigen an, dass die Bodenfruchtbarkeit langfristig nicht gewährleistet ist. Eine Gefährdung ist aber erst bei Überschreitung des Prüfwertes zu erwarten³.

Die Tendenz zur Abnahme der PCDD/F-Konzentrationen mit zunehmender Entfernung von den Anlagen legt den Schluss nahe, dass die Immission vor allem quellennah, d.h. im Nassdepositionsbereich der Anlagen stattfand. Nass- vs. Trockendeposition

Im relativ grossen (im Fall der KVA bis zu mehrere Kilometer von der Quelle entfernten) Trockendepositionsbereich hingegen führte die weitere Ausbreitung der Abgase wahrscheinlich zu einer grösseren Verteilung und Verdünnung. So findet der Eintrag via Trockendeposition grossflächig und mit sehr geringer Fracht statt, was die geringen PCDD/F-Gehalte in den Böden ausserhalb des Nassdepositionsgebietes erklärt.

Die Richtwertüberschreitung im Bereich Museggmauer [20] (s. Kapitel 2.3) befand sich auf einer bereits bebauten Parzelle und ist vermutlich auf von andernorts zugeführten Boden zurückzuführen. Sollte die Belastung doch *in situ* entstanden sein, so ist sie sehr kleinräumig, da im Umfeld dieser Probe keine weitere Probe mit Richtwertüberschreitung vorgefunden wurde (vgl. Plan PCDD/F-Belastung in Anhang 4).

Der Vergleich der modellierten Immissionswahrscheinlichkeiten mit den gemessenen PCDD/F-Gehalten der Probenahmestandorte aus Etappe 1 (Abbildung 4) zeigt, dass die gemessenen Gehalte rund ums Stahlwerk und die KVA tendenziell mit zunehmender modellierter Immissionswahrscheinlichkeit zunehmen, wenn auch mit grosser Streuung. Im Fall der Papierfabrik ist kein Zusammenhang mit der Immissionswahrscheinlichkeit erkennbar, was angesichts der sehr tiefen gemessenen Gehalte plausibel ist und gemeinsam mit diesen als Indiz gewertet kann, dass von der Papierfabrik keine nennenswerten PCDD/F-Einträge in die umliegenden Böden stattfanden. Die Probenahmestandorte aus Etappe 2 wurden nicht in diese Korrelation einbezogen, weil diese Standorte grösstenteils nicht auf Grundlage einer Modellierung ausgewählt wurden. Messwerte vs. Modellierung

³ Vorbehalt: Untersuchungen aus Lausanne [19] deuten darauf hin, dass Hühnereier bereits bei PCDD/F-Gehalten rund um bzw. unterhalb des VBBo-Richtwertes von 5 ng I-TEQ / kg den Höchstgehalt für PCDD/F gemäss Kontaminantenverordnung (VHK) überschreiten. Die Relevanz dieser Ergebnisse für den VBBo-Prüfwert wird derzeit durch das BAFU geprüft.

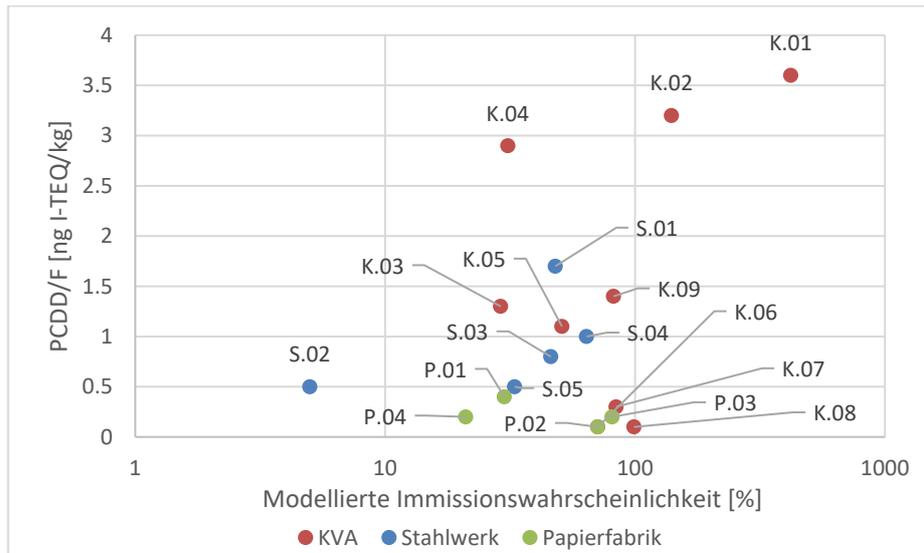


Abbildung 4: modellierte Immissionswahrscheinlichkeiten vs. gemessene Konzentrationen von PCDD/F in untersuchten Bodenproben.
 Hinweis: 100% Immissionswahrscheinlichkeit entsprechen dem Maximum der Trockendeposition. Im Nassdepositionsbereich kann die modellierte Immissionswahrscheinlichkeit daher Werte über 100% annehmen.

Die Modellierung wird somit durch die Messwerte tendenziell bestätigt. Sie erlaubte es, die Probenahmestandorte gezielt in den Hauptimmissionsbereichen zu platzieren, welche ohne Modellierung aufgrund ihrer hohen Distanz zur Quelle möglicherweise nicht identifiziert worden wären (vgl. Pläne in Anhang 2).

Die im urbanen Gebiet häufigen Richt- und vereinzelt Prüfwertüberschreitungen von mehreren Schwermetallen sind angesichts der langen Siedlungsdauer und der zahlreichen möglichen Eintragswege dieser Stoffe plausibel und treten erfahrungsgemäss auch in anderen urbanen Zentren der Schweiz auf. Diese Belastung könnte durch den Eintrag aus individuellen Anlagen zu erklären sein, aber auch durch verschiedene diffuse Quellen (z.B. Verkehr, Austrag von Asche in Gärten, kleinere Industriebetriebe) sowie anderer Einflussfaktoren (z.B. Ablagerungsstandorte). Die vorliegenden Daten erlauben keine Zuordnung der vorgefundenen Schwermetallgehalte zu diesen Einflussfaktoren.

5 GEFÄHRDUNGSABSCHÄTZUNG

5.1 Grundlagen / vorhandene Nutzungen

Für die festgestellten Prüfwertüberschreitungen wurde eine Gefährdungsabschätzung nach BAFU-Handbuch [21] durchgeführt. Da die Gefährdungsabschätzung abhängig von der Nutzung des belasteten Bodens ist, wurde zunächst die aktuelle Nutzung der betroffenen Flächen erhoben (soweit bekannt, s. Tabelle 1). Diese Erhebung zeigt folgendes Bild:

Probenahmestandorte S.01 und F.10 liegen im Wald und werden ausschliesslich forstwirtschaftlich genutzt. Die VBBo gibt für die forstwirtschaftliche Nutzung keine Prüf- oder Sanierungswerte vor. Folglich muss die Gefährdung an diesen Standorten nicht näher abgeklärt werden. Eine Gefährdungsabschätzung müsste erst bei einer allfälligen Nutzungsänderung (Pflanzenanbau oder Nutzung mit direkter Bodenaufnahme, wie z.B. ein Kinderspielplatz) erfolgen.

Auf keiner der untersuchten Flächen ist der Nahrungspflanzenanbau als Nutzungsart aktuell relevant. Auf Wunsch der UWE wird diese Nutzungsart jedoch auf landwirtschaftlich genutzten Dauergrünlandflächen in die Gefährdungsabschätzung mit einbezogen, da diese Flächen potenziell zu Ackerflächen umgenutzt werden könnten, auf welchen Nahrungspflanzen angebaut werden könnten.

Auf Flächen, auf denen eine direkte Bodenaufnahme durch Kleinkinder erfolgen könnte, liegen ausschliesslich Überschreitungen des VHVB-Prüfwertes für Zink vor. Es sind keine weiteren Schwermetall-Gehalte über dem jeweiligen VBBo-Prüfwert auf diesen Flächen festgestellt worden. Die potenzielle Gefährdung durch Zink bei direkter Bodenaufnahme wird weiter unten beschrieben.

Mehrere Flächen mit Prüfwertüberschreitungen werden für den Futterpflanzenanbau (inkl. Beweidung) genutzt. Auf anderen Flächen erscheint eine Beweidung unwahrscheinlich, es ist jedoch nicht auszuschliessen, dass das Schnittgut von diesen Flächen an Nutztiere verfüttert wird.

5.2 Vorgehen / Methoden

Für die betroffenen Flächen wurde die Gefährdung mittels Expertensystem und des zugehörigen EXCEL-Tools abgeschätzt (Beilage zum Handbuch [21], vgl. Anhang 5).

Das Expertensystem berechnet auf Grundlage des Schadstoffgehaltes und der Modellparameter (pH, Tongehalt, Gehalt an organischer Substanz, Pflanzenaufnahmefaktor; beim Futterpflanzenanbau zusätzlich: Anteil Boden am Futter) die Gefährdungsstufe. Je nach Gefährdungsstufe sind durch die zuständige Behörde Massnahmen zu treffen [21]:

- Keine konkrete Gefährdung: Überwachung der Entwicklung der Schadstoff-Gehalte (Art. 4 Abs. 1 VBBo) sowie Quellenstopp (Art. 8 VBBo)
- Konkrete Gefährdung möglich: Nutzungsempfehlungen; zusätzlich Überwachung (Art. 4 Abs. 1 VBBo) sowie Quellenstopp (Art. 8 VBBo)

- Konkrete Gefährdung: Nutzungseinschränkungen und Nutzungsverbote, evtl. Dekontamination; zusätzlich Überwachung (Art. 4 Abs. 1 VBBo) sowie Quellenstopp (Art. 8 VBBo)

Bei allen Flächen, für welche eine Gefährdungsabschätzung ausgeführt wurde, befand sich der C_{org} -Gehalt zwischen 2 und 8 % und der Tongehalt bei $\leq 25\%$. Für die Beurteilung der Gefährdung wurde der gemessene pH-Wert jeweils auf 0.5 pH-Einheiten genau auf- oder abgerundet, da das Expertensystem nur für diskrete Schritte von 0.5 pH-Einheiten eine Einschätzung erlaubt.

Die VBBo sieht zur Beurteilung der Gefährdung beim Nahrungs- und Futterpflanzenanbau eine Probenahme von 0-20 cm Tiefe vor, bei Nutzungen mit direkter Bodenaufnahme eine Probenahme von 0-5 cm. Das Untersuchungskonzept sah es, je nach im Vordergrund stehender Nutzung Proben aus der Tiefe 0-5 cm oder 0-20 cm zu entnehmen (s. Kap. 2.4). Dies bedeutet, dass bei Flächen, auf welchen in Hinblick auf die Beurteilung der Gefährdung bei direkter Bodenaufnahme eine Probe aus der Schicht 0-5 cm analysiert wurden, eine Beurteilung der Gefährdung bei Futter-Nahrungspflanzenanbau nicht exakt gemäss Vorgaben der VBBo möglich ist. Dafür wären je eine Probe aus der Schicht 0-5 cm und 0 – 20 cm notwendig

Probenahmetiefe

Für eine erste Orientierung auf diesen Flächen wurde die Gefährdungsabschätzung auf Grundlage der Gehalte in der Schicht 0-5 cm vorgenommen (konservative Betrachtung, da die Gehalte 0 – 20 cm tendenziell etwas tiefer sind, da Eintrag von oben).

Abschätzung anhand von Gehalten 0-5 cm

5.3 Futterpflanzenanbau

Beim Futterpflanzenanbau orientieren sich die Gefährdungsstufen an den FMBV-Höchstgehalten für das Futtermittel (d.h. Futterpflanze inkl. Verunreinigung mit Boden). Sobald eine Überschreitung des FMBV-Höchstgehaltes zu erwarten ist, besteht gemäss Handbuch [21] eine konkrete Gefährdung. Bei Futtermittelgehalten, welche den Mittelwert zwischen einem unbelasteten Futtermittel und dem FMBV-Höchstgehalt übersteigen, ist eine konkrete Gefährdung möglich. Unter dieser Schwelle besteht keine Gefährdung.

FMBV-Höchstgehalte

Da auf allen betrachteten Flächen mit Futterpflanzenanbau Dauergrünland vorliegt, ist im jetzigen Zustand Gras die einzig relevante Futterpflanze. Da eine Umnutzung dieser Flächen zu Ackerflächen prinzipiell möglich ist, werden auf Wunsch der uwe auch weitere Nahrungspflanzen betrachtet. Die Pflanzenartfaktoren für die verschiedenen Futterpflanzen und Schwermetalle sind Tabelle 14 des Handbuchs [21] zu entnehmen.

Bewertung der Faktoren

Ein entscheidender Parameter im Expertensystem für den Futterpflanzenanbau ist der sog. Bodenanteilsfaktor, d.h. der Gehalt an Boden im Futter. Das Handbuch [21] enthält für diesen Faktor Wertebereiche für verschiedene Nutzungsarten und Futterpflanzen (s. Abbildung 5). Für die Beurteilung der Gefährdung wird entsprechend der Empfehlung auf S. 36 von Handbuch [21] der Mittelwert für die Bedingung

Bodenanteil am Futter

"Boden trocken" verwendet. Dieser entspricht bei Beweidung durch Rinder sowie Verfüttern von Mähgut/Grassilage 2.5%, bei Beweidung durch Schafe 12.5%⁴.

Kultur	Bodenaufnahme (d) direkt bzw. durch Verunreinigungen mit Bodenpartikeln [in % des Verzehrs; TS]				Maximaler Anteil der Futterpflanzen an Gesamtnahrung über längere Zeit [%]	
	Rind		Schaf		Rind	Schwein
	Bedingungen beim Weiden / bei Ernte					
	Boden trocken	Boden nass	Boden trocken	Boden nass		
Direktverzehr (Weiden, Wiesenfutter)	0-5	5-10	10-15	20-30	100	-
Mähgut/Grassilage	0-5	10-15	0-5	10-15	-	-
Heu	0-3	5-10	0-3	5-10	100	-
	Verunreinigung der Ernte mit Bodenpartikeln: Anteil Boden (d) [% der Ernte-TS]					
Futtergetreide (ohne Ackerbohnen):	0				40	80
• Gerste	0				-	40
• Hafer	0				-	-
• Weizen	0				-	40
• Körnermais	0				-	30
Ackerbohnen Eiweisserbsen	gering (ca. 0-2)				15	20
Futtermühen	10				30	40
Kartoffeln	gering (ca. 0-2)				20	30
Mais ganze Pflanze	gering (ca. 0-2)				80	15

Abbildung 5: Anteil der Bodenaufnahme durch Nutztiere direkt beim Weiden bzw. durch Verunreinigungen des Ernteguts mit Boden (Tabelle 13 aus Handbuch [21]).

Aufgrund der unterschiedlichen Sensibilität der Tierarten gelten bezüglich Kupfer für Rinder und Schafe unterschiedliche Maximalgehalte im Futter (Schafe: 15 mg/kg, Rinder im Wiederkäueralter: 30 mg/kg, siehe Anhang 2 Ziffer 3.2 Futtermittelbuchverordnung (FMBV)); daher wurde am Standort F.03 die vom Kupfer ausgehende Gefährdung für Rinder und Schafe separat berechnet (vgl. Tabellen in Anhang 5).

Cu: Rind vs. Schaf

Für Zink gibt es in der VBBo keine Prüfwerte und ein Sanierungswert besteht nur für Landwirtschaft und Gartenbau sowie Haus- und Familiengärten (2'000 mg/kg). Gemäss Handbuch [21], welches auf die BUWAL-Dokumentation «Herleitung von Prüf- und Sanierungswerten für anorganische Schadstoffe im Boden» von 1997 verweist, sind die "Zn-Gehalte des Bodens nur in Ausnahmefällen so hoch, dass sie eine Gesundheitsgefährdung" des Menschen bzw. der Tiere verursachen. Der Sanierungswert für Zink für Gärten wurde denn auch "mit Blick auf eine Schädigung von Pflanzen (Ertragsminderung) und nicht des Menschen festgelegt" [21].

Spezialfall Zn

In der Vollzugshilfe [18], welche beim Beurteilen der Verwertungspflicht bzw. -eignung von Böden zur Anwendung kommt, wird jedoch ein Prüfwert von 300 mg/kg Zn verwendet. Böden, welche diesen Prüfwert nicht einhalten, dürfen nicht verwertet werden. Dieser Wert deutet nicht direkt auf eine mögliche Gefährdung bei Nutzung des Bodens hin, wurde aber in der vorliegenden Untersuchung als Zn-Prüfwert herangezogen.

⁴ In den Tabellenkalkulationen ist die Gefährdung für den Bodenanteilsfaktor 12.5% nicht direkt ersichtlich, da dafür keine Spalte programmiert ist und sich die Tabellenkalkulation nicht anpassen lässt. Die Gefährdung für einen Bodenanteilsfaktor von 12.5% lässt sich jedoch berechnen, indem zu den Punktezahlen der Spalte "10%" die Hälfte der Differenz zwischen der Erdanteil-Punktzahl der Spalten "10%" und "15%" addiert wird.

Zur Beurteilung der Gefährdung beim Futterpflanzenanbau zieht das Handbuch [21] und das dazugehörige Expertensystem den FMBV-Höchstgehalt für Zn im Futter von 120 mg/kg heran. Dies stellt einen Widerspruch zur VBBo dar, welche keine Prüfwerte für Zink definiert, auch nicht für den Futterpflanzenanbau (s.o.).

Zn im Futtermittel:
FMBV-Höchstgehalt

Aufgrund der Verfügbarkeit von Bodenanteilsfaktoren sowie Pflanzentransferfaktoren werden folgende Arten von Futterpflanzenanbau betrachtet:

- Beweidung durch Rinder und Schafe
- Verfütterung von Mähgut/Grassilage
- Anbau von Futterrüben, Bohnen, Erbsen, Kartoffeln, Körner- und Futtermais und Getreide (Weizen, Hafer, Roggen)

5.4 Nahrungspflanzenanbau

Beim Nahrungspflanzenanbau orientieren sich die Gefährdungsstufen an den für Nahrungsmittel-Höchstgehalten der Kontaminantenverordnung (VHK; das Handbuch zitiert die nicht mehr gültige FIV). Sobald eine Überschreitung des VHK-Höchstgehaltes zu erwarten ist, besteht gemäss Handbuch [21] eine konkrete Gefährdung. Bei Futtermittelgehalten, welche den Mittelwert zwischen einer unbelasteten Nahrungspflanze und dem VHK-Höchstgehalt übersteigen, ist eine konkrete Gefährdung möglich. Unter dieser Schwelle besteht keine konkrete Gefährdung.

VHK-Höchstgehalte

Die VHK legt jedoch nicht für alle Schwermetalle, für welche in der vorliegenden Untersuchung Prüfwertüberschreitungen festgestellt wurden, Höchstgehalte fest. Dies ist nur für Cd und Pb der Fall; für Zn und Cu gibt es keine Höchstgehalte. Bei Metallen ohne definierten VHK-Höchstgehalt wird gemäss Handbuch [21] die Stufe "konkrete Gefährdung" daher nie erreicht.

Die Pflanzenartfaktoren für die verschiedenen Nahrungspflanzen sind Tabelle 16 des Handbuchs [21] zu entnehmen.

5.5 Direkte Bodenaufnahme

Zur Einordnung der Gefährdung durch Zink via direkte Bodenaufnahme verweisen wir auf die Überprüfung des Konzentrationswert für Zink nach Anhang 3 Ziffer 2 AltIV, welche das Schweizerische Zentrum für angewandte Humantoxikologie (SCAHT) 2019 durchführte [22]. Darin kommt das SCAHT zum Schluss, dass mit den standardisierten Modellparametern (Alter des Kindes: 1-3 Jahre, Körpergewicht des Kindes: 12.5 kg, Aufnahme von Boden: 250 mg / Tag) der bestehende Konzentrationswert von 2'000 mg/kg um einen Faktor 5-10 nach oben korrigiert werden könnte (je nach Annahme für die orale Bioverfügbarkeit des Zinks), ohne dass die zulässige Höchstdosis für Kleinkinder überschritten wäre. Somit kann davon ausgegangen werden, dass alle in dieser Untersuchung angetroffenen Zinkbelastungen (bis knapp 600 mg/kg) keine Gefährdung für die direkte Bodenaufnahme darstellen

Zn für direkte Bodenaufnahme unbedenklich

5.6 Ergebnisse der ersten Gefährdungsabschätzung

In Tabelle 1 sind die Informationen zu den Flächen mit Prüfwertüberschreitungen und möglichen sensiblen Nutzungen sowie die Ergebnisse der Gefährdungsabschätzung nach Handbuch [21] dargestellt.

Tabelle 1: Resultate der ersten Gefährdungsabschätzung.

Fläche	Schadstoff(e) > PW	Nutzung	Probenahme- tiefe (cm)	pH	Gefährdungsbeurteilung
F.01	Zn	Dauergrünland	0-5	5.2	<p><u>Futterpflanzenanbau:</u> Beweidung durch Schafe: konkrete Gefährdung (Bewertung für pH ≤5.0) Anbau von Körnermais, Roggen: keine Gefährdung Restlicher Futterpflanzenanbau (s. Kap. 5.3): konkrete Gefährdung möglich</p> <p><u>Nahrungspflanzenanbau:</u> Pflanzen mit hoher Aufnahme: konkrete Gefährdung möglich Pflanzen mit geringer/mittlerer Aufnahme: keine Gefährdung</p>
F.03	Cd, Cu, Pb, Zn	Dauergrünland	0-20	5.3	<p><u>Futterpflanzenanbau:</u> Beweidung durch Schafe, Futterrübenanbau: konkrete Gefährdung (Pb, Cu, Cd, Zn - pH-unabhängig) Verfüttern von Mähgut/Grassilage an Schafe: konkrete Gefährdung möglich (Cd, Zn, Cu; Bewertung bei pH=5.5); falls pH ≤ 5.0 konkrete Gefährdung (Cu) Restlicher Futterpflanzenanbau (s. Kap. 5.3): konkrete Gefährdung möglich (Cd, z.T. Zn)</p> <p><u>Nahrungspflanzenanbau:</u> Pflanzen mit hoher Aufnahme: konkrete Gefährdung (Cd, bei pH ≤5.5) Pflanzen mit mittlerer Aufnahme: konkrete Gefährdung möglich (Cd), falls pH ≤ 4.5 konkrete Gefährdung (Cd) Pflanzen mit geringer Aufnahme: konkrete Gefährdung möglich (Cd)</p>

Fläche	Schadstoff(e) > PW	Nutzung	Probenahmetiefe (cm)	pH	Gefährdungsbeurteilung
F.05	Pb, Zn	Dauergrünland (neben Bade- wiese)	0-5	5.3	<p><u>Direkte Bodenaufnahme:</u> keine Gefährdung (s. Kap. 5.5)</p> <p><u>Futterpflanzenanbau:</u> Beweidung durch Schafe, Futterrübenanbau: konkrete Gefährdung möglich (Pb, Zn – Bewertung für pH=5.5), falls pH ≤5.0 konkrete Gefährdung (Zn) Beweidung durch Rinder; Verfütterung von Mähgut/Grassilage; Anbau von Weizen und Hafer: konkrete Gefährdung möglich (Zn) Restlicher Futterpflanzenanbau (s. Kap. 5.3): keine Gefährdung</p> <p><u>Nahrungspflanzenanbau:</u> keine Gefährdung</p>
F.06	Pb, Zn	Dauergrünland	0-5	5.0	<p><u>Futterpflanzenanbau:</u> Beweidung durch Schafe; Futterrübenanbau: konkrete Gefährdung (Zn) Restlicher Futterpflanzenanbau (s. Kap. 5.3): konkrete Gefährdung möglich (Zn)</p> <p><u>Nahrungspflanzenanbau:</u> keine Gefährdung</p>
F.07	Zn	Dauergrünland (unbebaute Par- zelle im Sied- lungsgebiet)	0-5	4.7	<p><u>Direkte Bodenaufnahme:</u> keine Gefährdung (s. Kap. 5.5)</p> <p><u>Futterpflanzenanbau:</u> Beweidung durch Schafe: konkrete Gefährdung Beweidung durch Rinder, Verfütterung von Mähgut/Grassilage: konkrete Gefährdung möglich Futter-/<u>Nahrungspflanzenanbau</u> auf Acker aufgrund Kleinräumigkeit ausgeschlossen</p>

Fläche	Schadstoff(e) > PW	Nutzung	Probenahmetiefe (cm)	pH	Gefährdungsbeurteilung
F.08	Zn	Freibad	0-5	5.3	<p><u>Direkte Bodenaufnahme:</u> keine Gefährdung (s. Kap. 5.5)</p> <p><u>Futterpflanzenanbau:</u> Verfütterung von Mähgut/Grassilage: keine Gefährdung Beweidung oder Futter-/<u>Nahrungspflanzenanbau</u> auf Acker aufgrund Nutzung als Freibad ausgeschlossen.</p>
F.09	Zn	Dauergrünland auf Friedhof	0-20	6.9	<p><u>Futterpflanzenanbau</u> Beweidung durch Schafe: konkrete Gefährdung möglich Beweidung durch Rinder, Verfütterung von Mähgut/Grassilage: keine Gefährdung Futter-/<u>Nahrungspflanzenanbau</u> auf Acker aufgrund Nutzung als Friedhof ausgeschlossen.</p>
F.11	Pb, Zn	Dauergrünland	0-5	6.6	<p><u>Futterpflanzenanbau</u> Beweidung durch Schafe: konkrete Gefährdung (Pb) Futterrübenanbau: konkrete Gefährdung möglich (Pb, Zn – Bewertung bei pH=6.5); falls pH ≤6.0 konkrete Gefährdung (Zn) Restlicher Futterpflanzenanbau (s. Kap. 5.3): keine Gefährdung <u>Nahrungspflanzenanbau:</u> keine Gefährdung</p>

<p>Die erste Gefährdungsabschätzung gemäss Handbuch [21] und Expertensystem zeigte, dass an den Flächen F.01, F.03, F.06, F.07 und F.11 eine konkrete Gefährdung beim Beweiden durch Schafe zu erwarten ist. Bei einer hypothetischen Umnutzung der Flächen zu Ackerflächen ergäbe sich für weitere Nutzungen eine konkrete Gefährdung (F.03: Futterrübenanbau sowie Anbau von stark Cadmium aufnehmenden Nahrungspflanzen wie z.B. Karotte oder Hafer; F.06: Futterrübenanbau).</p>	<p>Konkrete Gefährdung</p>
<p>Das Handbuch [21] sieht in diesem Fall vor, dass die Behörde Nutzungseinschränkungen ausspricht. Jedoch sieht es ebenfalls vor, dass "für die Festlegung von Massnahmen [...] Randbedingungen des konkreten Falls einzubeziehen [sind], welche das Ausmass der Gefährdung beeinflussen, aber nicht schon zuvor in die Gefährdungsabschätzung eingegangen sind". Solche Faktoren können z.B. der Anteil der belasteten Fläche an der gesamten gleichartig genutzten Fläche oder die übliche Dauer der Nutzung der belasteten Fläche sein. Zudem fusst der Befund wie oben erwähnt z.T. auf Schwermetallgehalten aus der Schicht 0-5 cm. Eine gültige Gefährdungsabschätzung nach VBBo müsste auf den Gehalten aus der Schicht 0-20 cm basieren.</p>	
<p>Auf mehreren Flächen ist für heute bereits mögliche Nutzungen (Beweiden) oder nach Umnutzung zu Ackerflächen potenziell möglichen Nutzungen eine konkrete Gefährdung möglich (s. Tabelle 1). Das Handbuch [21] sieht in diesem Fall vor, dass die Behörde Nutzungsempfehlungen ausspricht, in welchen sie Verhaltensweisen aufzeigt, mit denen sich die Gefährdung vermeiden lässt.</p>	<p>Konkrete Gefährdung möglich</p>
<p>Die Gehalte an PCDD/F in den untersuchten Bodenproben liegen zum Grossteil unter dem VBBo-Richtwert. Ein VBBo-Prüfwert wurde nicht überschritten. Von den PCDD/F geht also keine Gefährdung aus. Es ist nicht zu erwarten, dass von den untersuchten Anlagen Bodenbelastungen mit PCDD/F über dem VBBo-Prüfwert verursacht wurden.</p>	<p>Fazit PCDD/F</p>
<p>Der im ersten Absatz von Kapitel 4 angesprochene Befund aus Lausanne, wonach Hühnereier bereits bei Bodengehalten rund um bzw. unterhalb des VBBo-Richtwertes von 5 ng I-TEQ/kg den Höchstgehalt für PCDD/F gemäss Kontaminantenverordnung (VHK) überschreiten, hat für das Untersuchungsgebiet keine unmittelbare Konsequenz. Im Untersuchungsgebiet wurden nur zwei Flächen mit Richtwertüberschreitung bzgl. PCDD/F vorgefunden, wovon sich eine im Wald und eine auf landwirtschaftlich genutztem Dauergrünland an einer Hanglage befindet. Auf beiden ist eine Hühnerhaltung nicht bekannt.</p>	<p>Hühnerhaltung: keine Gefährdung</p>
<p>Im urbanen Gebiet sind die Schwermetall-Gehalte erhöht (über Richtwert und z.T. über Prüfwert). Dies ist angesichts der langen Siedlungsdauer und der zahlreichen diffusen Quellen dieser Metalle plausibel. Die Belastungen können auf Grundlage der vorhandenen Daten nicht klar in Zusammenhang mit einem oder mehreren der untersuchten Emittenten gebracht werden. Die Schwermetallbelastungen auf einzelnen untersuchten Flächen können bzgl. spezifischer Nutzungen (v.A. Beweiden durch Schafe) eine konkrete Gefährdung darstellen.</p>	<p>Fazit Schwermetalle</p>

6 AUSBLICK

Aus unserer Sicht ergibt sich aus der vorliegenden Untersuchung folgender Handlungsbedarf: Weitere Schritte

- Information der Eigentümer*innen und Bewirtschafter*innen der untersuchten Flächen über die Belastungssituation.
- Nachbeprobung der Schicht 0-20 cm auf jenen Flächen, auf welchen die Gefährdungsabschätzung auf Grundlage der Probe von 0-5 cm auf eine konkrete Gefährdung hindeutet, Analyse auf die Gehalte der gefährdungsverursachenden Schwermetalle.
- Verfügen von Nutzungseinschränkungen auf Flächen mit konkreter Gefährdung (nach detaillierter Gefährdungsabschätzung, Betrachten Randbedingungen).
- Versenden von Nutzungsempfehlungen auf Flächen, bei welchen eine konkrete Gefährdung möglich ist.
- evtl. Eingrenzen des Perimeters der Bodenflächen mit Prüfwertüberschreitungen (v.a. bzgl. Pb und Zn) unter Einbezug vorhandener Daten.
- Ergänzen des Prüfperimeters für Bodenverschiebung (PBV) im Bereich der Probenahmeflächen mit Richtwertüberschreitungen bzgl. PCDD/F (rund um die KVA z.B. auf Grundlage des modellierten Nassdepositionsbereichs)

Im Kanton Luzern gibt es weitere Anlagen, deren Emissionen zu Prüfwertüberschreitungen in Böden geführt haben könnten (s. Abschnitt 2.1) und deren umliegende Böden bisher nicht untersucht wurden. Momentan ist im Rahmen des Projekts Kantonale Bodenüberwachung der Umwelt Zentralschweiz ("KABO ZCH") eine Hinweiskarte für Bodenflächen mit möglichen Prüfwertüberschreitungen in Erarbeitung. In dieser Hinweiskarte werden neben diffusen Belastungshinweisen (z.B. Randbereiche von Verkehrsträgern) auch punktuelle Quellen im Sinne von Einzelmitteln aus relevanten Branchen erfasst. Anhand dieser Karte kann die DS uwe gezielte Untersuchungen in Bereichen mit möglichen Prüfwertüberschreitungen auslösen. KABO ZCH

Geltungsbereich

Alle Arbeiten der FRIEDLIPARTNER AG wurden unter Einhaltung der Sorgfaltpflicht ausgeführt. Die Ergebnisse und Schlussfolgerungen im vorliegenden Bericht beruhen auf dem derzeitigen Kenntnisstand. Die FRIEDLIPARTNER AG übernimmt keine Haftung für die Folgen aus unbekanntem oder verschwiegenen Tatsachen. Die Ergebnisse gelten nur für das untersuchte Objekt und können nicht unüberprüft auf andere Objekte oder andere Verhältnisse übertragen werden.

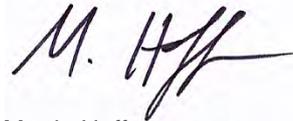
Der vorliegende Bericht ist für den Auftraggeber und zu dessen ausschliesslicher Nutzung bestimmt. Er ist vertraulich und darf ohne Zustimmung des Auftraggebers weder kopiert noch an Dritte weitergegeben werden. Eine allfällige Haftung gegenüber Dritten, welche sich auf den vorliegenden Bericht berufen, wird ausdrücklich abgelehnt.

Buchrain, 19. Februar 2024



Leonard Zourek
MSc ETH Umwelt-Natw.

Projektleiter



Martin Hoffmann
Dipl.-Chemiker, Dr. sc. ETH

Bereichsleiter Altlasten

C:\Users\leonard.zourek\FRIEDLIPARTNER AG\Projekte_2021-2030 - 2021-2030\2022\22.080 Kanton Luzern Bodenbelastung PCDD PCDF\12 Berichte
FPIEtappe 2 & Abschluss\22.080 Schlussbericht 2024-02-19.docx

ANHANG

Anhang 1	Liste Probenahme­flächen
Anhang 2	Pläne Probenahme­flächen inkl. Ausbreitungsmodellierung
Anhang 3	Klassierungstabelle
Anhang 4	Belastungspläne
Anhang 5	Gefährdungsabschätzungen BAFU-Tool
Anhang 6	Analysenberichte

ANHANG 1

Liste Probenahme­flächen

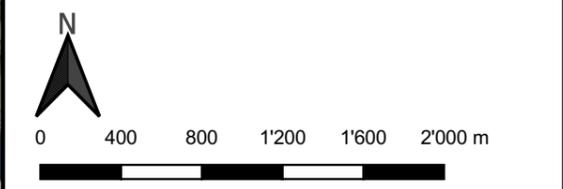
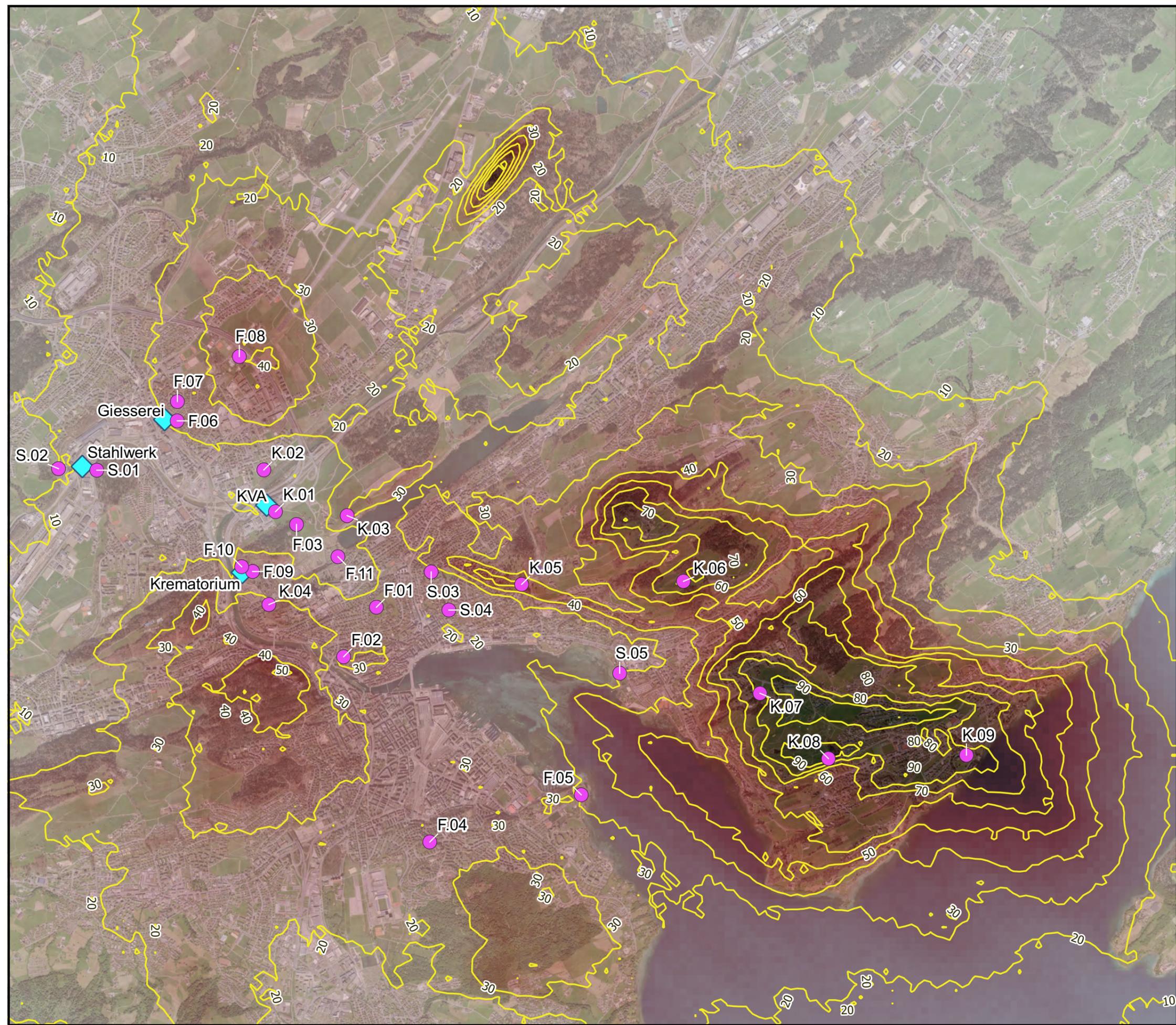
ANHANG 2

Pläne Probenahme­flächen inkl. Ausbreitungsmodellierung

KVA Ibach, trockene Deposition

Auftraggeberin		Mst: 1:35'000
Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern		Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen		Erstellt: mba Datum: 13.02.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE		Geprüft: lz Datum: 13.02.24

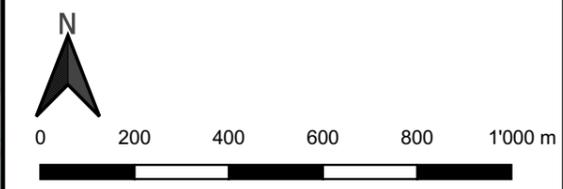
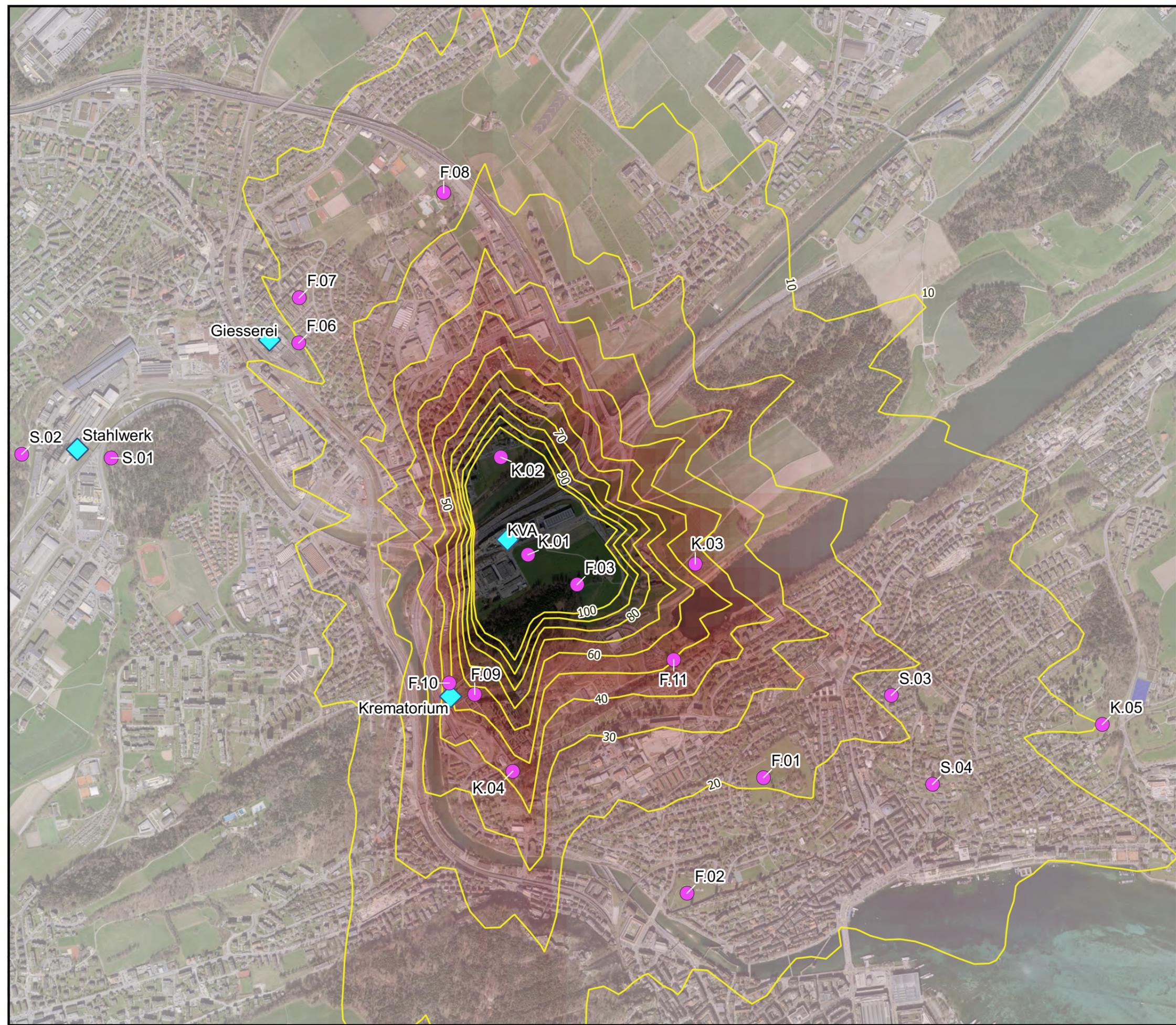
- Legende**
-  Lage der untersuchten Emittenten
 -  Probenahmestandorte
 -  Prozentualer Anteil des Immissions-maximums der Trockendeposition



KVA Ibach, nasse Deposition

Auftraggeberin Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Mst: 1:15'000
	Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 13.02.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 13.02.24

- Legende**
-  Lage der untersuchten Emittenten
 -  Probenahmestandorte
 -  Prozentualer Anteil des Immissions-maximums der Trockendeposition

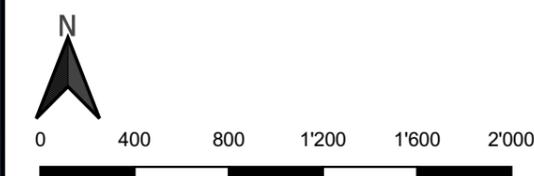
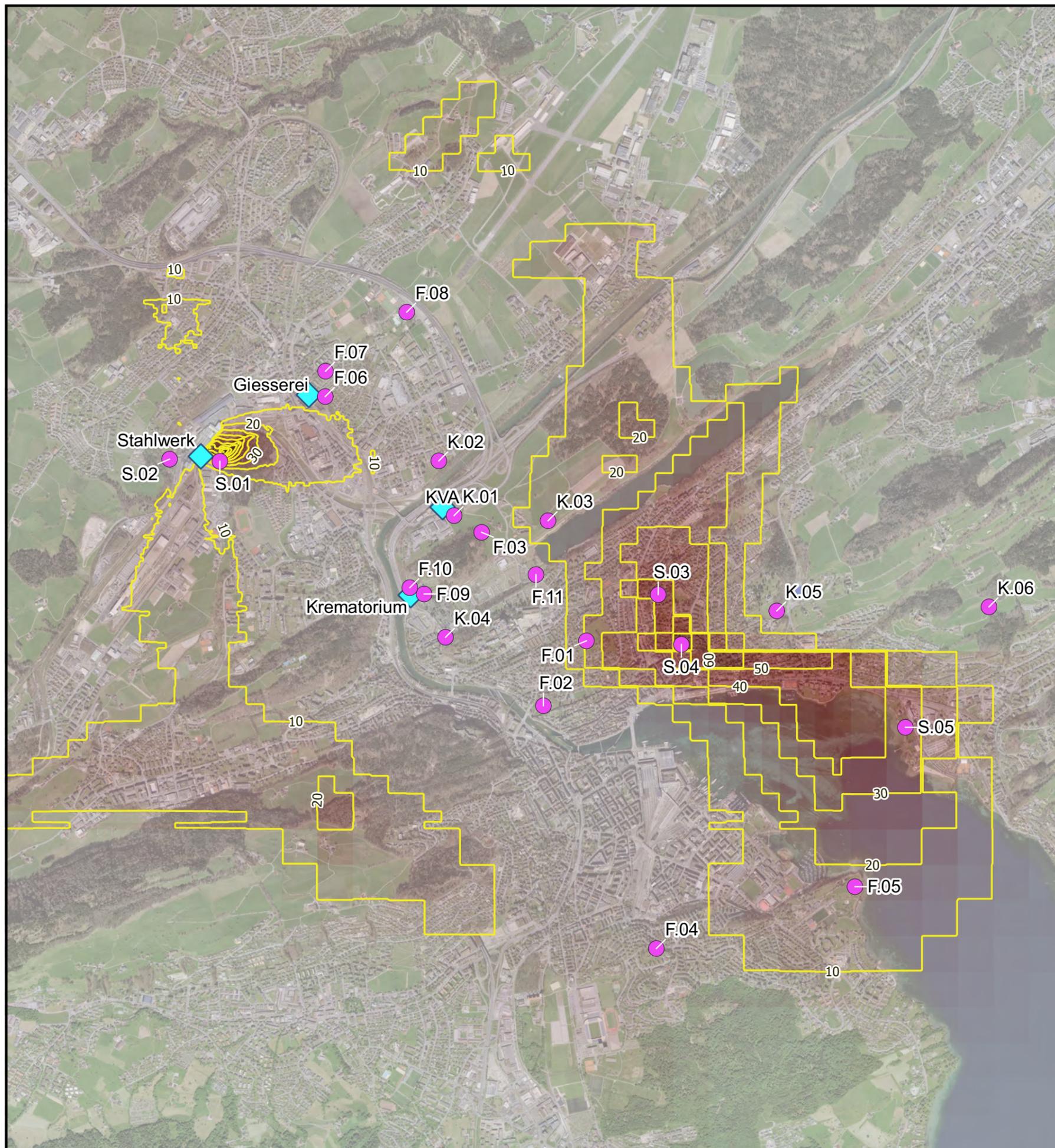


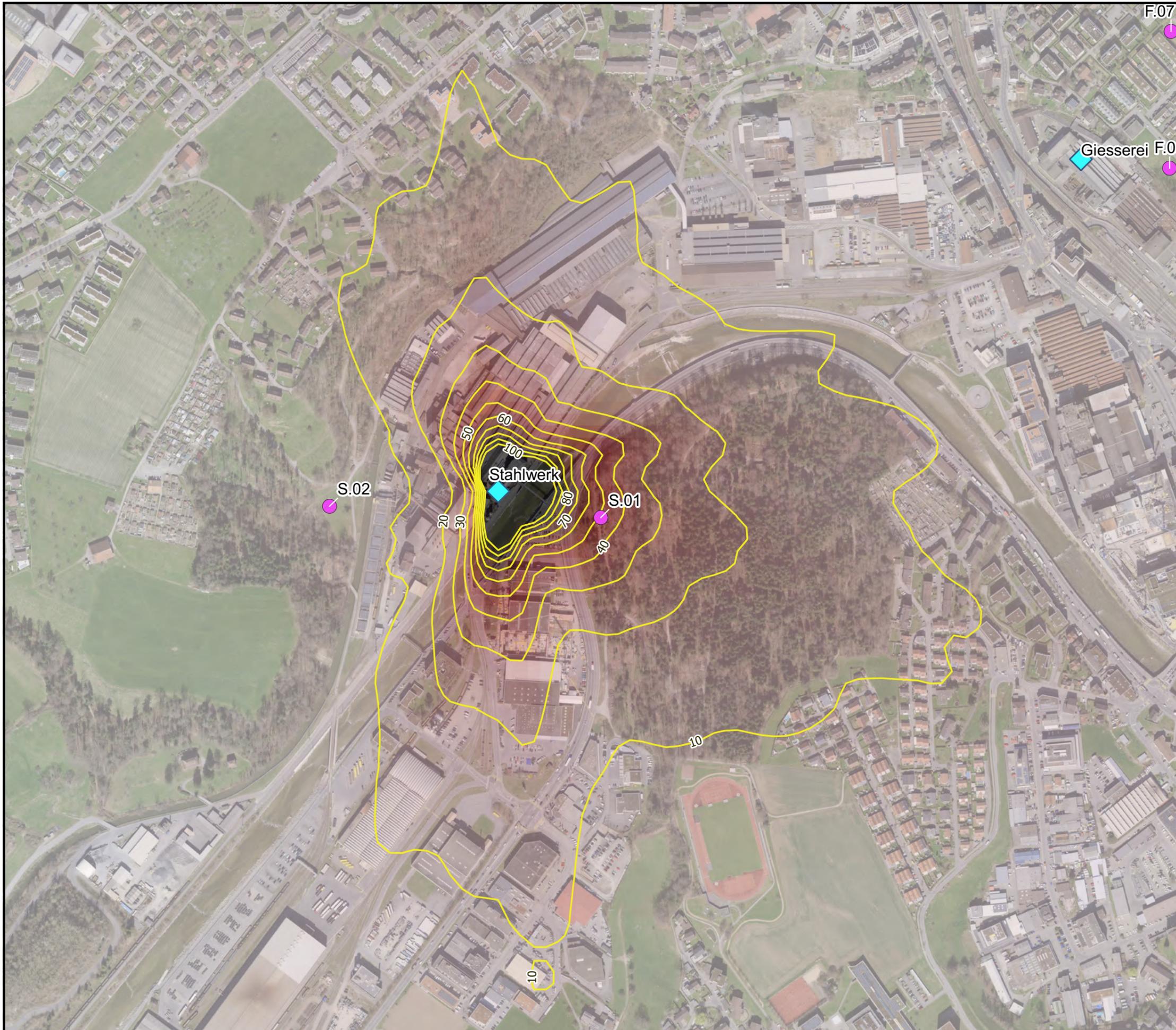
Stahlwerk Emmen, trockene Deposition

Auftraggeberin	Mst: 1:30'000
Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 13.02.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 13.02.24

Legende

-  Lage der untersuchten Emittenten
-  Probenahmestandorte
-  Prozentualer Anteil des Immissions-maximums der Trockendeposition

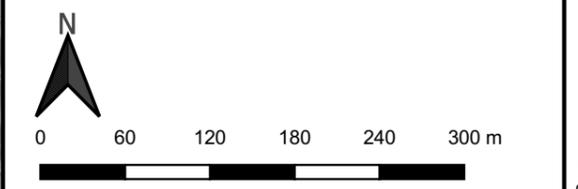




Stahlwerk Emmen, nasse Deposition

Auftraggeberin	Mst: 1:5'000
Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 13.02.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 13.02.24

- Legende**
-  Lage der untersuchten Emittenten
 -  Probenahmestandorte
 -  Prozentualer Anteil des Immissions-maximums der Trockendeposition

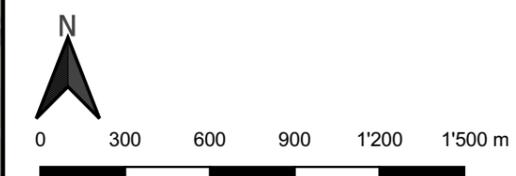
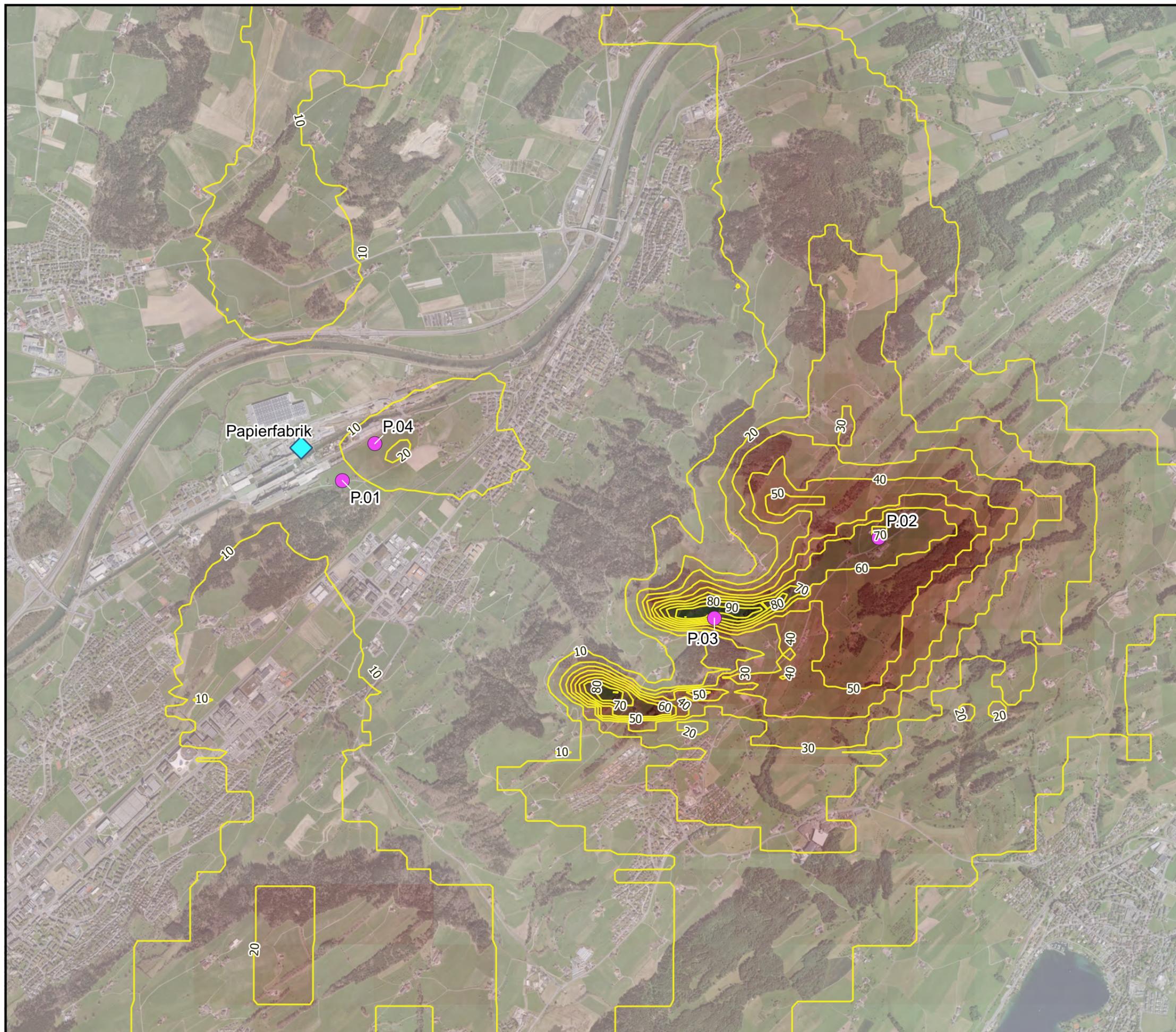


Papierfabrik Perlen, tockene Deposition

Auftraggeberin	Mst: 1:25'000
Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 13.02.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 13.02.24

Legende

-  Lage der untersuchten Emittenten
-  Probenahmestandorte
-  Prozentualer Anteil des Immissions-maximums der Trockendeposition

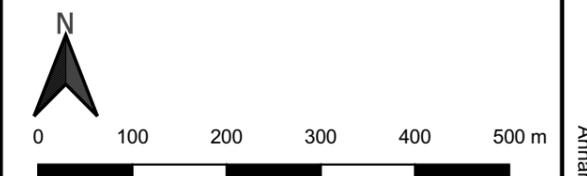
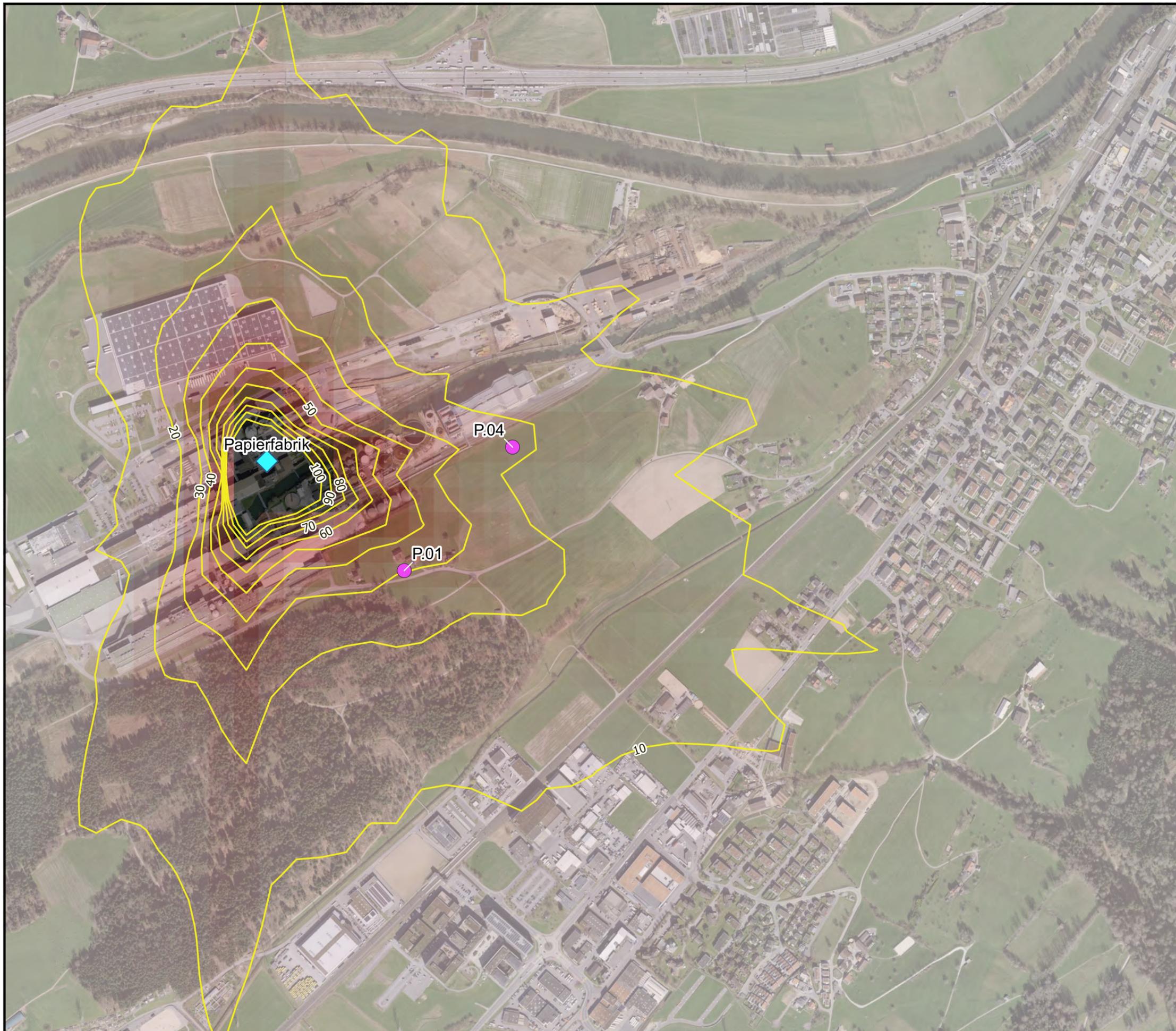


Papierfabrik Perlen, nasse Deposition

Auftraggeberin Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Mst: 1:7'500
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 13.02.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 13.02.24

Legende

-  Lage der untersuchten Emittenten
-  Probenahmestandorte
-  Prozentualer Anteil des Immissions-maximums der Trockendeposition

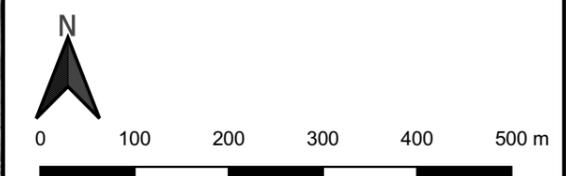
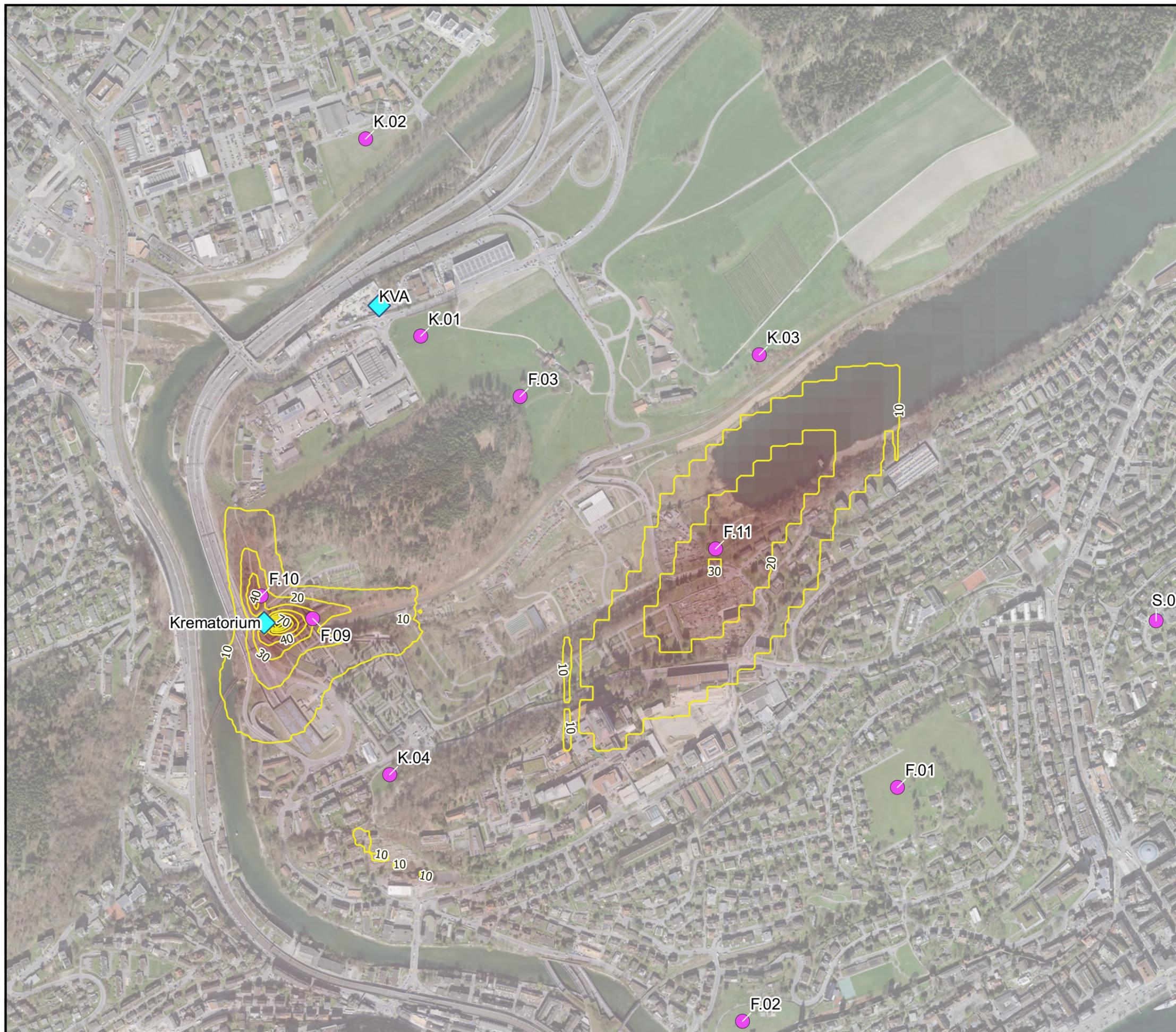


Krematorium Luzern, trockene Deposition

Auftraggeberin Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Mst: 1:7'500
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 13.02.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 13.02.24

Legende

-  Lage der untersuchten Emittenten
-  Probenahmestandorte
-  Prozentualer Anteil des Immissions-maximums der Trockendeposition

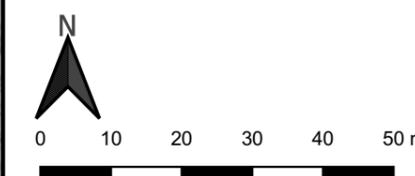
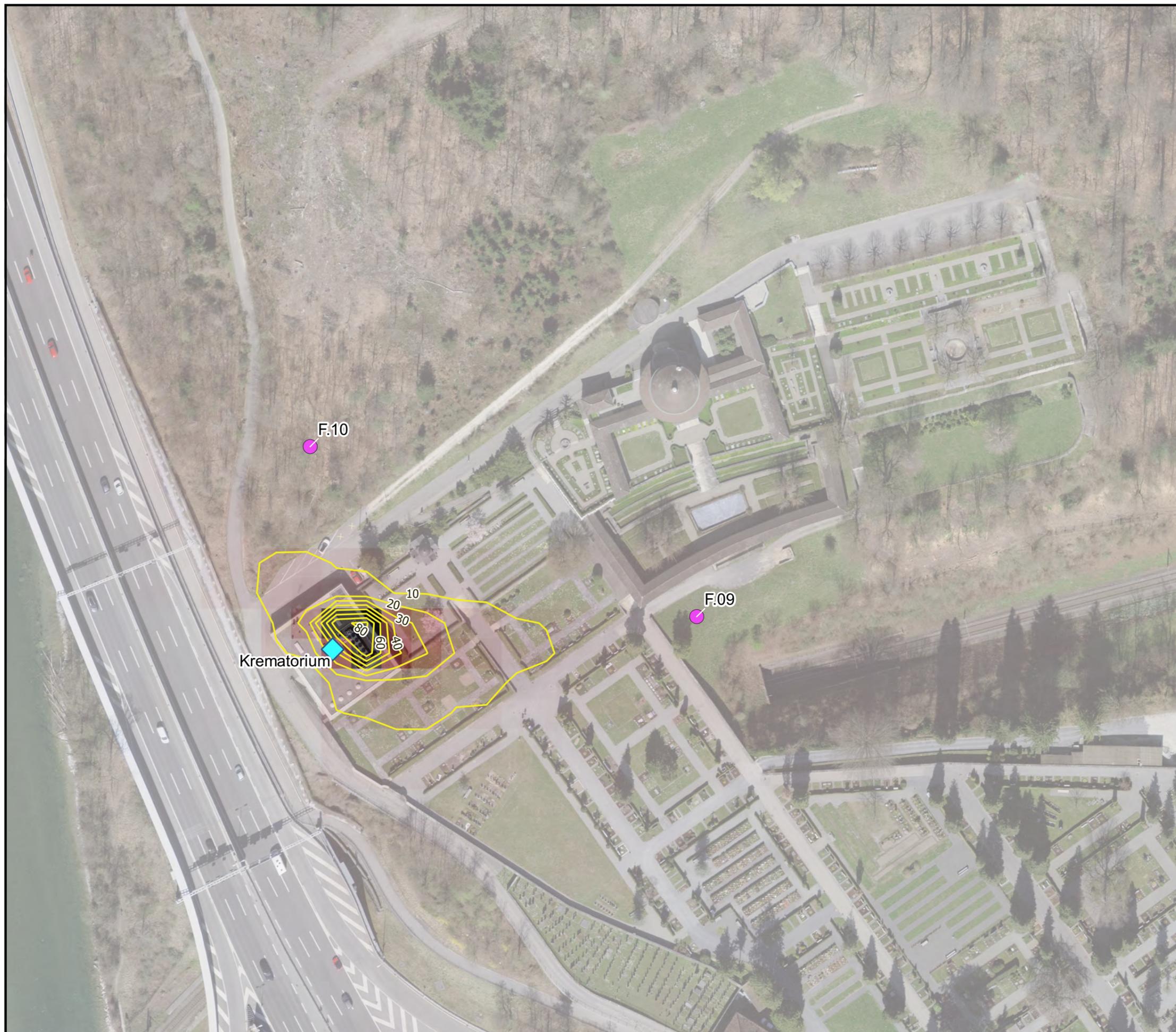


Krematorium Luzern, nasse Deposition

Auftraggeberin Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Mst: 1:1'000
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 13.02.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 13.02.24

Legende

-  Lage der untersuchten Emittenten
-  Probenahmestandorte
-  Prozentualer Anteil des Immissions-maximums der Trockendeposition



ANHANG 3

Klassierungstabelle

Gefährdungsabschätzung in Zusammenhang mit chemischen Bodenbelastungen in den Gemeinden Ebikon, Emmen, Luzern, Meggen, Meierskappel, Root und Udligenswil

Projektnummer: 22.080.2
 Bearbeiter: lz/kh/dr/sok
 Datum: 08.02.2024

Probe	Blei mg/kg TS	Cadmium mg/kg TS	Chrom mg/kg TS	Kupfer mg/kg TS	Molybdän mg/kg TS	Nickel mg/kg TS	Quecksilber mg/kg TS	Zink mg/kg TS	PAK mg/kg TS	PCDD/F exkl. BG ng I-TEQ/kg TS	PCDD/F + dl-PCB exkl. BG ng WHO ₀₅ -TEQ/kg TS	C _{org} % (geschätzt)	Tongehalt % (geschätzt)	Siltgehalt % (geschätzt)	Sandgehalt % (geschätzt)	pH (CaCl ₂)
K.01	47	<0.2	27	29	<2	32	<0.07	109	<BG	3.6	3.1	1.5	19	31	50	n.b.
K.02	52	0.3	29	30	<2	32	<0.07	132	0.12	3.2	4.1	2.5	19	30	51	n.b.
K.03	19	<0.2	25	10	<2	22	<0.07	75	<BG	1.3	1.1	3.0	21	31	48	n.b.
K.04	81	<0.2	34	35	<2	29	0.23	146	0.34	2.9	3.3	2.5	22	31	47	n.b.
K.05	46	<0.2	45	21	<2	40	0.21	101	0.02	1.1	1.5	2.0	25	31	44	n.b.
K.06	25	<0.2	29	14	<2	27	<0.07	75	0.01	0.1	0.1	2.5	27	32	41	n.b.
K.07	27	<0.2	29	18	<2	22	<0.07	102	0.02	0.3	0.2	2.5	25	33	42	n.b.
K.08	36	<0.2	28	15	<2	27	<0.07	85	0.03	0.1	0.1	2.0	24	31	45	n.b.
K.09	120	0.3	24	42	<2	24	0.09	186	0.31	1.4	1.0	3.5	19	31	50	n.b.
S.01	130	0.7	34	27	<2	40	<0.07	352	0.01	1.7	3.1	5.0	32	33	35	n.b.
S.02	52	<0.2	33	60	<2	43	<0.07	178	0.06	0.5	0.4	4.0	31	34	35	n.b.
S.03	52	<0.2	39	22	<2	28	0.11	103	0.03	0.8	0.8	5.0	19	28	53	n.b.
S.04	126	<0.2	34	29	<2	32	0.22	141	0.64	1.0	1.5	4.5	22	28	50	n.b.
S.05	69	<0.2	21	30	<2	23	0.13	115	1.12	0.5	1.2	5.0	18	27	55	n.b.
P.01	24	<0.2	28	21	<2	22	<0.07	88	0.08	0.4	0.4	3.5	24	35	41	n.b.
P.02	18	<0.2	31	27	<2	32	<0.07	101	0.13	0.1	0.1	3.5	22	34	44	n.b.
P.03	20	<0.2	37	14	<2	33	<0.07	92	0.08	0.2	0.2	3.5	23	35	42	n.b.
P.04	18	<0.2	27	11	<2	21	<0.07	73	0.07	0.2	0.1	2.5	24	35	41	n.b.
F.01	120	0.7	116	33	<2	71	<0.07	385	0.08	2.2	1.9	3.5	19	34	47	5.2
F.02	61	0.3	35	18	<2	25	0.17	126	0.54	4.9	5.7	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
F.03	321	2.7	88	333	<2	61	0.21	550	0.05	7.8	8.7	4.0	22	34	44	5.3
F.04	130	1.0	54	38	<2	49	<0.07	268	0.06	1.7	2.0	3.5	21	39	40	n.b.
F.05	221	1.4	61	93	<2	55	0.12	396	0.12	2.7	3.0	4.0	17	27	56	5.3
F.06	221	1.5	67	74	2	54	<0.07	579	0.08	3.0	3.6	3.8	19	38	43	5.0
F.07	117	1.1	64	79	<2	52	<0.07	417	0.01	0.2	0.2	4.0	18	38	44	4.7
F.08	115	1.0	78	54	<2	67	<0.07	326	0.02	1.3	2.7	3.8	24	40	36	5.3
F.09	123	0.9	75	36	<2	66	<0.07	304	0.17	1.3	1.3	3.5	19	42	39	6.9
F.10	164	0.7	69	34	<2	55	<0.07	306	0.15	7.5	9.7	15.0	17	37	46	n.b.
F.11	287	1.0	88	68	<2	76	0.10	483	0.65	2.3	2.6	4.0	25	36	39	6.6
VBBo-Richtwert	50	0.8	50	40	5	50	0.5	150	1	5	-	-	-	-	-	-
VBBo-Prüfwert*	200	2	-	150	-	-	0.5	300	20	20	-	-	-	-	-	-
VBBo-Sanierungswert	1000	20	-	1000	-	-	20	2000	100	100	-	-	-	-	-	-

Bemerkung: bei verschiedenen Prüf-/Sanierungswerten wurde hier der tiefste Wert angegeben.

*Der Prüfwert für Zink stammt aus der VHVB (BAFU, 2021) und nicht aus der VBBo.

Schadstoffgehalt > Richtwert und ≤ Prüfwert

Schadstoffgehalt > Prüfwert und ≤ Sanierungswert

BG: Bestimmungsgrenze
 TS: Trockensubstanz
 BG: Bestimmungsgrenze
 PAK: polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe
 PCDD/F: polychlorierte Dibenzodioxine und -furane
 dl-PCB: dioxinähnliche polychlorierte Biphenyle
 C_{org}: organischer Kohlenstoff

ANHANG 4

Belastungspläne

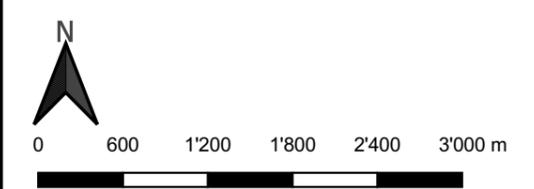
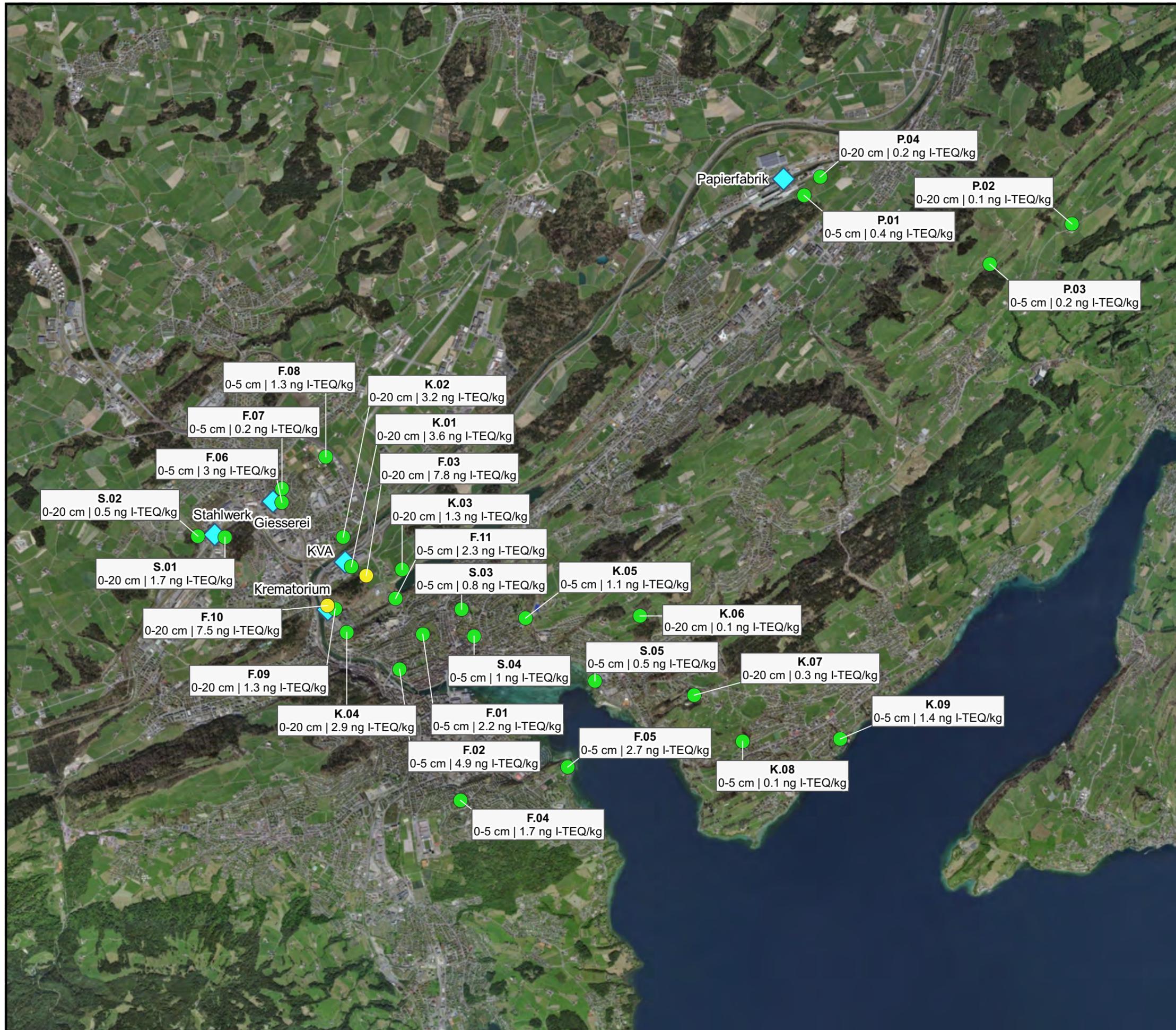
Bodenbelastung mit PCDD/F* rund um die untersuchten Emittenten

Auftraggeberin	Mst: 1:50'000
Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 30.01.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 30.01.24

Legende

- ◆ Lage der untersuchten Emittenten
- Probenahmestandorte**
- VBBo-Richtwert eingehalten (≤ 5 ng I-TEQ / kg)
- zwischen VBBo-Richtwert und -Prüfwert (5-20 ng I-TEQ / kg)
- zwischen VBBo-Prüfwert und -Sanierungswert (20-100 resp. 1000 ng I-TEQ / kg)
- über VBBo-Sanierungswert (>100 resp. 1000 ng I-TEQ / kg)

*PCDD/F: polychlorierte Dibenzodioxine und -furane

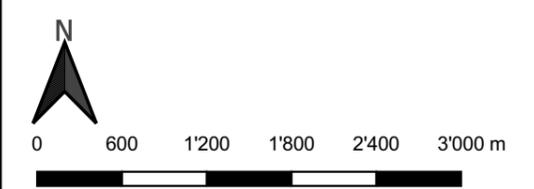
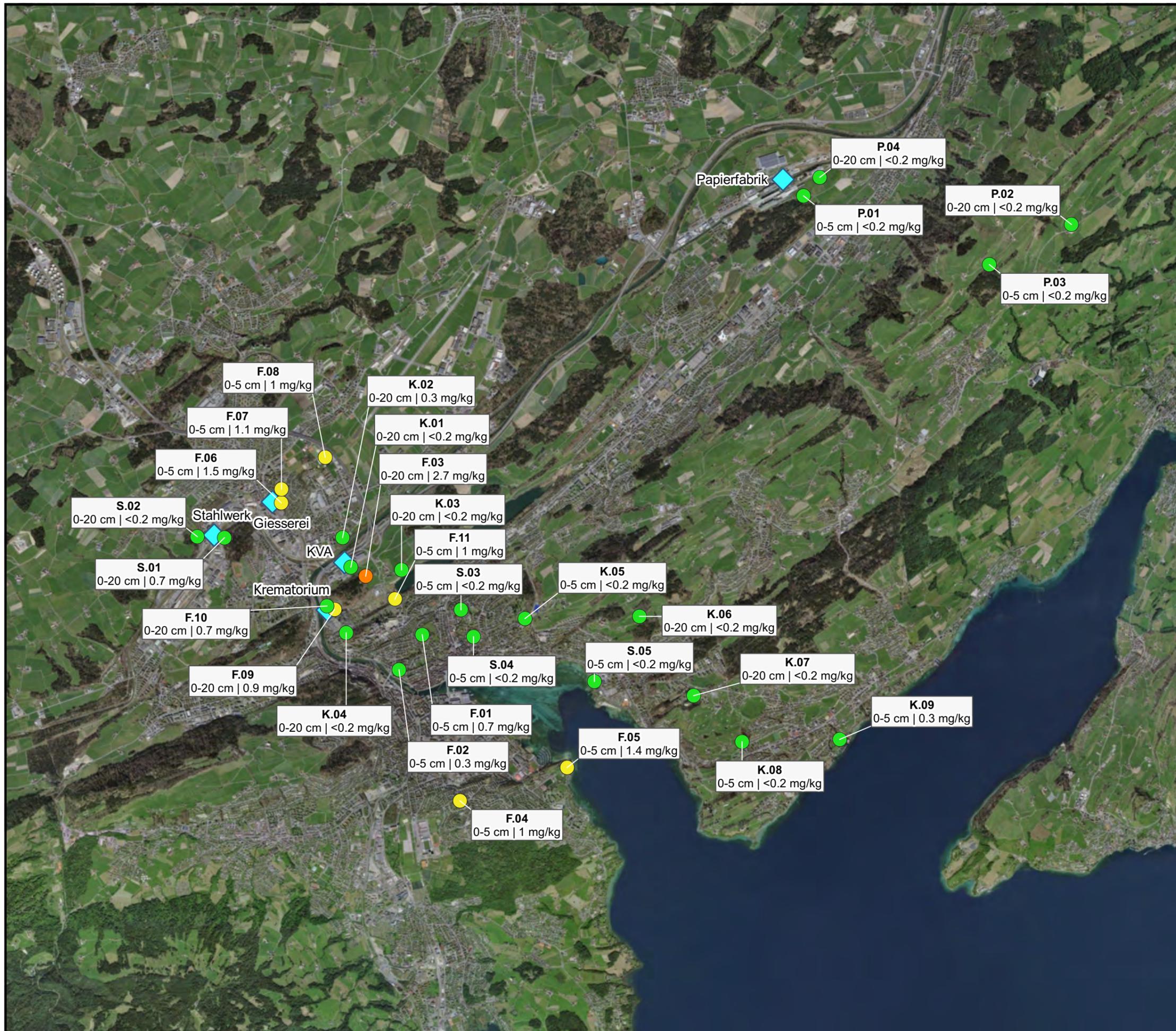


Bodenbelastung mit Cadmium rund um die untersuchten Emittenten

Auftraggeberin Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Mst: 1:50'000 Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 30.01.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 30.01.24

Legende

- ◆ Lage der untersuchten Emittenten
- Probenahmestandorte**
- VBBo-Richtwert eingehalten (≤ 0.8 mg / kg)
- zwischen VBBo-Richtwert und -Prüfwert (0.8 - 2 resp. 10 mg / kg)
- zwischen VBBo-Prüfwert und -Sanierungswert (2 resp. 10 - 20 resp. 30 mg / kg)
- über VBBo-Sanierungswert (> 20 resp. 30 mg / kg)

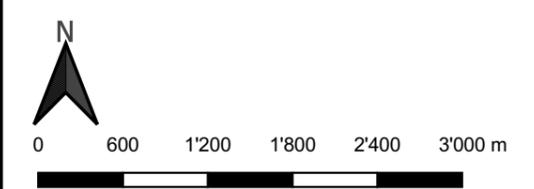
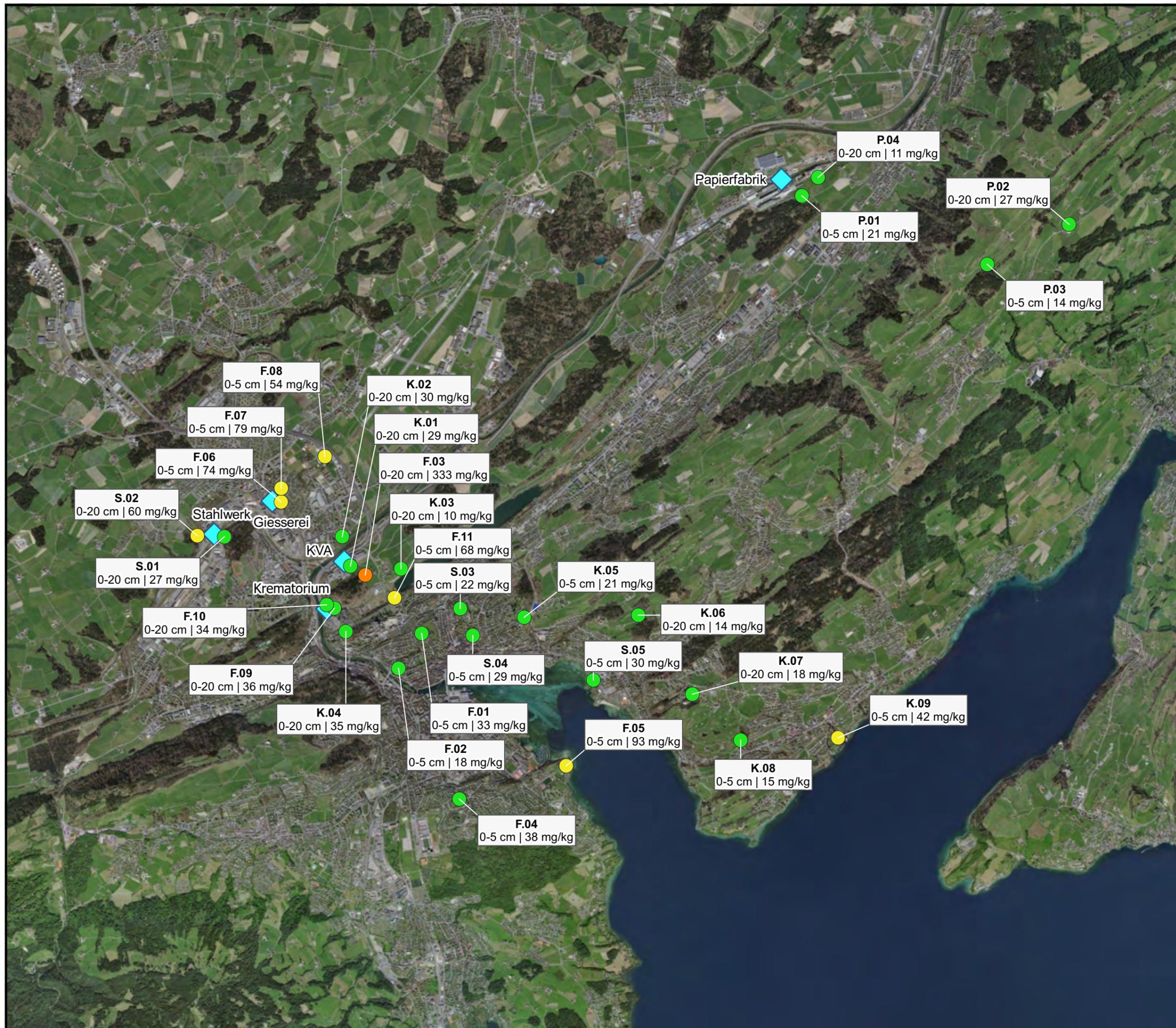


Bodenbelastung mit Kupfer rund um die untersuchten Emittenten

Auftraggeberin Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Mst: 1:50'000 Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 30.01.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 30.01.24

Legende

- ◆ Lage der untersuchten Emittenten
- Probenahmestandorte**
- VBBo-Richtwert eingehalten (≤ 40 mg / kg)
- zwischen VBBo-Richtwert und -Prüfwert (40 - 150 mg / kg)
- zwischen VBBo-Prüfwert und -Sanierungswert (150 - 1000 mg / kg)
- über VBBo-Sanierungswert \ (>1000 mg / kg)

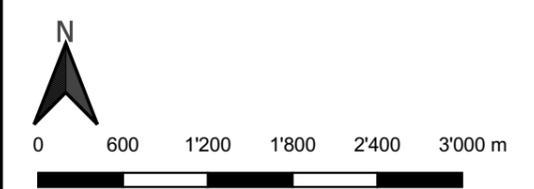
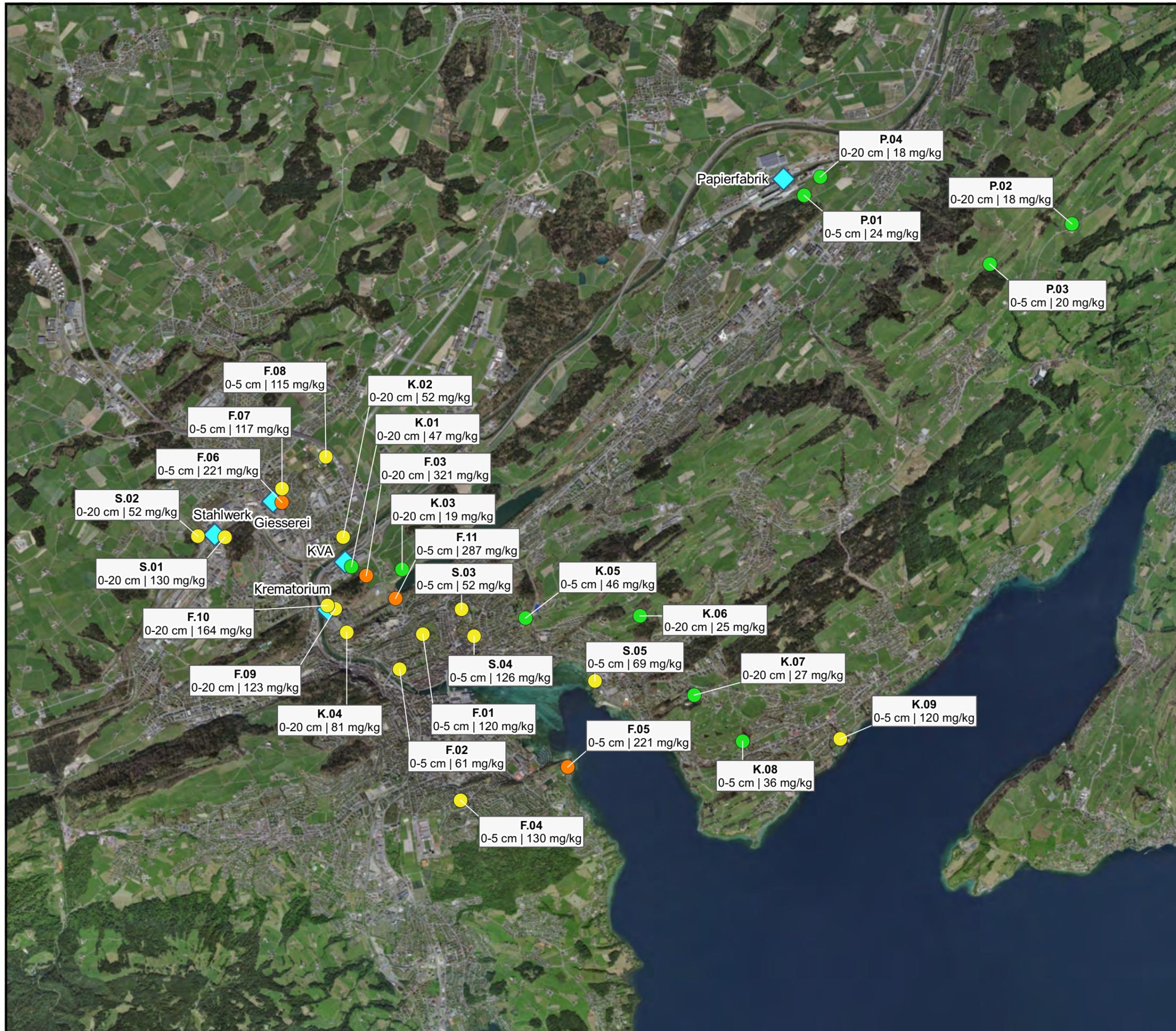


Bodenbelastung mit Blei rund um die untersuchten Emittenten

Auftraggeberin	Mst: 1:50'000
Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 30.01.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 30.01.24

Legende

- ◆ Lage der untersuchten Emittenten
- Probenahmestandorte**
- VBBo-Richtwert eingehalten (≤ 50 mg / kg)
- zwischen VBBo-Richtwert und -Prüfwert (50-200 resp. 300 mg / kg)
- zwischen VBBo-Prüfwert und -Sanierungswert (200 resp. 300 - 1000 resp. 2000 mg / kg)
- über VBBo-Sanierungswert (> 1000 mg / kg)

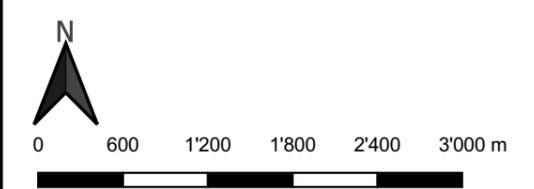
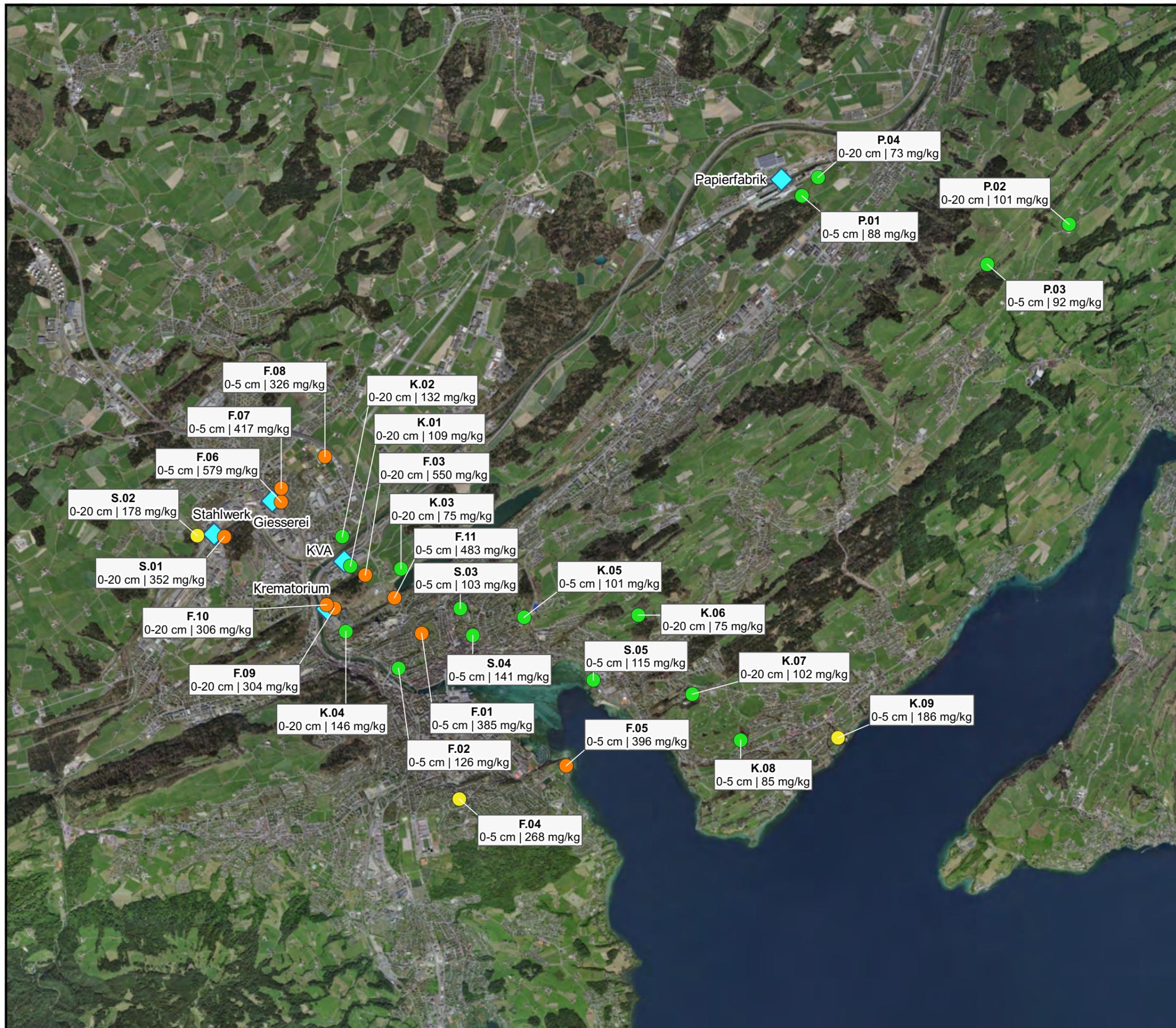


Bodenbelastung mit Zink rund um die untersuchten Emittenten

Auftraggeberin Dienststelle Umwelt und Energie (uwe) Kanton Luzern	Mst: 1:50'000 Format: A3
Projekt-Nr.: 22.080.2 Gefährdungsabschätzung chemische Bodenbelastungen	Erstellt: mba Datum: 30.01.24
Plangrundlage: Swisstopo SWISSIMAGE	Geprüft: lz Datum: 30.01.24

Legende

- ◆ Lage der untersuchten Emittenten
- Probenahmestandorte**
- VBBo-Richtwert eingehalten (≤ 150 mg / kg)
- zwischen VBBo-Richtwert und VHVB-Prüfwert (150 - 300 mg / kg)
- zwischen VHVB-Prüfwert und VBBo-Sanierungswert (300 - 2000 mg / kg)
- über VBBo-Sanierungswert (>2000 mg / kg)



ANHANG 5

Gefährdungsabschätzungen BAFU-Tool