

Bodenschutz

FALLSTUDIE

SIEDLUNGSGEBIETE IN GRAUBÜNDEN

Bericht über die Bodenuntersuchungen
im Bündner Rheintal und in der
Landschaft Davos

November 1997

November 1997

Bodenschutz:

FALLSTUDIE SIEDLUNGSGEBIETE IN GRAUBÜNDEN

**Bericht über die Bodenuntersuchungen im
Bündner Rheintal und in der
Landschaft Davos**

November 1997

Herausgeber und Projektleitung:

Amt für Umweltschutz Graubünden

Auswertungen:

Ambio AG, Zürich

Messungen und Analytik:

Ambio AG, Zürich

UFAG Laboratorien, Sursee

Gestaltung:

Ambio AG, Zürich

Titelbild:

Die Untersuchungsgebiete in der Kartenübersicht.

Fotos: Hohe Wohndichte am Stadtrand von Chur (oben)

Die rechte Hangflanke des Davoser Haupttales bei Frauenkirch (unten)

Bezugsadresse:

Amt für Umweltschutz Graubünden

Gürtelstrasse 89

7001 Chur

INHALTSVERZEICHNIS

Zusammenfassung	5
Glossar	6
1 Einleitung	10
2 Siedlungsuntersuchungen	12
2.1 Zielsetzung	12
2.2 Beschreibung und Charakterisierung der beiden Siedlungsgebiete	12
Geologie	12
Immissionen	13
2.3 Vorgehen und Zusammenarbeit	13
2.4 Methodik	13
Das Bündner Rheintal	14
Spezialuntersuchungen	14
Davos	15
3 Ergebnisse und Interpretation	16
3.1 Das Bündner Rheintal	16
Statistische Kenngrößen der untersuchten Schwermetalle auf den Fruchtfolgeflächen	16
Das Bündner Rheintal im gesamtschweizerischen Vergleich	16
Richtwertüberschreitungen	18
Karten zeigen die räumliche Verteilung der Schwermetalle	18
Regionale Unterschiede	23
Erhöhte Schwermetallkonzentrationen zwischen Domat/Ems und Chur	23
Hohe Chrom- und Nickelkonzentrationen in Chur	25
Erhöhte Bleiwerte südwestlich von Chur	25
Thallium ist nur lokal nachweisbar	26
3.2 Spezialuntersuchungen	27
Hobbygärten - hohe Belastung auf kleinem Raum	27
Grünanlagen - tendenziell höhere Quecksilberwerte bei Chur	28
Grünanlagen dienen als Hintergrundwerte im Siedlungsgebiet	28
Krematorium - kein gesicherter Einfluss auf den Quecksilbergehalt der Böden	30
3.3 Davos	31
Beschreibende Statistik	31
Davos im Vergleich mit dem Rheintal	31
Davos im gesamtschweizerischen Vergleich	31
Der Taltransekt	33
Geringe durchschnittliche Belastung - markante lokale Spitzenwerte	33
Korrelationen	35
Mögliche Ursachen der Richtwertüberschreitungen	35
Räumliche Verteilung der Schwermetalle	35

Die Hangtransekte	36
Der Hang oberhalb Davos	38
Der Hang oberhalb Frauenkirch	38
4 Schlussfolgerungen und Ausblick	39
Bündner Rheintal	39
Spezialuntersuchungen	39
Davos 39	
Ausblick	40
Anhang	41

ZUSAMMENFASSUNG

Die Fallstudie Siedlungsgebiete in Graubünden dokumentiert die Schwermetallbelastung der Böden von zwei repräsentativen Siedlungsräumen des Kantons. Im Talsiedlungsraum Bündner Rheintal wurde eine Untersuchungsmethode angewendet, die die Herstellung von Schadstoffverbreitungskarten für die Fruchtfolgeflächen ermöglicht. In der Landschaft Davos als Bergsiedlungsraum galt das Interesse neben der Situation im Tal auch der Höhenabhängigkeit der Schadstoffbelastung längs zwei Hangtransekten. Hier werden die Ergebnisse in Form von Diagrammen dargestellt.

Die Schwermetallbelastungen des Bündner Rheintals liegen in derselben Grössenordnung wie die Durchschnittswerte der ganzen Schweiz.

Aus den Schadstoffkarten und Kistendiagrammen für das Rheintal wird ersichtlich, dass zwischen Domat/Ems und Chur für Blei, Cadmium, Kupfer, Zink, Chrom, Nickel und Quecksilber leicht höhere Werte gemessen wurden als zwischen Chur und Landquart. Weil keine geologischen Gründe vorliegen, kann geschlossen werden, dass es sich dabei um anthropogene Belastungen handelt. Hingegen sind die hohen Chrom- und Nickelwerte in Chur und Umgebung mit grosser Wahrscheinlichkeit geogenen Ursprungs. Erhöhte Bleiwerte wurden südwestlich von Chur gefunden. Das Element Thallium konnte nur in der Umgebung der Bündner Cementwerke in Untervaz nachgewiesen werden.

In Davos liegen die Mediane von Blei, Cadmium, Kupfer und Nickel trotz des Vorkommens hoher Einzelwerte unter jenen des Bündner Rheintals und der ganzen Schweiz. Eine Anzahl Talstandorte weist zum Teil erhebliche Richtwertüberschreitungen auf, wobei an ein und demselben Standort meist mehrere Elemente richtwertüberschreitend vorkommen. In den meisten Fällen treten hohe Cadmium-, Kupfer-, Zink- und Quecksilberkonzentrationen mit hohen Bleigehalten gekoppelt auf. Die Richtwertüberschreitungen von Chrom und Nickel sind mit Sicherheit geogen, die übrigen mit hoher Wahrscheinlichkeit anthropogen bedingt.

Der Talboden scheint unterhalb Davos weniger belastet zu sein als im Hauptemissionsgebiet.

Die Hangtransekte sind weniger belastet als der Talboden. Am Hang über Davos ist für alle Elemente ausser Cadmium eine Konzentrationsabnahme mit steigender Meereshöhe festzustellen.

Neben diesen Hauptuntersuchungen wurden im Bündner Rheintal noch drei Spezialuntersuchungen an Hobbygärten, Grünanlagen und in der Umgebung des Krematoriums in Chur durchgeführt. Deren Ergebnisse werden in Relation zu den in der Hauptuntersuchung erhobenen regionalen Hintergrundwerten beurteilt und bewertet.

Die Hobbygärten in Chur weisen sehr hohe Schwermetallwerte auf. Auf Grund der vorliegenden Untersuchung sind die Hobbygärten durchschnittlich zweimal mehr belastet als die Fruchtfolgeflächen und Grünanlagen.

Die Grünanlagen in Chur und den umliegenden Gemeinden sind hingegen nicht viel stärker belastet als die Fruchtfolgeflächen.

Es konnte kein direkter Einfluss der Quecksilberemissionen aus dem Krematorium auf die umliegenden Böden nachgewiesen werden.

GLOSSAR

Bindung und Verlagerung von Stoffen im Boden

Die Bindung von Schwermetallen an Bodenpartikel beziehungsweise deren Verlagerung in tiefere Horizonte hängt hauptsächlich vom Säuregrad des Bodens ab. Bei neutraler Bodenreaktion ist die Löslichkeit der Schwermetalle in der Regel gering. Bei zunehmend saureren pH-Werten nimmt die Mobilität der Schwermetalle zu, wenn auch je nach Element in unterschiedlichem Mass.

An der Verlagerung von Stoffen und Verbindungen im Boden ist vor allem das sich bewegende Wasser beteiligt, aber auch im Boden lebende Tiere und der Mensch. Schwermetalle können je nach der Körnung des Bodens (z.B. bei hohem Sandanteil) relativ schnell ins Grundwasser verlagert werden.

Bodenbildung

Bei der **Verwitterung** der Gesteine und der Bildung neuer Minerale spielen vor allem chemische Prozesse eine Rolle. In unserem Klima gilt die Verbraunung als einer der wichtigsten Vorgänge der Mineralneubildung. Bei der Verwitterung eisenhaltiger Minerale wird Eisen freigesetzt, welches mit Sauerstoff zu braun gefärbten Eisenoxiden oxidiert. Verbunden mit der Verbraunung ist zugleich die sekundäre Neubildung von Tonmineralen. Diese Prozesse nennt man **Transformationen** (es erfolgt kein Transport). Aus toten pflanzlichen und tierischen Substanzen entstehen einerseits - über die **Verwesung** - Nährstoffe, die die Pflanzen aufnehmen können und andererseits - über die **Humusbildung** - längerlebige Huminstoffe, die eine wichtige Rolle im Wasser- und Nährstoffhaushalt spielen. Sie haben die Fähigkeit, Wassermoleküle und (Nährstoff)-Ionen austauschbar anzulagern, und zwar in einer weitaus grösseren Masse als die Tonminerale. Auch bei den Humusstoffen handelt es sich um sekundäre Neubildungen.

Fruchtfolgeflächen

Fruchtfolgeflächen umfassen das ackerfähige Kulturland, vorab das Ackerland und die Kunstwiesen in Rotation sowie die ackerfähigen Naturwiesen. Sie werden mit Massnahmen der Raumplanung gesichert¹.

Funktionen des Bodens

Unter den vier Funktionen kommt der **Regelungsfunktion** im Stoffaufbau und Stoffabbau heutzutage die umfassendste Bedeutung zu. Der Boden filtert, reinigt, baut ab und lagert organische und mineralische Stoffe. Er übernimmt damit teilweise die Reinigung der Wasser- und Luftkreisläufe. Damit belastet der Boden sich jedoch selbst.

Der Boden ist Lebensgrundlage und **Lebensraum** für Mikroorganismen, Pflanzen, Tiere und Menschen.

Der Boden ist Grundlage für die land- und forstwirtschaftliche Nutzung und er liefert Rohstoffe wie beispielsweise Lehm, Sand und Kies. Der Mensch nutzt den Boden als Standort für Gebäude und Anlagen sowie für die Produktion von Gütern (**Produktionsfunktion**).

Als Landschaft, die der Mensch seit wenigen Jahrhunderten geprägt hat, erfüllt der Boden die Rolle eines geschichtlichen und kulturellen Gedächtnisses. Er hat eine **kulturelle Funktion**.

¹ Art. 11 Abs. 1 Verordnung über die Raumplanung vom 26. März 1986 SR 700.1.

Geologie und Boden

Die weitaus grösste Masse eines Bodens wird in der Regel vom Gestein beigesteuert, auf dem der Boden gewachsen ist. Man könnte daraus eine einfache und enge Beziehung zwischen Gestein und Boden ableiten, die zutreffend wäre, wenn die in den Gesteinen vorliegenden chemischen Verbindungen einfach in den Boden übergehen würden. Das geologische Ausgangsmaterial beeinflusst in den meisten Fällen viele Bodeneigenschaften wie Körnung, Gefüge, Porosität oder Bodenreaktion. Es finden jedoch Umformungen der in den Gesteinen befindlichen Minerale statt. Hinzu kommen Auswaschungen und Anreicherungen innerhalb des Bodenprofils sowie die Humusbildung, die von der Gesteinsunterlage oft wenig oder gar nicht abhängt.

Geostatistik

Ein Teilgebiet der mathematischen Statistik zur Analyse räumlich korrelierter Daten. Charakteristisch ist die Verwendung von —> Variogrammen. Zur Geostatistik gehört ebenfalls das —> Krigingverfahren.

Gestuftes Probennahmeschema

(nested sampling design) ermöglicht ein grobes —> Variogramm über Distanzen, die über mehrere Grössenordnungen variieren. Die Distanzen zwischen zwei Proben sind abgestuft (im Rheintal 500 m, 125 m, 30 m).

Grünanlagen

Unter Grünanlagen fallen die nicht landwirtschaftlich genutzten Grünflächen in Siedlungsgebieten wie Pärke, Rasen in Hausgärten, Sport- und Turnrasen sowie Kinderspielplätze. Immissionen stammen vor allem über die Atmosphäre von angrenzendem Strassenverkehr und von Industrie und Gewerbe. Die über Jahre hinweg einwirkenden Immissionen führen zu einer zeitlichen Akkumulation von Schadstoffen im Boden.

Hausgärten

Auf dem Rasen wirken die Immissionen aus der Luft, was einer zeitlichen Akkumulation von Schadstoffen im Boden entspricht. Auf den Gemüserabatten hingegen konzentriert sich nicht nur der Kompost aus Gemüseabfällen sondern auch noch zusätzlich anfallender Rasenschnitt und Laub aus der Gesamtfläche des Hausgartens.

Herkunft der untersuchten Elemente

Die Einträge von Schadstoffen gelangen direkt in den Boden (Fungizide, Insektizide, Dünger), indirekt über das Wasser (Abwasser, Reinigungsmittel, Klärschlamm) oder über die Luft aus zahlreichen Quellen (Strassenverkehr, Kehrlichtverbrennungsanlagen, Feuerungen, Munition, Abgase von Anlagen und Fahrzeugen).

- Blei: Strassenverkehr, Munition, Metallwerke, Korrosion von Lacken und Farben (Brücken, Hochspannungsmasten)
- Cadmium: Kehrlichtverbrennungsanlagen, Handelsdünger, Müllkompost, Klärschlamm, Strassenverkehr
- Chrom: geogen
- Kupfer: Pflanzenschutzmittel und Müllkompost in Rebbergen und Obstanlagen, Hofdünger, Klärschlamm
- Nickel: geogen
- Zink: Strassenverkehr, Klärschlamm, Müllkompost, Handelsdünger, Metallwerke, Korrosionsschutz (Brücken, Hochspannungsmasten)

Glossar

- Thallium: Zementherstellung (heute weitgehend behoben)
- Quecksilber: Saatgutbeizmittel, Klärschlamm, Krematorien, Kehrlichtverbrennungsanlagen

Hintergrundwerte, regionale

Damit man von regionalen Hintergrundwerten sprechen kann, müssen drei Voraussetzungen gegeben sein: Eine grosse Anzahl Werte (1) aus einer einzigen Nutzung (2) innerhalb einer Region entnommen (3).

Hobbygärten (Familiengärten)

Da bei Hobbygärten meistens nur Gemüserabatten und keine Rasenflächen vorhanden sind, fällt die räumliche Konzentration von Schadstoffen über Rasenschnitt und Laub weg. Es erfolgt eine Akkumulation über Jahre hinweg von Schadstoffen aus Immissionen, die direkt auf die Fläche einwirken wie auch von Schadstoffen, die über den Kompostaustrag in den Boden gelangen.

Humus

Der Humus, das heisst die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Bodensubstanz, stellt als biologisch hochaktiver Bodenbestandteil die wichtigste Grundlage der Nährstoffkreisläufe dar. Der Humus ist die einzige Stickstoffquelle des Bodens.

Kriging

Eine Interpolationsmethode, bei der durch die Gewichtung und die Bildung eines gleitenden Mittels (moving average) der Stützwerte die Varianz der geschätzten (interpolierten) Werte minimiert wird. Die interpolierten Werte werden als Funktion des Variogramm-Modells, der relativen Lage der Stützwerte zueinander und des zu schätzenden Punkts oder Blocks berechnet.

Ökosystem Boden

Die Böden bilden ein offenes System, das über die luftgefüllten Poren mit der Atmosphäre und über die wassergefüllten Poren mit dem Wasser in Verbindung steht; sie sind in ständigem Stoff- und Energieaustausch mit den anderen Teilökosystemen. Die Böden weisen eine enorme innere Oberfläche auf, die je nach Bodentextur etwas grösser oder kleiner ist. Im Innern der Böden findet eine Vielfalt von Reaktionen, beispielsweise zwischen festen Bodenteilchen und Bodenlösung, zwischen Bakterien und Pflanzenfragmenten, statt.

Regenerierbarkeit

Böden verkörpern ein komplexes Netz von Komponenten aus mineralischen und organischen Bestandteilen, aus Hohlräumen (Poren) verschiedenster Grössen und Oberflächenbeschaffenheit, aus zahlreichen pflanzlichen und tierischen Organismen. Die Schlüsseleigenschaft eines offenen Systems bildet die Selbstregelung. Damit verbunden ist auch die Regenerierbarkeit. Diese beansprucht sehr viel Zeit verglichen mit anderen Teilökosystemen wie Wasser und Luft.

Revision des USG

In der Revision des USG wird am ursprünglichen Konzept festgehalten, dass der Schutz des Bodens durch die Begrenzung des Schadstoffeintrags zu verfolgen ist. Neu enthält das Gesetz aber auch die Grundlage für die Sanierung von Böden, die belastet sind, und für Massnahmen gegen die physikalische Belastung. Zur Beurteilung der angemessenen Massnahmen dienen Richtwerte und Sanierungswerte.

Richtwerte

Die Richtwerte für ausgewählte Schadstoffe im Boden sind in der Verordnung über Schadstoffe im Boden festgesetzt worden. Sie sind gewichtsbezogen (mg/kg bzw. g/t) und gelten nur für Mischproben der obersten 20 cm mineralischer Böden. Sie geben die Belastung an, bei deren Überschreitung die Fruchtbarkeit des Bodens langfristig nicht mehr gewährleistet ist.

Sanierungswerte

Sanierungswerte geben die Belastung an, bei deren Überschreitung bestimmte Nutzungen ohne Gefährdung von Menschen, Tieren und Pflanzen nicht möglich sind.

Transekt

Linie, die ein Untersuchungsgebiet, z.B. einen Hang oder einen Talboden, durchquert.

Variogramm

Auch Semivariogramm. Ein Plot der Varianz resp. der Semi-Varianz (die Hälfte der mittleren quadrierten Differenz) von paarweisen Messungen als Funktion der Distanz und evtl. der Richtung zwischen den Proben. Alle möglichen Probenpaare werden verwendet und in Klassen (lags) ungefähr gleicher Distanz und Richtung eingeteilt. Variogramme sind ein Mass dafür, ob Proben, die näher beieinander liegen ähnlicher sind als Proben, die weiter voneinander entfernt sind, also ein Mass für die räumliche Variabilität.

1 EINLEITUNG

Der Bund erwähnt im Zweckartikel des Umweltschutzgesetzes ausdrücklich die Erhaltung der Fruchtbarkeit des Bodens und hat damit die rechtliche Grundlage für einen umfassenden Bodenschutz gelegt. Dazu wurde die „Verordnung über Schadstoffe im Boden“ (VSBo) geschaffen, die die eigentliche Basis für die Bodenschutz Tätigkeit in den Kantonen bildet. Die Kantone sind beauftragt, den Boden bezüglich der Schadstoffgehalte zu beobachten. Mit der Zuweisung von Vollzugsaufgaben an das Amt für Umweltschutz soll der Schutz des Bodens aktiv und präventiv betrieben werden. Bei einer Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit sind die Schadstoffquellen zu ermitteln und allenfalls Massnahmen zu treffen, die den weiteren Anstieg der Schadstoffgehalte verhindern. In Ergänzung zur langfristigen und vertieften Bodenbeobachtung (LBN) werden im Kanton Graubünden problembezogen weitere Untersuchungen durchgeführt. Gestützt auf den Regierungsbeschluss Nr. 1300 vom 16.10.1989 führte der Kanton Graubünden die vorliegende Bodenuntersuchung „Fallstudie Siedlungsgebiete in Graubünden“ durch. Sie erlaubt dem Kanton, eine zuverlässige Beurteilung des qualitativen Zustandes der Böden in den Siedlungsräumen und deren Umgebung. Die Beurteilung erfolgt anhand von Richtwerten, die im Hinblick auf die langfristige Erhaltung der Fruchtbarkeit des Bodens festgelegt worden sind.

Um kleinräumige Stoffeinträge interpretieren zu können sind regionale Hintergrundwerte nötig. Mit Hilfe der grossräumigen Bodenuntersuchungen im Bündner Rheintal und in der Landschaft Davos wurden die entsprechenden Hintergrundwerte erhoben und berechnet.

Die bisher durchgeführten Untersuchungen und der vorliegende Bericht beschränken sich auf die Erfassung von Schwermetallen.

Bodenschutzziele

Aus den wichtigen Funktionen des Bodens ergeben sich die Bodenschutzziele.

Unter den mannigfaltigen Funktionen kommt der *Regelungsfunktion* im Stoffaufbau und Stoffabbau heutzutage die umfassendste Bedeutung zu. Der Boden filtert, reinigt, baut ab und lagert organische und mineralische Stoffe. Er übernimmt damit teilweise die Reinigung der Wasser- und Luftkreisläufe. Damit belastet der Boden sich aber selbst.

Die Regenerierbarkeit des Bodens beansprucht sehr viel Zeit verglichen mit anderen Teilökosystemen wie Wasser und Luft. Deshalb muss der *Früherkennung* und der *Erkundung von Bodenbelastungen* grosse Bedeutung zugemessen werden.

Oberstes Ziel des Bodenschutzes ist die Erhaltung des natürlichen Bodens als Lebensraum; weiter sollen auch die Funktionen des Bodens für das pflanzliche, tierische und menschliche Leben auf der Erde langfristig erhalten bleiben.

Anthropogene Einwirkungen auf die Böden

Herkunft der untersuchten Elemente

Die Einträge von Schadstoffen erfolgen teils direkt in den Boden (Fungizide, Insektizide, Dünger), teils indirekt über das Wasser (Abwasser, Reinigungsmittel, Klärschlamm) oder über die Luft aus zahlreichen Quellen (Strassenverkehr, Kehrrichtverbrennungsanlagen, Feuerungen, Munition, Abgase von Anlagen und Fahrzeugen).

Einleitung

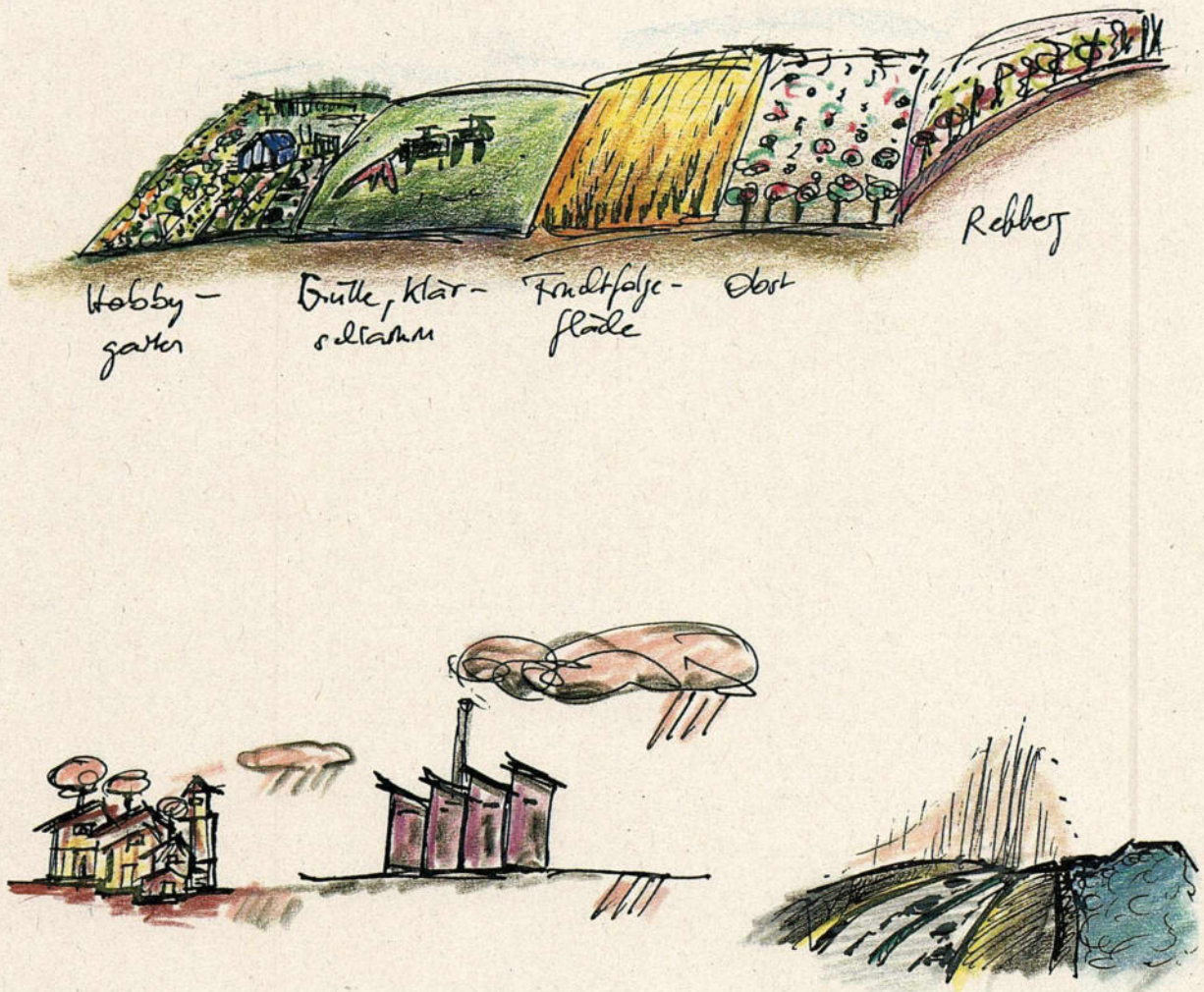


Abb. 1 Eintragungspfade von Schadstoffen in den Boden.

- a. direkter lokaler Eintrag durch Bewirtschaftung (Düngemittel, Klärschlamm, Insektizide, Fungizide etc.)
- b. Verfrachtung über die Luft (aus Industrie, Feuerungen, Strassenverkehr)

2 SIEDLUNGSUNTERSUCHUNGEN

2.1 Zielsetzung

Ziel des Projektes war es, zwei Siedlungsräume, die sich auf mehreren Ebenen wesentlich voneinander unterscheiden, auf ihre Bodenbelastung hin zu untersuchen. Die Bodenuntersuchungen bezweckten, die regionalen Hintergrundwerte zu erfassen und allfällige siedlungsbedingte Belastungsgebiete zu erkennen. In den Spezialuntersuchungen im Bündner Rheintal ging es zudem darum, nutzungsbedingte, direkte oder über die Atmosphäre eingetragene Immissionen in Hobbygärten, in Grünanlagen und anderen Grünflächen zu erfassen. Die Untersuchungen bilden die Grundlage für allfällige Massnahmen und weiterführende Fragestellungen. In der Landschaft Davos wurde zusätzlich die Frage nach einer allfälligen Distanz- und Höhenabhängigkeit der Belastungen gestellt.

Das ganze Projekt wurde in die folgenden drei Teile gegliedert:

1. Beprobung eines Talsiedlungsgebietes mit Zentrum Chur zwischen Landquart und Domat/Ems. Ziel war, eine Karte der Hintergrundbelastung herzustellen (Bündner Rheintal). Aus methodischen Gründen wurden ausschliesslich Fruchtfolgeflächen im Sinne der Raumplanung beprobt.
2. Untersuchungen in einem Bergsiedlungsraum mit Zentrum Davos zwischen Glaris und dem Nordufer des Davoser Sees. Neben der Erfassung der Hintergrundbelastung lagen die Distanz- und Höhenabhängigkeit der Belastungen im Zentrum des Interesses.
3. Spezialuntersuchungen im Bündner Rheintal an Hobbygärten, Grünanlagen und in der Umgebung des Krematoriums Chur.

Diese Untersuchungen sollen Antworten auf wichtige Fragen liefern:

- Wie hoch sind die Hintergrundwerte von Schadstoffen in beiden Siedlungsgebieten?
- Können nutzungsbedingte Einträge erfasst werden?
- Woher stammen die höchsten Schadstoffbelastungen?
- In welcher Grössenordnung unterscheidet sich der Talsiedlungsraum vom Bergsiedlungsraum bezüglich Schadstoffbelastung des Bodens?
- Unterscheiden sich die Hobbygärten in Chur von anderen Gemüsegärten der Schweiz?
- Lassen erhöhte Konzentrationen einzelner Elemente auf geogene Belastungen schliessen?

2.2 Beschreibung und Charakterisierung der beiden Siedlungsgebiete

Geologie

Die Geologie im Bündner Rheintal ist einheitlicher als in der Landschaft Davos. Die Hänge rechts des Rheines sind tektonisch dem Penninikum (Bündnerschiefer) zuzuordnen. Die gegenüberliegenden Talflanken gehören zu den helvetischen Decken. Da es sich fast durchwegs um Sedimentgesteine handelt, ist die Petrographie einheitlich aus mergeligem und sandigem Kalk. Den Talboden, das eigentliche Untersuchungsgebiet, bilden quartäre Flussablagerungen.

Das Gebiet der Landschaft Davos ist tektonisch vielfältig. Es wird von verschiedenen Deckensystemen gebildet wie Silvrettadecke, Aroser Dolomitendecke und Davoser Dorfbergdecke. Noch abwechslungsreicher ist die petrographische Gliederung. Vorherrschend tritt Kristallingestein mit unterschiedlicher Zusammensetzung auf, nebst Sedimenten des Aroser Dolomits. Dieses petrographische Mosaik wird durch quartäre Ablagerungen weiter bereichert:

Siedlungsuntersuchungen

abgelagertes Moränenmaterial im Talboden und an den Hängen, ein nacheiszeitlicher Bergsturz von der Totalp beim Wolfgang, und Alluvionen aus einem früheren See im Talboden bilden eine komplizierte geologische Situation in der Davoser Landschaft. Ob sich die geologische Vielfalt in den Schwermetallgehalten der Bodenproben widerspiegeln würde, war auch Teil der Fragestellung zu der Herkunft der Belastungen.

Immissionen

Die zwei Siedlungsräume unterscheiden sich in mancherlei Hinsicht: Klima, Topographie, Vegetation/Nutzung, Emissionsquellen, Bevölkerungsdichte. Damit verbunden sind die unterschiedliche Art und Verteilung der Immissionen in die Böden.

Tab. 1 Charakterisierung der untersuchten Regionen

<i>Region</i>	<i>Höhenlage Klima</i>	<i>Topographie</i>	<i>beprobte Flä- chen</i>	<i>Emissionen</i>
Churer Rheintal	500 bis 600 m.ü.M.	U-Tal, begünstigt Windkanalisie- rung	Fruchtfolge- flächen	Industrie, Verkehr, Feuerungen, Müllkompost
Landschaft Davos	über 1000 m.ü.M.	Inversionslage, Talabwind	Weiden, Wiesen	Verkehr, Feuerungen

2.3 Vorgehen und Zusammenarbeit

Das gesamte Projekt war in mehrere Phasen aufgeteilt von der Voruntersuchung, die zur Methodenwahl führte, bis zu den Hauptuntersuchungen im Bündner Rheintal und in der Landschaft Davos zur Ermittlung der regionalen Hintergrundwerte. Die Spezialuntersuchungen im Bündner Rheintal zu aktuellen Emissionsproblemen (Grünanlagen, Krematorium und Hobbygärten) wurden parallel zur Hauptuntersuchung durchgeführt.

Die Arbeit wurde durch ausgewiesene Experten in Geostatistik und Bodenschutz der ETH Zürich fachlich betreut. Die Evaluation der Methoden durch Prof. R. Webster (Gastdozent an der ETHZ) und Prof. R. Schulín sowie die regelmässige Beratung ermöglichten eine laufende Optimierung des Vorgehens. Die Zusammenarbeit zwischen dem Amt für Umweltschutz, der Eidgenössischen Technischen Hochschule und einem privaten Büro kam der Untersuchung und allen Beteiligten sehr zugute.

2.4 Methodik

Zur Beantwortung der eingangs in den Zielsetzungen gestellten Fragen braucht es Informationen über die sogenannten Hintergrundwerte. Diese erlauben es, ausserordentliche Schadstoffbelastungen zu erkennen und zu bewerten. Um die gesteckten Ziele zu erreichen, wurden im Bündner Rheintal und in Davos zwei verschiedene Wege beschritten, die den regionalen Gegebenheiten Rechnung zu tragen hatten.

Das Bündner Rheintal

Zur Darstellung der Hintergrundwerte ist eine flächendeckende Belastungskarte ideal, aber teuer, da dies eine lückenlose Beprobung der Region voraussetzt. Mit Hilfe geeigneter Interpolationsverfahren lässt sich allerdings die Zahl der Beprobungsstellen so weit reduzieren, dass ein günstiges Verhältnis zwischen Aufwand und Genauigkeit der Darstellung erreicht wird. Im Fall des Bündner Rheintals wurde eine Interpolation nach dem Kriging-Verfahren vorgenommen. Dazu müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein, insbesondere homogene Verhältnisse bezüglich der Geologie und Nutzung. Diese Bedingungen liessen sich einhalten, wenn sich die Beprobung auf die Fruchtfolgeflächen des Talbodens beschränkte. Dies bedeutet mit anderen Worten, dass Weiden, Obstanlagen, Wälder sowie die Hänge und Schuttkegel nicht berücksichtigt werden konnten. Eine weitere Voraussetzung ist eine Beprobungsweise, die es später bei der Auswertung erlaubt, die räumliche Abhängigkeit der gewonnenen Daten zu bestimmen (Variogramm).

Zur Herstellung von Bodenbelastungskarten wurden deshalb auf den Fruchtfolgeflächen des Bündner Rheintal 160 Proben nach einem geschachtelten, die räumliche Abhängigkeit der Daten berücksichtigenden Verfahren (nested sampling) entnommen.

Im übrigen wurden die Messdaten nach Verfahren der klassischen Statistik ausgewertet.

Spezialuntersuchungen

Im Unterschied zu den Grünanlagen wird in Hobbygärten meistens intensiv gedüngt und oft werden zusätzliche Hilfsstoffe ausgebracht. Häufig werden die in Garten und Küche anfallenden Grünabfälle kompostiert. Der reife Kompost wird später wieder auf die Gemüserabatten ausgetragen.

Hobbygärten

In Hobby- oder Familiengärten wird hauptsächlich Gemüse und etwas Zierpflanzen angebaut. In Hausgärten, die hier nicht untersucht wurden, macht die Gemüsefläche hingegen meistens nur ein kleiner Teil der Grünfläche aus. Ausser der Rasenfläche kommen bei den Hausgärten Sträucher und Bäume hinzu.

Von den 11 Hobbygärten befinden sich 10 im Familiengartenareal an der Rheinstrasse. Als Referenzhobbygarten wurde ein seit 20 Jahren biologisch bewirtschafteter Gemüsegarten ausserhalb des Familiengartenareals in der Nähe der Kantonalen Heil- und Pflegeanstalt Waldhaus untersucht.

Grünanlagen

Von insgesamt 30 Grünanlagen entfallen ca. die Hälfte auf die Stadt Chur. Die restlichen Grünanlagen wurden auf die umliegenden Gemeinden von Igis/Landquart bis Domat/Ems verteilt. Die folgenden drei Nutzungstypen wurden dabei unterschieden: 1. Sport-/Turnrasen bei Schulen, 2. Kinderspielwiesen, 3. Rasen in Wohnquartieren, Parkanlagen, Dauerwiesen.

Krematorium

In der Umgebung des Churer Krematoriums wurden 30 Grünflächen (vor allem Dauerwiesen) ausgewählt. Da sich das Krematorium in einem relativ engen Tal befindet, sollte eine allfällige Belastung aufgrund der Windverhältnisse relativ klar feststellbar sein.

Davos

Die Vermutung, dass die Schadstoffe vor allem im Hauptsiedlungsraum Davos emittiert und mit dem Wind talabwärts verfrachtet werden, führte zu einer Beprobung auf einem Längstransect im Talboden von Glaris bis zum Davoser See (50 Wiesenstandorte). Um die Höhenverteilung der Schadstoffe und insbesondere die Auswirkung der Winter-Inversion auf ca. 1600 m.ü.M. zu erfassen, wurde auch die rechte Hangflanke bei Davos und bei Frauenkirch auf je vier Höhenstufen beprobt (insgesamt 72 Proben aus Alpweiden). Die Auswertung der Daten erfolgte mit klassischen statistischen Methoden.

3 ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

3.1 Das Bündner Rheintal

Statistische Kenngrössen der untersuchten Schwermetalle auf den Fruchtfolgeflächen

In diesem Kapitel wird anhand der Messwerte der 160 Einzelproben ein zusammenfassendes Bild der Schadstoffsituation im Bündner Rheintal gezeichnet. Dabei bleibt die räumliche Verteilung der Daten noch unberücksichtigt. Durch die Berechnung bestimmter statistischer Kenngrössen (z.B. Median) wird das umfangreiche Zahlenmaterial zusammengefasst und Vergleichen mit ähnlichen Untersuchungen in anderen Regionen zugänglich gemacht.

Tabelle 2 zeigt, dass für alle Elemente der Mittelwert und der Median deutlich unter dem Richtwert liegen, wobei für Blei, Kupfer und Nickel Einzelwerte den Richtwert überschreiten.

Tab. 2 Statistik der Rohdaten der acht untersuchten Schwermetalle Blei, Cadmium, Kupfer, Zink, Chrom, Nickel, Quecksilber und Thallium.

	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Hg	Tl
	----- Konzentration [mg/kg] -----							
Richtwert VSBo	50	0.8	50	200	75	50	0.8	1
Anzahl Messwerte	160	160	160	160	160	160	135	23
kleinster Messwert	10.9	0.16	17.5	23.9	8.80	13.2	0.05	0.10
grösster Messwert	58.8	0.61	81.7	136	58.5	86.7	0.46	0.27
Median	23.7	0.27	38.5	67.2	18.0	28.2	0.08	0.15
Mittelwert	24.7	0.29	39.8	70.5	19.9	31.4	0.10	0.16
Varianz	46.8	0.00	136	276	67.8	149	0.00	0.00
Standardabweichung	6.84	0.07	11.7	16.6	8.24	12.2	0.05	0.05
Variationskoeffizient	0.28	0.24	0.29	0.24	0.41	0.39	0.55	0.32

Das Bündner Rheintal im gesamtschweizerischen Vergleich

Über die gesamtschweizerische Bodenbelastung orientiert der Bericht "Bodenverschmutzung in der Schweiz"². Tabelle 3 zeigt einen Vergleich der Situation im Rheintal mit jener in der Schweiz. Neben dem Median wird der Bereich, der 80 % aller Messwerte enthält, angegeben (häufiger Bereich).

Für die Elemente Blei, Cadmium, Zink, Nickel und Quecksilber bestehen weder beim Median noch beim Bereich der häufigsten Werte auffällige Unterschiede zwischen dem Rheintal und der ganzen Schweiz. Beim Kupfer hingegen liegt der Median im Rheintal 64 % über dem Median der ganzen Schweiz, während Chrom einen um 40 % tieferen Wert aufweist.

² Meyer, K., 1991: Bodenverschmutzung in der Schweiz. Untersuchungen und ausgewählte Ergebnisse über die Stoffbelastung von Böden Stand 1990. Liebefeld-Bern.

Ergebnisse und Interpretation. Bündner Rheintal

Tab. 3 Die Schwermetallkonzentrationen (mg/kg) im Bündner Rheintal und in Davos im Vergleich mit der Schweiz (Angaben in mg/kg = ppm)

Element	Richtwert	Rheintal		Davos		ganze Schweiz	
		Median	häufiger Bereich	Median	häufiger Bereich	Median	häufiger Bereich
Blei	50	23.7	17.2 - 33.0	17.6	13.2 - 45.0	22.6	17.2 - 34.7
Cadmium	0.8	0.27	0.20 - 0.36	0.22	0.14 - 0.46	0.31	0.19 - 0.50
Kupfer	50	38.6	26.1 - 53.6	16.6	7.77 - 32.8	23.6	14.7 - 162
Zink	200	67.2	52.6 - 93.4	75.8	51.3 - 128	62.1	43.7 - 92.4
Chrom	75	18.0	13.2 - 27.9	25.8	16.2 - 40.5	30.0	21.0 - 49.0
Nickel	50	28.2	21.4 - 43.3	16.0	8.37 - 29.4	24.4	13.5 - 37.5
Quecksilber	0.8	0.08	0.00 - 0.16	0.08	0.05 - 0.15	0.08	0.05 - 0.24
Thallium	1	0.15	0.00 - 0.12			0.05	0.03 - 0.12

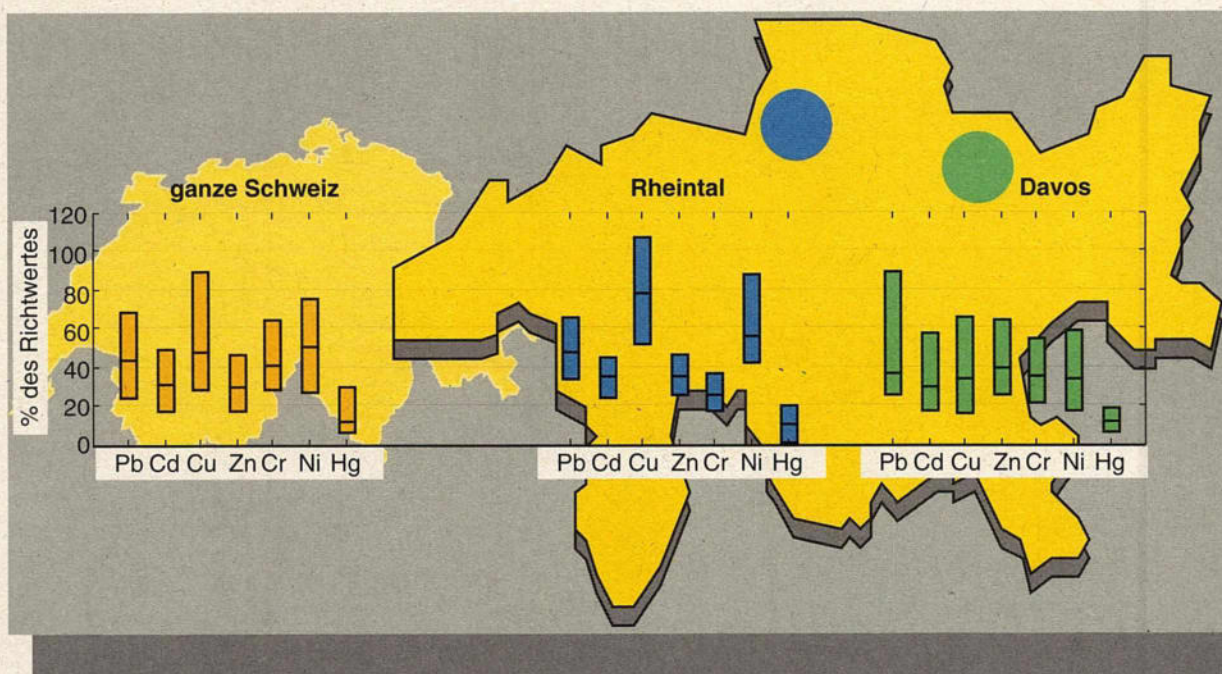


Abb. 2 Vergleich der mittleren Schadstoffkonzentrationen im Oberboden der Schweiz, des Bündner Rheintales und der Region Davos. Dargestellt sind die Mediane in Relation zum Richtwert (Richtwert = 100 %) und die Bereiche, die 80 % der Messwerte enthalten, für die Elemente Blei, Cadmium, Kupfer, Zink, Chrom, Nickel und Quecksilber. Die Daten für die Schweiz stammen aus Meyer (1991).

Richtwertüberschreitungen

In unbelasteten Böden kommen die einzelnen Schwermetalle in typischen Konzentrationsbereichen vor. Diese Bereiche können sich von Element zu Element um Grössenordnungen unterscheiden. Wenn ein Boden z.B. 10 mg Blei pro kg enthält, gilt er als unbelastet. Bei Cadmium hingegen bedeutet dieselbe Menge eine extrem hohe Belastung. Es ist deshalb anschaulicher, die Konzentrationen in Relation zu den Richtwerten gemäss VSBo anzugeben.

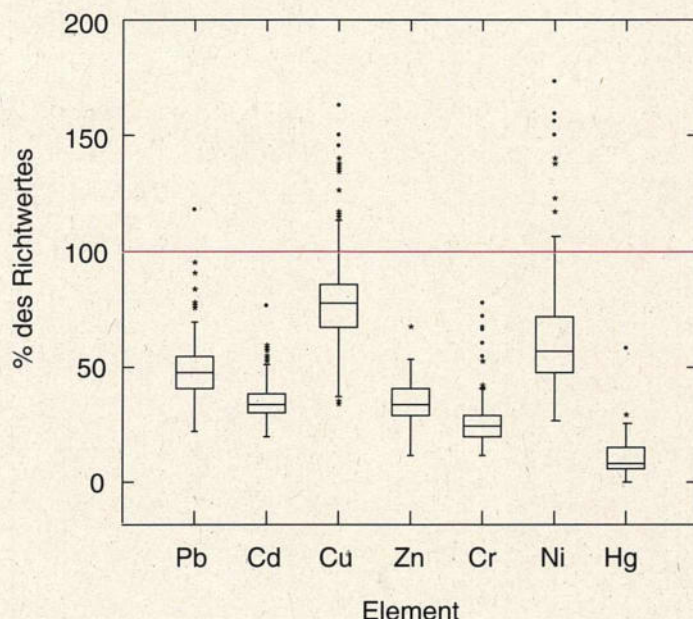


Abb. 3 Schwermetallkonzentrationen im Bündner Rheintal in Relation zum Richtwert (= 100 %, dargestellt durch die rote Linie).

In den Kistendiagrammen³ der Abbildung 3 sind die Konzentrationen der einzelnen Schwermetalle als Prozentwert des Richtwertes dargestellt. Für Blei, Cadmium, Zink, Chrom und Quecksilber liegt der Median unter 50 % des Richtwertes, für Kupfer und Nickel über 50 %. Bei Blei liegt eine einzige schwache Richtwertüberschreitung (117 %) vor. Bei Kupfer wird der Richtwert 24 mal und bei Nickel neunmal zum Teil erheblich überschritten.

Karten zeigen die räumliche Verteilung der Schwermetalle

Die Beprobung des Bündner Rheintals erfolgte mit dem Ziel, flächendeckende Informationen über die Hintergrundbelastung dieses Siedlungsraumes durch Schwermetalle zu gewinnen und in Form von Karten darzustellen. Ausser für Zink, dessen Variogramm kein verlässliches Bild der räumlichen Abhängigkeit der Messwerte vermittelte und für Quecksilber und Thallium, deren Datenbasis ungenügend war, konnten für alle untersuchten Elemente mittels Kriging Flächenmittelwerte sowie die zugehörigen Schätzfehler gerechnet und als Karten wiedergegeben werden. Diese Karten bildeten die Grundlage für die zusammenfassende Darstellung in Abb. 6, die - etwas generalisierend - die Verteilung von Blei, Cadmium, Kupfer und Nickel zeigt.

³ Eine Interpretationshilfe zu den Kistendiagrammen findet sich im Anhang.

Am Beispiel des Cadmiums werden in Abb. 4 die durch Kriging interpolierten Schätzwerte für Fruchtfolgeflächen gezeigt. Die zugehörigen Schätzfehler sind als Variationskoeffizienten in Abb. 5 wiedergegeben. Sie bewegen sich im wesentlichen in einem Bereich zwischen 4 und 15 %. In Regionen, wo sich die Interpolation nur auf eine geringe Anzahl Messwerte abstützt, nimmt der Fehler naturgemäss zu (15 - 22 %). Dies ist am Rand des Untersuchungsgebietes und in der Talenge zwischen Haldenstein und Trimmis der Fall und gilt für alle untersuchten Elemente.

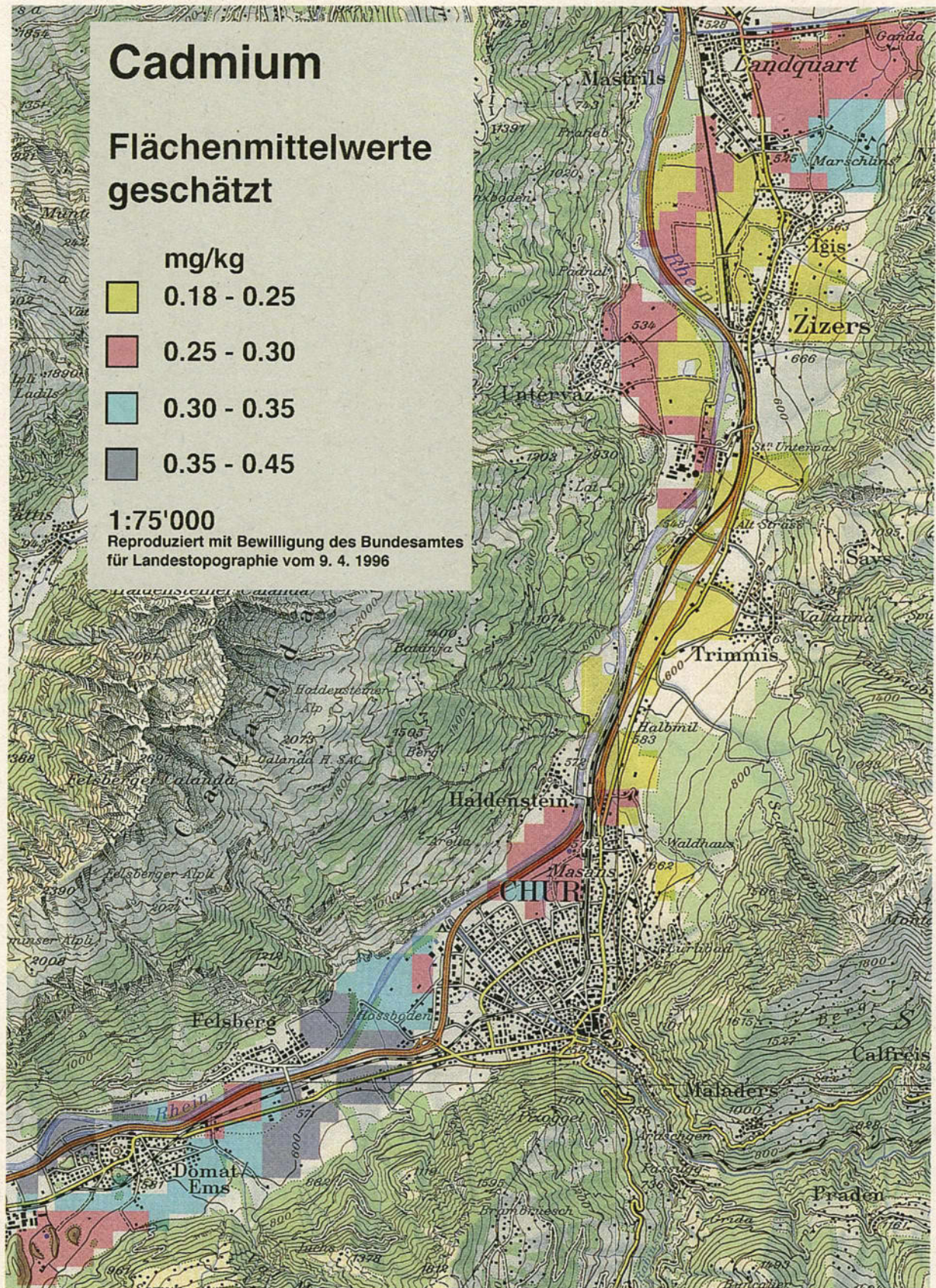


Abb. 4 Cadmiumbelastung im Bündner Rheintal. Die Karte basiert auf den mit dem Kriging-Verfahren geschätzten Flächenmittelwerten für Cadmium.

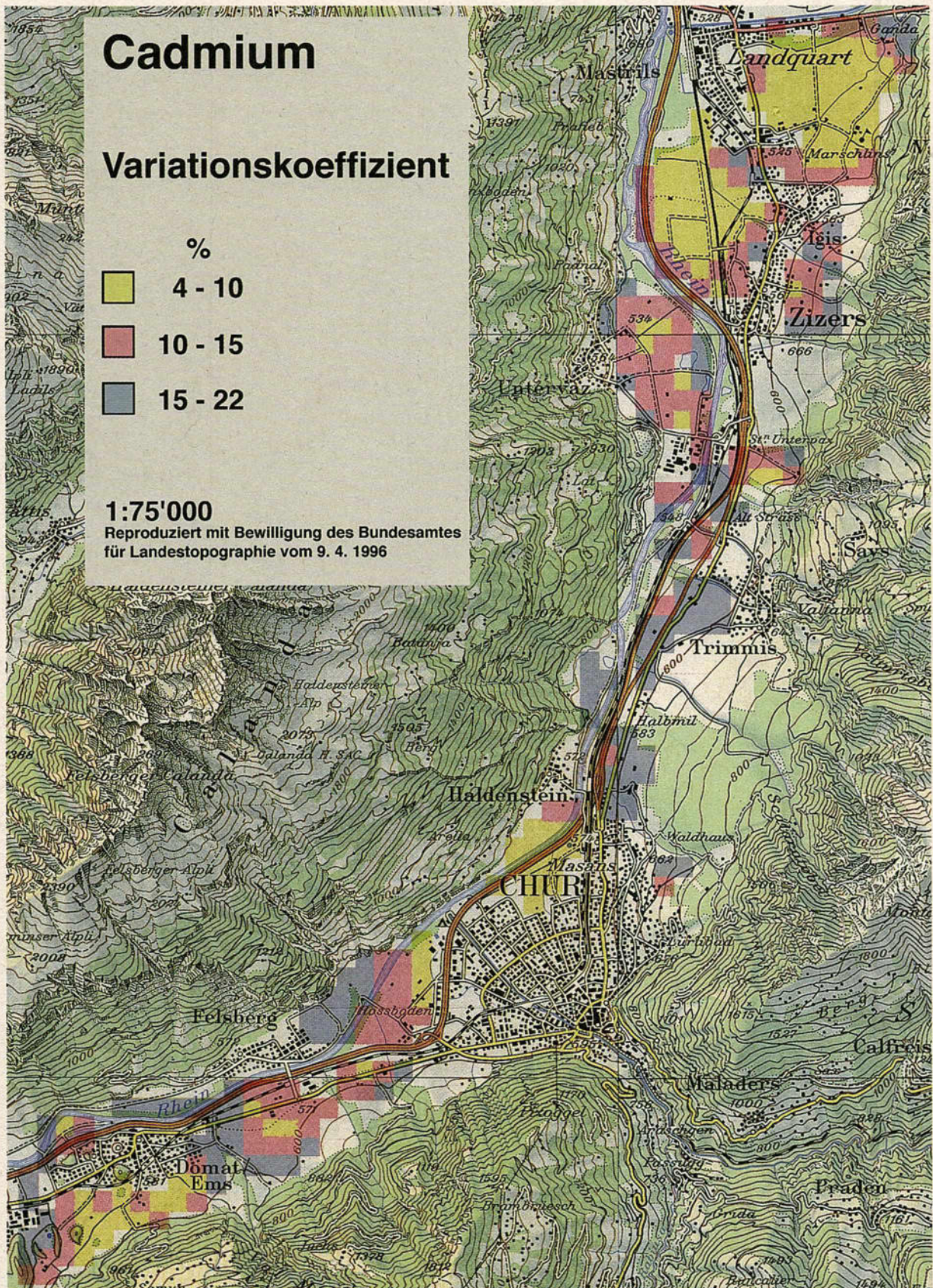


Abb. 5 Mit dem Kriging-Verfahren ermittelte Variationskoeffizienten der geschätzten Flächenmittelwerte für Cadmium

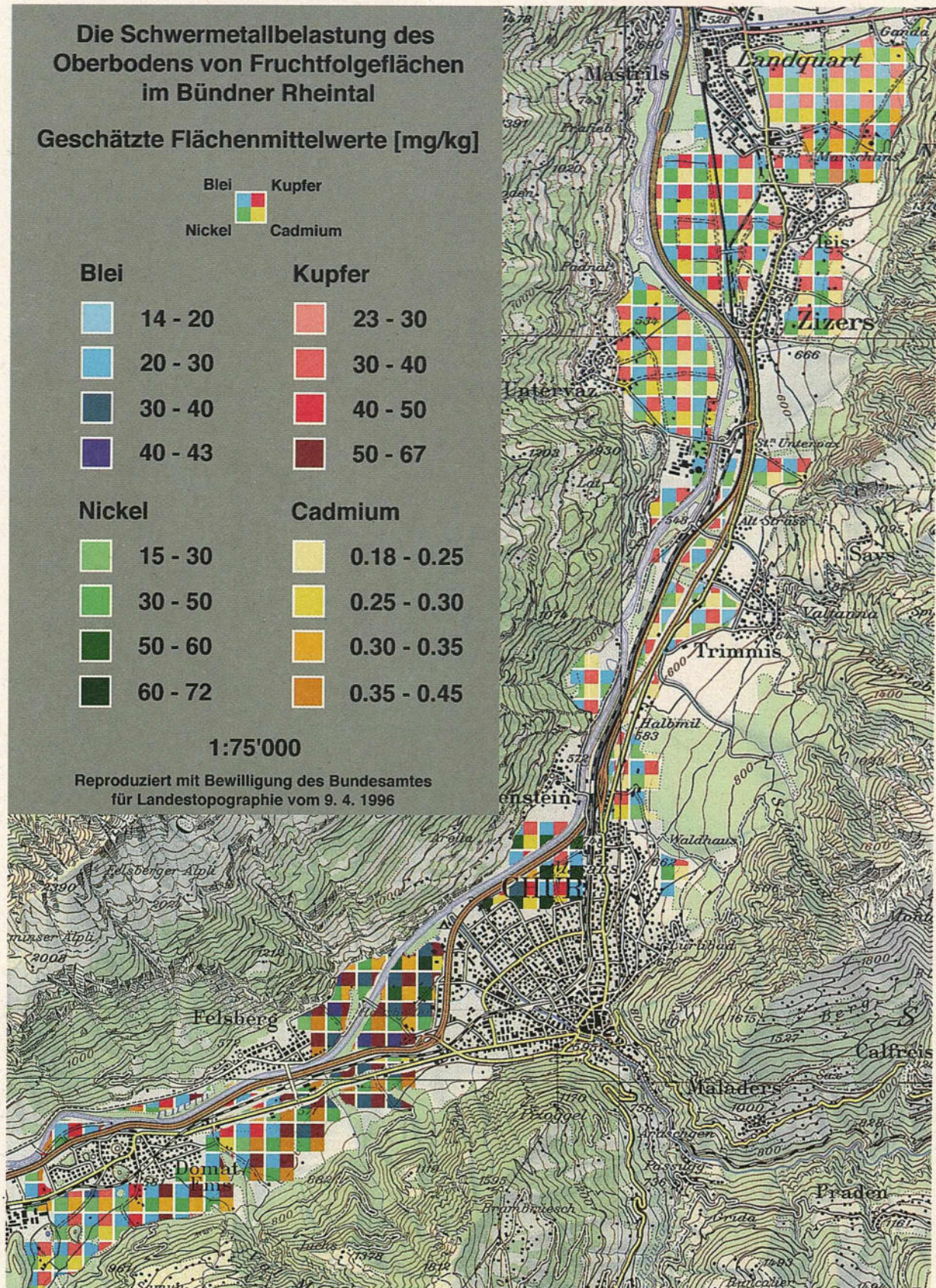


Abb. 6 Blei-, Cadmium-, Kupfer- und Nickelbelastung im Bündner Rheintal. Die Karte stellt eine Zusammenfassung der mit dem Kriging-Verfahren für die einzelnen Elemente geschätzten Flächenmittelwerte dar.

Regionale Unterschiede

Erhöhte Schwermetallkonzentrationen zwischen Domat/Ems und Chur

Aus der Karte wird ersichtlich, dass die Cadmiumbelastung zwischen Domat/Ems und Chur mit 0.27 - 0.39 mg/kg höher ist als zwischen Chur und Landquart (0.22 - 0.28 mg/kg). In der Region Landquart wiederum zeichnen sich zwei unterschiedlich belastete Gebiete ab: Westlich der Kantonsstrasse bewegen sich die Werte zwischen 0.18 und 0.30 mg/kg, östlich der Strasse zwischen 0.25 und 0.35 mg/kg. Die meist unter 10 % liegenden Variationskoeffizienten stützen diese Aussagen.

Die bei Betrachtung der Karte für das Auge offensichtliche unterschiedliche Cadmiumbelastung in den Talabschnitten südwestlich und nördlich von Chur lässt sich auch statistisch nachweisen. Die in Abb. 7 dargestellten gekerbten Kistendiagramme zeigen einen signifikanten Unterschied zwischen den Medianen.

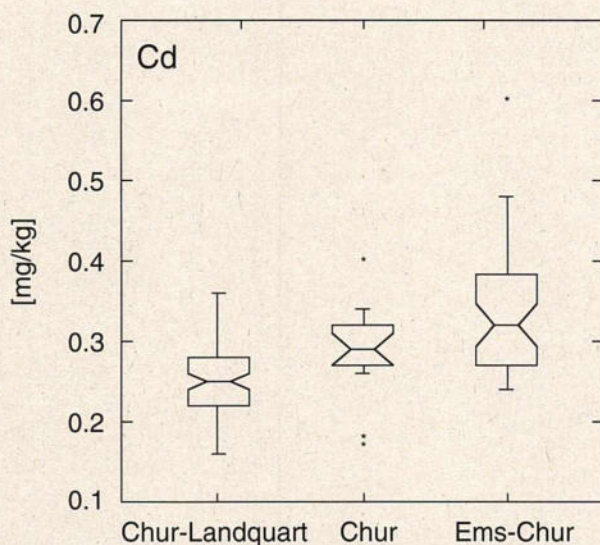


Abb. 7 Cadmiumbelastung (mg/kg) in den einzelnen Abschnitten des Bündner Rheintals. Wenn sich die Kerben zweier Kistendiagramme überschneiden, gelten die Mediane nicht als signifikant verschieden.

Die Unterteilung des Bündner Rheintales in ein stärker belastetes Gebiet zwischen Domat/Ems und Chur und in ein schwächer belastetes Gebiet zwischen Chur und Landquart gilt ausser für das Cadmium auch für die Elemente Blei, Kupfer, Zink, Nickel und Quecksilber (Abb. 8). Dabei bestehen nicht nur zwischen den Medianen regional signifikante Unterschiede, sondern es liegen auch die gesamten Wertebereiche im SW von Chur höher als im N.

Ergebnisse und Interpretation. Bündner Rheintal

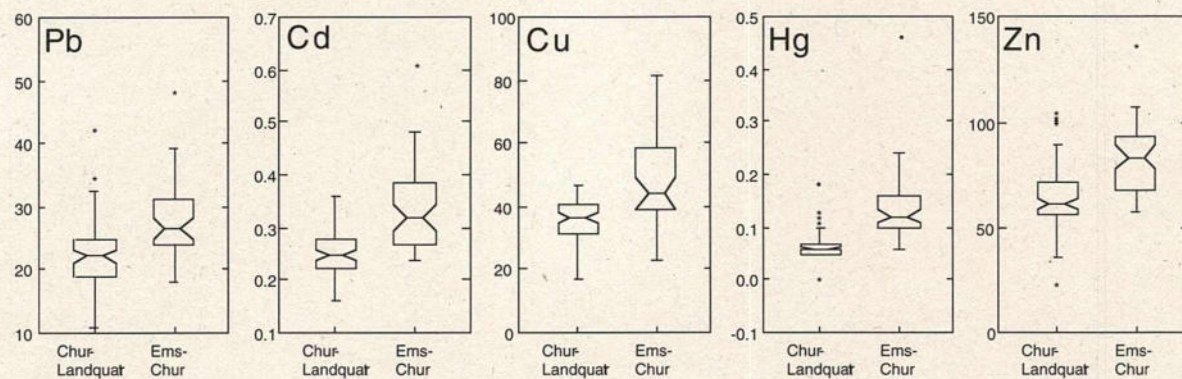


Abb. 8 Gegenüberstellung der Bodenbelastung (mg/kg) mit Blei, Cadmium, Kupfer, Quecksilber und Zink in den Talabschnitten Chur-Landquart und Domat/Ems-Chur. Für alle fünf Elemente liegt der Median zwischen Domat/Ems und Chur signifikant höher als zwischen Chur und Landquart.

Eine Rückführung dieses Befundes auf natürliche, d.h. geologisch bedingte Ursachen ist nicht naheliegend. Einerseits unterscheiden sich die beprobten Böden in den zwei Teilgebieten nicht wesentlich, da sie alle aus Rheinsedimenten hervorgegangen sind. Andererseits lassen sich lokal erhöhte Quecksilberwerte mit der Geologie nicht erklären, da dieses Element in sämtlichen in der Schweiz vorkommenden Gesteinen bedeutungslos ist⁴. So muss wenigstens der erhöhte Quecksilbergehalt zwischen Domat/Ems und Chur auf menschliche Einflüsse zurückgeführt werden.

Die hauptsächlichen Eintragsquellen für Quecksilber sind Klärschlamm, Kehrlichtverbrennungsanlagen, Metallverarbeitung, chemische Industrie und Pflanzenschutzmittel. Über diese Wege gelangen aber auch die anderen zwischen Domat/Ems und Chur in erhöhten Konzentrationen auftretenden Schwermetalle in den Boden. Der Schluss liegt deshalb nahe, dass nicht nur die erhöhte Quecksilberbelastung, sondern auch die der anderen Schwermetalle anthropogen bedingt ist.

Für die dargestellten Elemente liegen die Mediane in Chur (in Abb. 8 nicht aufgeführt) im selben Bereich wie die Mediane südwestlich der Stadt. Anders verhält es sich bei Chrom und Nickel: Hier fallen die signifikant höheren Mediane im Raum Chur auf (Abb. 9).

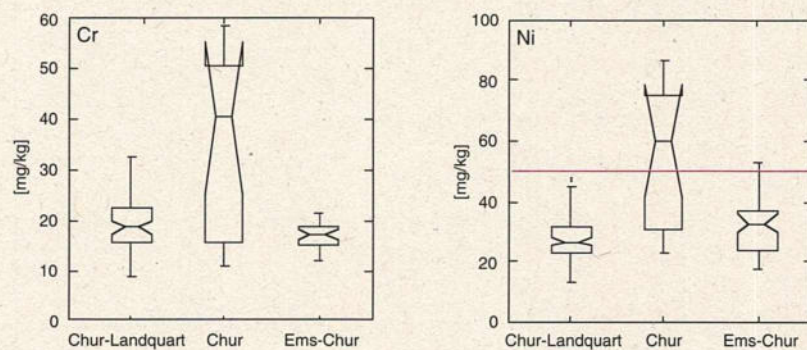


Abb. 9 Chrom- und Nickelbelastung (mg/kg) in den einzelnen Abschnitten des Bündner Rheintals. Die Mediane sind in Chur signifikant höher als in den benachbarten Regionen. Die rote Linie bei Nickel bezeichnet den Richtwert.

⁴ Tuchschild, M.P., 1995: Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Umwelt-Materialien Nr. 32. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern.

Hohe Chrom- und Nickelkonzentrationen in Chur

Beim Nickel wurden im ganzen Rheintal neun Richtwertüberschreitungen festgestellt, wovon acht unmittelbar bei Chur und eine zwischen Chur und Domat/Ems lokalisiert sind. Die Churer Standorte weisen auch die höchsten - wenn auch nicht richtwertüberschreitenden - Chromkonzentrationen auf (vgl. Abb. 9 und 10). Die hohe Korrelation zwischen diesen zwei Schwermetallen, die auch in Davos nachgewiesen wurde, kann auf natürliche Ursachen zurückgeführt werden. Beide Elemente sind am Aufbau von Serpentinegesteinen beteiligt, die in der Aroser Schuppenzone vorkommen. Der Schluss liegt nahe, dass das bei Chur nachgewiesene Chrom und Nickel aus der Region Arosa stammt und von der Plessur an seinen Ablagerungsort verfrachtet wurde.

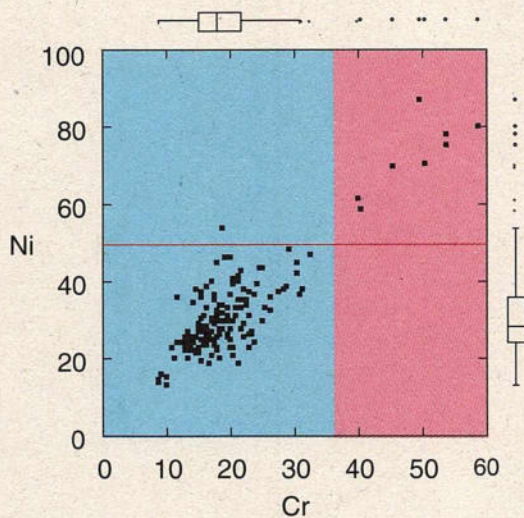


Abb. 10 Korrelation zwischen Nickel und Chrom im Bündner Rheintal. Dargestellt sind alle Werte der Fruchtfolgeflächen. Die Werte aus der Umgebung von Chur sind rot unterlegt. Aufgrund der Kistendiagramme sind diese als Ausreisser definiert. Im vorliegenden Fall ist es richtiger, von zwei verschiedenen Populationen (rot: Umgebung von Chur, blau: übriges Rheintal) zu sprechen. Die rote Linie bezeichnet den Richtwert für Nickel.

Erhöhte Bleiwerte südwestlich von Chur

Die einzige Richtwertüberschreitung beim Blei wurde neben der Zufahrt zum Schützenhaus festgestellt. Da auch südwestlich davon relativ hohe Bleikonzentrationen gefunden wurden, ergab die Interpolation durch Kriging für den Rossboden die höchsten Flächenschätzwerte (> 40 mg/kg) des gesamten Rheintals. Auch die angrenzenden Gebiete in unmittelbarer Stadtnähe zeigen Schätzwerte über 35 mg/kg. Die Nachbarschaft zum Waffenplatz lässt natürlich an eine Kontamination durch Munition denken, doch kann diese Vermutung aufgrund der vorhandenen Daten nicht überprüft werden. Eine Kontamination der Böden durch Immissionen aus dem Strassenverkehr ist ebenfalls denkbar, insbesondere dann, wenn gezeigt werden kann, dass der Wind im fraglichen Talabschnitt zur Hauptsache aus NE, d.h. aus dem Hauptverkehrsraum Chur bläst. Einen Hinweis dazu liefert die Immissionsmessstelle Chur-Kantonsspital, wo die häufigsten Windrichtungen sowie die grössten Windgeschwindigkeiten tatsächlich aus NE kommen.

Thallium ist nur lokal nachweisbar

Das Element Thallium konnte nur in 23 Proben nachgewiesen werden. Davon liegen 20 in nächster Umgebung oder nördlich des Zementwerkes BCU. Ein Zusammenhang zwischen der Zementproduktion und der Thalliumbelastung der Böden ist wahrscheinlich.

3.2 Spezialuntersuchungen

Die Spezialuntersuchungen in Hobbygärten, in Grünanlagen und in der Umgebung des Krematoriums zeigen einerseits siedlungsbedingte Belastungen auf und andererseits geogen bedingte erhöhte Chrom- und Nickelgehalte (Abb. 11) in der Stadt Chur.

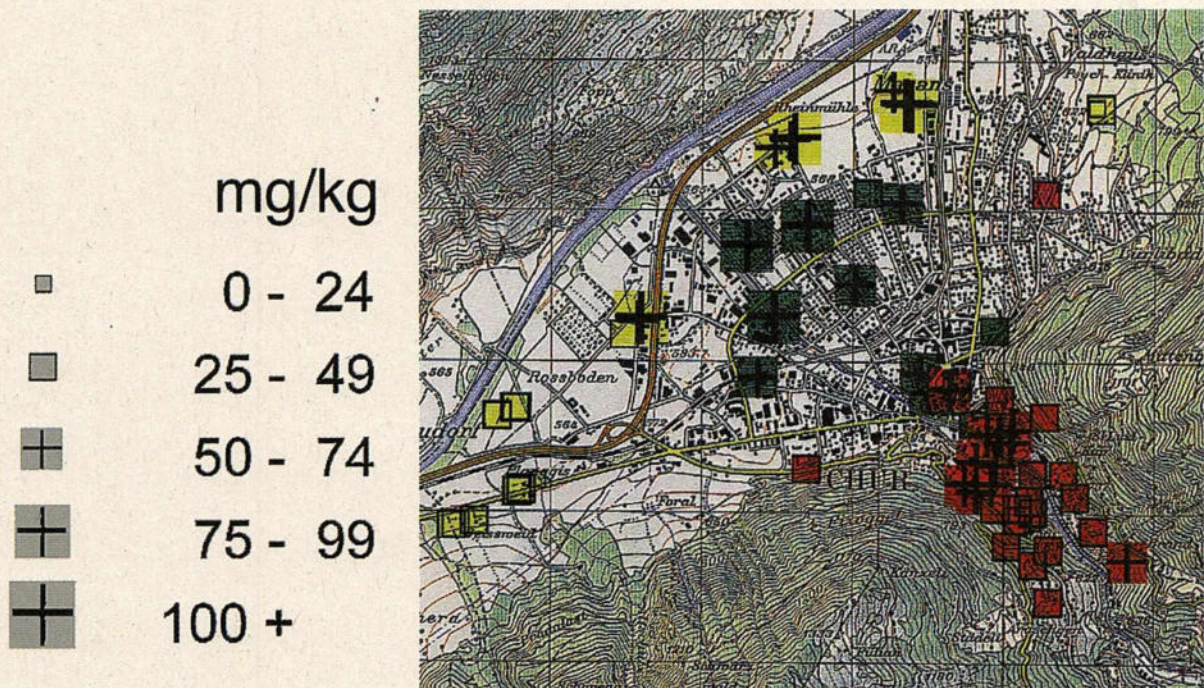


Abb. 11 Nickelgehalte in den Böden in und um die Stadt Chur. Rot: Probeflächen in der Umgebung des Krematoriums; dunkelgrün: Grünanlagen; hellgrün: Fruchtfolgeflächen

Hobbygärten - hohe Belastung auf kleinem Raum

Im gesamtschweizerischen Vergleich liegen in Chur die Bleiwerte der Hobbygartenböden in derselben Grössenordnung wie in anderen Schweizer Städten, jedoch deutlich unter den Bleiwerten von Zürich, Basel und Aarau. Die Zink-, Cadmium- und Kupferwerte sind verhältnismässig hoch. Vermutlich wurde auf dem Familiengartenareal an der Rheinstrasse Müllkompost aus der nahegelegenen ehemaligen Aufbereitungsanlage "Bettlerküche" ausgetragen.

Im Vergleich zu den Grünanlagen (30 Werte) weisen die Hobbygärten (11 Werte) die doppelte Bleibelastung auf (Abb. 12). Dies gilt selbst für Grünanlagen an stark befahrenen Strassen (z.B. im Fontanapark in Chur oder an der Malixerstrasse). Auch hinsichtlich der Zinkbelastung heben sich die Hobbygärten deutlich von den übrigen Nutzungstypen ab (Abb. 14).

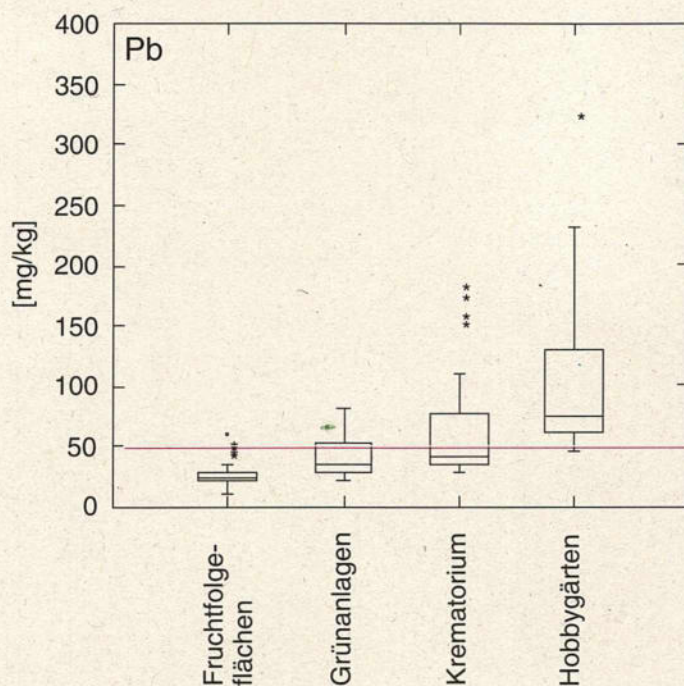


Abb. 12 Bleibelastung (Totalgehalte, mg/kg), Vergleich der 4 Nutzungsklassen im Bündner Rheintal

Grünanlagen - tendenziell höhere Quecksilberwerte bei Chur

In den Grünanlagen zeigen die Quecksilbergehalte eine leichte Zunahme von Landquart nach Chur (Abb. 13). Bei den übrigen Elementen sind keine Unterschiede zwischen der Stadt Chur und den kleineren Gemeinden festzustellen, mit Ausnahme der geogen bedingten hohen Chrom- und Nickelgehalte in Chur.

Grünanlagen dienen als Hintergrundwerte im Siedlungsgebiet

Ausser für Blei sind die Grünanlagen in Chur und den umliegenden Gemeinden nicht viel stärker belastet als die Fruchtfolgeflächen im Bündner Rheintal, die als regionale Hintergrundwerte aufzufassen sind (vgl. Abb. 12 und 13). Die Schwermetallgehalte in den Böden der Grünanlagen können ihrerseits als Hintergrundwerte in Siedlungen betrachtet werden. Ein Vergleich mit den Hobbygärten ermöglicht den Stellenwert der Bewirtschaftung abzuschätzen. Die Bewirtschaftung erhöht die Bodenbelastung aufgrund der vorliegenden Untersuchung durchschnittlich um einen Faktor zwei.

Ergebnisse und Interpretation. Spezialuntersuchungen

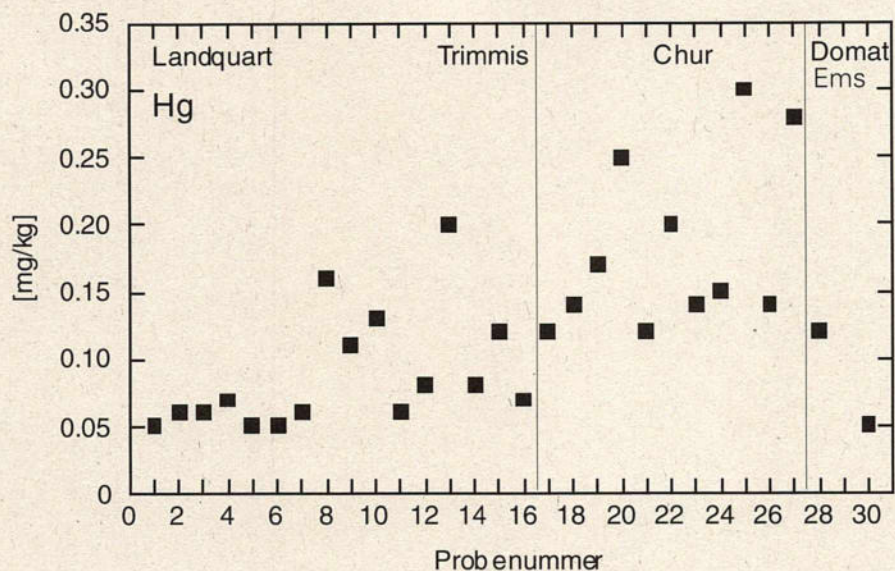


Abb. 13 Streudiagramm für Quecksilber (mg/kg) bei Grünanlagen. Die Probennummern (1-30) entsprechen den Standorten; die vertikalen Linien verdeutlichen die Abgrenzung von Chur (Standorte Nr. 17-27).

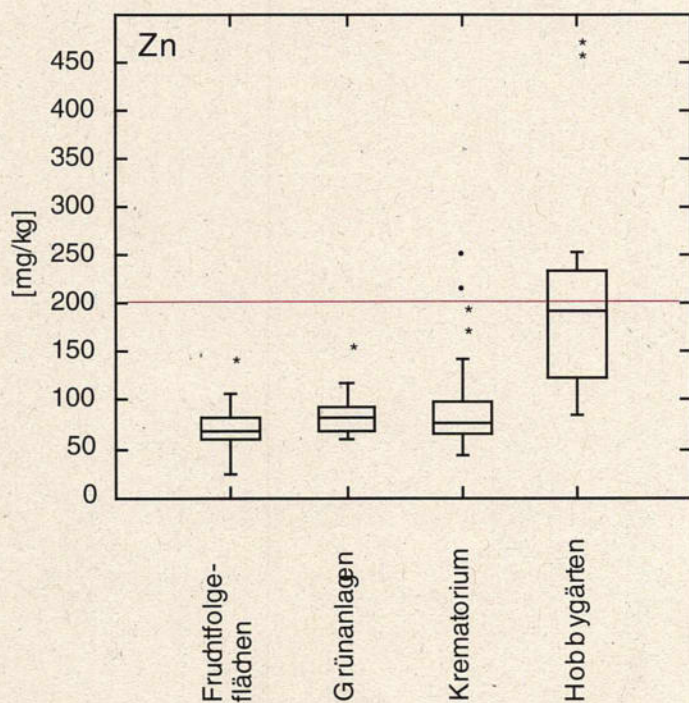


Abb. 14 Zinkbelastung (mg/kg), Vergleich der vier Nutzungsklassen im Bündner Rheintal

Krematorium - kein gesicherter Einfluss auf den Quecksilbergehalt der Böden

Ob Emissionen des Krematoriums für die leicht erhöhten Quecksilberwerte an den Standorten Nr. 4, 5, 8, 10 und 11 verantwortlich sind, kann statistisch nicht erhärtet werden (Abb. 15). Die zwei Richtwertüberschreitungen Nr. 12 und 16 sind kaum dem Krematorium zuzuschreiben, da es sich um Rebberge handelt, wo früher vermutlich Müllkompost ausgetragen wurde (s. auch Nr. 10).

Bei den Standorten Nr. 4 und 5 wurde eventuell auch Müllkompost ausgetragen. Auch andere Schwermetalle weisen dort hohe Werte auf.

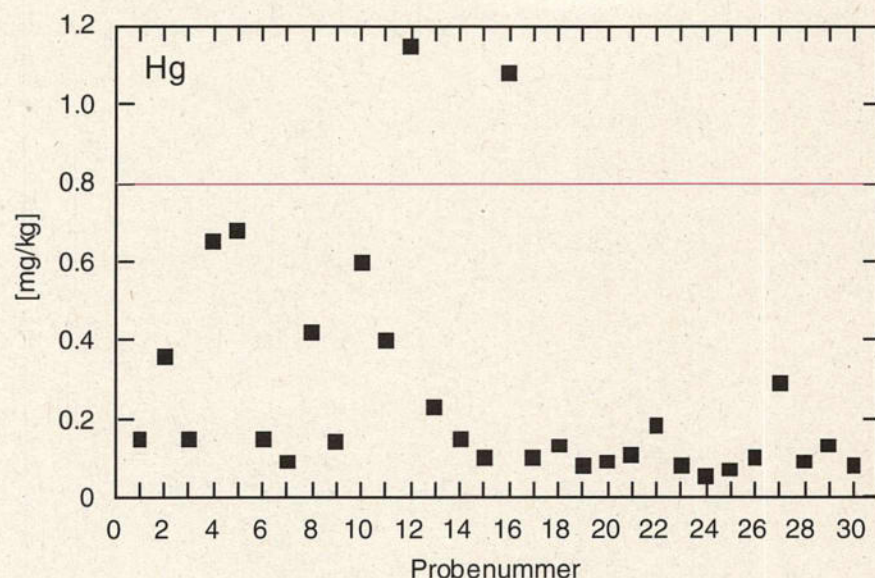


Abb. 15 Streudiagramm für Quecksilber (mg/kg) beim Krematorium

Es bestand die Befürchtung, dass die Quecksilbergehalte aus den Emissionen des Krematoriums in den Böden in der Hauptwindrichtung erhöht sein würden. Die höchsten Werte stammen jedoch aus den Rebbergstandorten und anderen vermutlich intensiv mit Müllkompost bewirtschafteten Spezialkulturen. Es konnte in Chur kein direkter Einfluss der Emissionen aus dem Krematorium auf die Böden in der näheren Umgebung nachgewiesen werden. Die frühere Untersuchung in Solothurn (1994) zeigte ebenfalls keine Richtwertüberschreitungen.

3.3 Davos

Beschreibende Statistik

In Tab. 5 sind die wichtigsten statistischen Kennwerte für die Gesamtheit der Messdaten (Taltransekt und beide Hangtransekte) dargestellt. Mittelwerte und Mediane liegen stets deutlich unter den Richtwerten, doch es fällt auf, dass bei sämtlichen Elementen die grössten ermittelten Messwerte die Richtwerte um das Doppelte (Hg) bis 18fache (Ni) überschreiten. Diese extrem hohen Einzelwerte verursachen die ungewöhnlich grossen Unterschiede zwischen den Mittelwerten und den Medianen.

Tab. 5 Statistik der Rohdaten für Blei, Cadmium, Kupfer, Zink, Chrom, Nickel und Quecksilber

	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Hg
	-----Konzentration [mg/kg]-----						
Richtwert VSBo	50	0.8	50	200	75	50	0.8
Anzahl Messwerte	122	122	122	122	122	122	104
kleinster Messwert	10.5	0.09	5.20	38.7	10.6	4.20	0.05
grösster Messwert	367	5.77	145	691	809	928	1.82
Median	17.6	0.22	16.6	75.8	25.8	16.0	0.08
Mittelwert	27.2	0.32	19.8	93.3	41.1	34.3	0.12
Varianz	1'353	0.29	262	5'494	10'230	14'034	0.05
Standardabweichung	36.8	0.53	16.2	74.1	101	118	0.22
Variationskoeffizient	1.35	1.67	0.82	0.80	2.46	3.46	1.84

Davos im Vergleich mit dem Rheintal

Trotz des Vorkommens hoher Einzelwerte liegen die Mediane in Davos für die Elemente Blei, Cadmium, Kupfer und Nickel unter jenen des Bündner Rheintales (vgl. Tab. 3 und Abb. 2).

Davos im gesamtschweizerischen Vergleich

Nimmt man den Median als Vergleichsmass, so erreicht die Bodenbelastung mit Blei, Cadmium, Kupfer, Chrom und Nickel in Davos (Tal- und Hangstandorte) lediglich 66 - 86 % des gesamtschweizerischen Durchschnitts. Bei der Quecksilberbelastung gibt es keinen Unterschied, und einzig das Zink erreicht in Davos 122 % des Schweizer Durchschnitts. Aufgrund dieses allgemeinen Befundes ist die Region als wenig belastet zu bezeichnen.

Betrachtet man aber ausschliesslich die Situation im Talboden und lässt die Hänge ausser acht, so entsprechen die Mediane von Blei, Cadmium, Kupfer und Chrom dem Schweizer Durchschnitt. Nickel liegt mit 85 % darunter, während Quecksilber mit 125 % und Zink mit 158 % den Durchschnitt deutlich übertreffen.

An den Hängen liegt nur Zink mit 108 % knapp über dem Schweizer Durchschnitt; die übrigen Elemente liegen mit 58 bis 79 % deutlich darunter (Tab. 6).

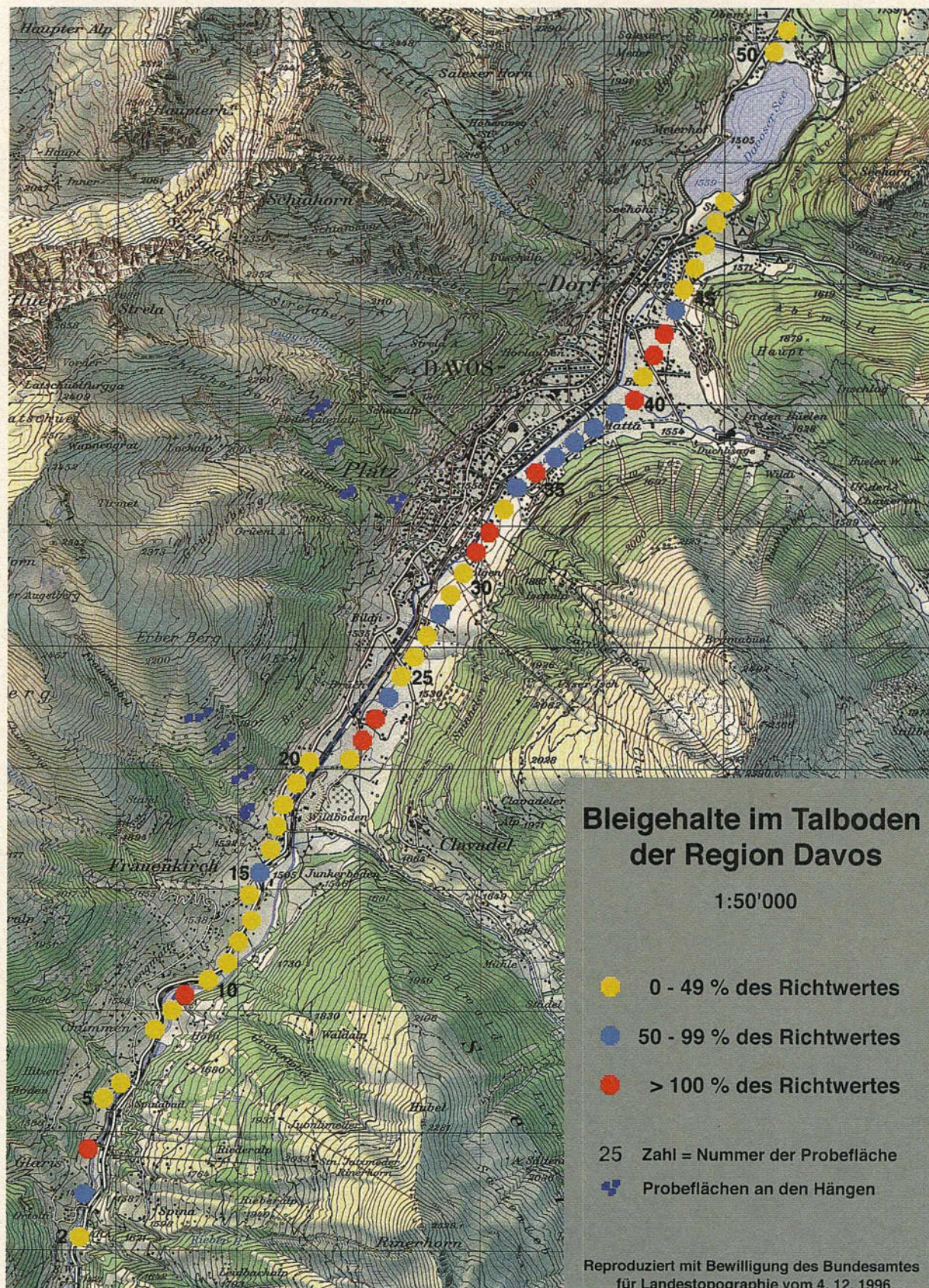


Abb.16 Karte der Region Davos mit den Probenahmestellen und den Bleigegehalten

Ergebnisse und Interpretation. Davos

Tab. 6 Vergleich der Schwermetall-Belastung in Davos mit jener der gesamten Schweiz. Dargestellt sind die Mediane in Relation zum schweizerischen Durchschnitt (= 100 %)

Element	alle Standorte	Talstandorte	Hangstandorte
	-----	% -----	-----
Blei	78	93	71
Cadmium	71	100	65
Kupfer	70	98	58
Zink	122	158	108
Chrom	86	98	79
Nickel	66	85	59
Quecksilber	100	125	75

Der Taltransekt**Geringe durchschnittliche Belastung - markante lokale Spitzenwerte**

Abb. 16 zeigt eine Karte der Region Davos, auf der die Probenahmestellen mit den ermittelten Bleikonzentrationen dargestellt sind. Es fallen sofort zehn über das ganze Tal verteilte Richtwertüberschreitungen auf. Eine Zusammenfassung sämtlicher untersuchten Schwermetalle in einer einzigen, stark schematisierten Darstellung erfolgt in Abb. 17. Daraus wird neben Richtwertüberschreitungen bei sämtlichen Elementen auch ersichtlich, dass an den am stärksten belasteten Standorten meist mehrere Elemente in richtwertüberschreitender Konzentration vorkommen. Neben den 10 Fällen beim Blei gibt es deren fünf bei Zink und Nickel, drei bei Cadmium, Kupfer und Chrom sowie zwei bei Quecksilber. Sämtliche Richtwertüberschreitungen der Elemente Cadmium, Kupfer, Zink und Quecksilber sind auch mit Überschreitungen beim Blei gekoppelt. Nur bei Chrom und Nickel finden sich hohe Werte an Standorten, die sonst nicht speziell belastet sind (Tab. 7).

Tab. 7 Zusammenstellung der 13 Standorte mit Richtwertüberschreitungen

	Standort Nummer													Total
	4	9	22	23	31	32	34	35	40	42	43	50	51	
Pb	*	*	*	*	*	*		*	*	*	*			10
Cd	*	*				*								3
Cu		*				*					*			3
Zn	*	*		*		*			*					5
Cr							*					*	*	3
Ni				*		*	*					*	*	5
Hg		*				*								2
Total	3	5	1	3	1	6	2	1	2	1	2	2	2	31

Abb. 17 (nächste Seite) Schematisierte Darstellung der Schwermetallverteilung längs des Taltransektes.

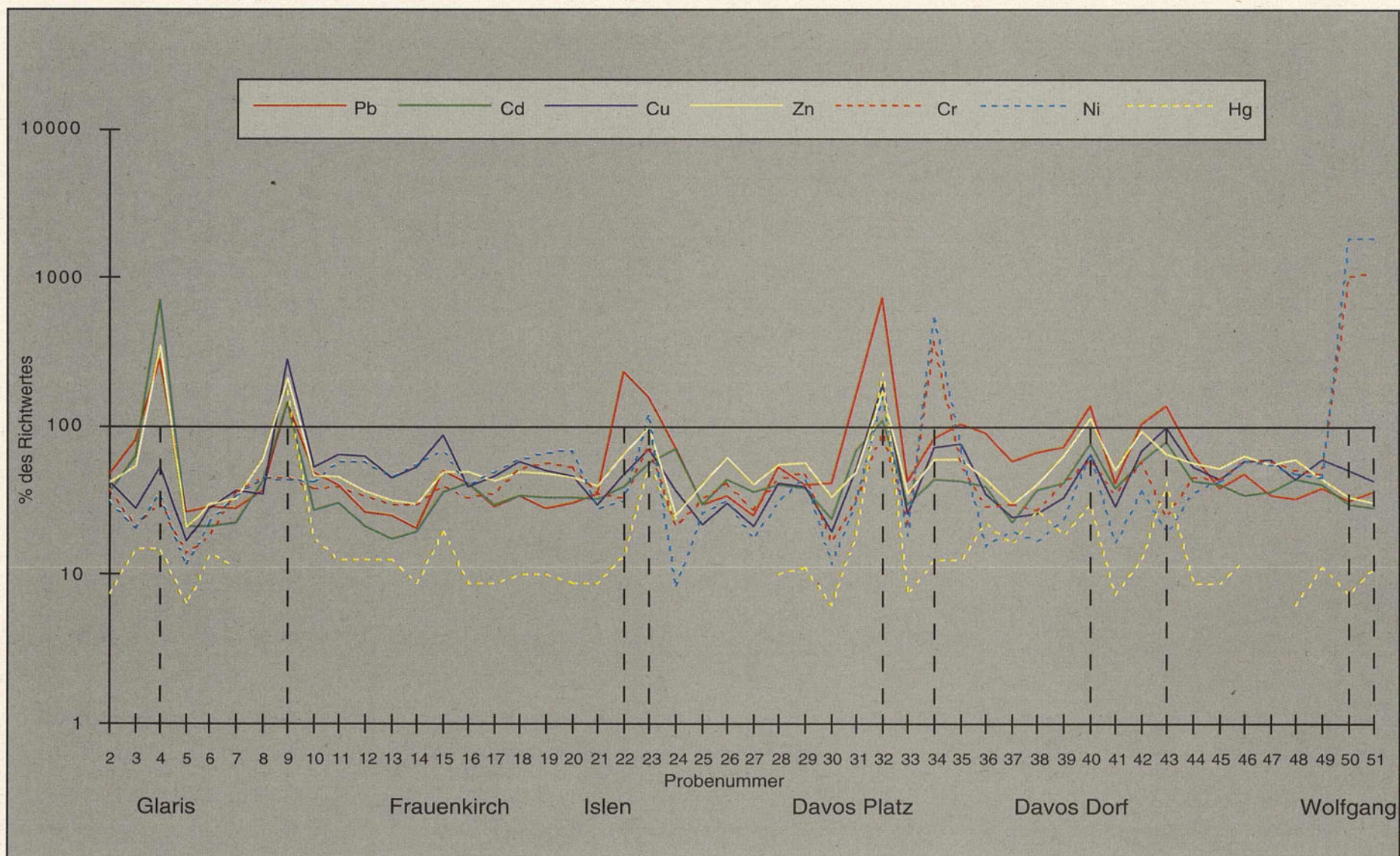


Abb. 17 Schadstoffgehalte des Talbodens

Ergebnisse und Interpretation. Davos

Korrelationen

Der Verlauf der Kurven in Abb. 17 lässt eine hohe Korrelation zwischen einzelnen Elementen vermuten. In Tab. 7 sind die berechneten Rang-Korrelationen nach Spearman aufgeführt. Relativ hohe Korrelationen (Koeffizienten über 0.6) bestehen zwischen Nickel und Chrom, Cadmium und Zink, Blei und Cadmium, Blei und Quecksilber, Blei und Zink sowie Nickel und Kupfer.

Tab. 7 Rang-Korrelation nach Spearman für die Talstandorte. Gute Korrelationen über 0.6 sind fett dargestellt, sehr schwache Korrelationen unter 0.1 sind unterstrichen.

	Pb	Cd	Cu	Zn	Cr	Ni	Hg
Pb	1.00						
Cd	0.77	1.00					
Cu	0.34	0.39	1.00				
Zn	0.66	0.79	0.56	1.00			
Cr	<u>0.09</u>	0.27	0.59	0.49	1.00		
Ni	<u>-0.10</u>	<u>0.01</u>	0.70	0.26	0.82	1.00	
Hg	0.68	0.43	0.42	0.35	<u>0.00</u>	<u>0.05</u>	1.00

Mögliche Ursachen der Richtwertüberschreitungen

Bei den Standorten mit hohen Schwermetallbelastungen stellt sich die Frage, ob diese natürlich, d.h. geologisch bedingt oder vom Menschen verursacht sind.

An den Standorten 9, 23, 32 und 43 sind die Richtwertüberschreitungen von Blei, Cadmium, Kupfer, Zink und Nickel mit hohen Quecksilberwerten gekoppelt. Wie schon weiter oben erwähnt wurde, sind solche Quecksilberkonzentrationen aufgrund der in der Schweiz vorkommenden Gesteine nicht erklärbar, so dass wenigstens das Quecksilber anthropogenen Ursprungs sein muss. Woher es stammt, ist nicht bekannt. Es könnte mit Klärschlamm, Müllkompost oder Siedlungsabfällen in den Boden gelangt sein. Dafür spricht einiges, liegen doch z.B. der Standort 9 direkt neben einer Kläranlage und der Standort 23 auf einer Deponie. Damit erklären sich auch die hohen Blei-, Cadmium-, Kupfer- und Zinkwerte.

Anders liegen die Verhältnisse bei Chrom und Nickel. Die markantesten Richtwertüberschreitungen finden sich auf den Standorten 34, 50 und 51, wo die übrigen Schwermetalle bloss in durchschnittlichen Konzentrationen auftreten (vgl. auch die schlechte Korrelation zwischen Chrom bzw. Nickel und den übrigen Schwermetallen, Tab. 7). An den Standorten 50 und 51, die im Bereich des serpentinenreichen, d.h. stark chrom- und nickelführenden Bergsturzmaterials der Totalp liegen, ist der Ursprung mit Sicherheit geogen. Der Standort 34 liegt teilweise auf einer Aufschüttung im Bereich eines Wohnhauses. Es ist anzunehmen, dass hier serpentinhaltiges Aushubmaterial verfüllt worden ist.

Räumliche Verteilung der Schwermetalle

Die Beprobung des Talbodens in regelmässigen Abständen längs eines Transektes bezweckte, allfällige Unterschiede zwischen dem oberen Talabschnitt mit dem Hauptsiedlungsgebiet und dem unteren, weniger dicht besiedelten Abschnitt aufzuzeigen. Deshalb wurde der Transekt für die folgende Auswertung in je 10 Proben aus dem unteren, mittleren und oberen Talbereich aufgeteilt, wobei sämtliche Standorte mit Richtwertüberschreitungen ausgeschlossen wurden.

Anhand gekerbter Kistendiagramme können die Mediane der einzelnen Schwermetalle für die drei Talabschnitte verglichen werden (Abb. 18).

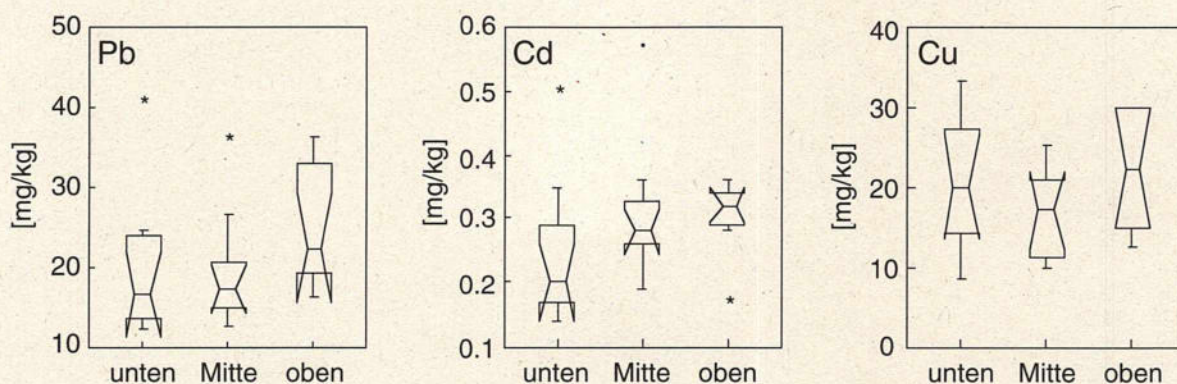


Abb. 18 Vergleich der Blei-, Cadmium- und Kupferbelastung im unteren, mittleren und oberen Abschnitt des Davoser Haupttales. Die drei Abschnitte umfassen die folgenden Standorte:

- unten: 2, 3, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 12, 13
- Mitte: 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30
- oben: 37, 38, 39, 41, 44, 45, 46, 47, 48, 49

Die dargestellten Beispiele zeigen für Blei und Cadmium eine leichte, stetige Zunahme des Medians von unten nach oben. Bei Kupfer liegt der Median im oberen Talabschnitt ebenfalls höher als im unteren, doch ist der Übergang nicht stetig; der tiefste Median findet sich im mittleren Talabschnitt. Zink und Chrom verhalten sich analog zum Blei, Nickel analog zum Kupfer. Quecksilber weist im unteren Talabschnitt den höchsten, im mittleren Teil den tiefsten Median auf. Ausser in einem Fall (Cadmium unten vs. Cadmium oben) sind die Unterschiede nicht signifikant.

Unter der Annahme, dass Blei, Cadmium und Zink in der Region vorwiegend von Strassenverkehr und Ölfeuerungen freigesetzt werden, ist eine erhöhte Bodenbelastung im Hauptemissionsgebiet, also im oberen Talabschnitt, zu erwarten. Da im Haupttal von Davos der Wind mehrheitlich talabwärts bläst, werden Schadstoffe aber auch in Richtung Frauenkirch verfrachtet, was die letztlich geringen Unterschiede zwischen oberem und unterem Talabschnitt erklären würde.

Was hier gesagt wird, ist nur als Versuch einer Interpretation zu verstehen, denn wenn die genannten Schwermetalle beispielsweise zusätzlich mit Klärschlamm ausgetragen werden, verändert sich die Ausgangslage völlig. Da Schadstoffe im Boden keine Herkunftsbezeichnung tragen, braucht man Angaben über Bewirtschaftungsmethoden, Eintrag von Fremdmaterial, Deponien, Unglücksfälle usw.

Die Hangtransekte

Ziel der Beprobung der Hänge war es, eine allfällige Höhenabhängigkeit der Schwermetallverteilung nachzuweisen. Beim Vergleich der Mediane zeigt es sich, dass alle Elemente an den Hängen grundsätzlich tiefere Konzentrationen aufweisen als im Talboden (Abb. 19). Die einzigen drei Richtwertüberschreitungen - einmal Blei und zweimal Cadmium - stammen aus zwei stark organischen Proben auf 1990 m.ü.M oberhalb Frauenkirch. Im einzelnen bestehen zwischen den Elementen, aber auch zwischen den beiden Hangtransekten einige Unterschiede.

Ergebnisse und Interpretation. Davos

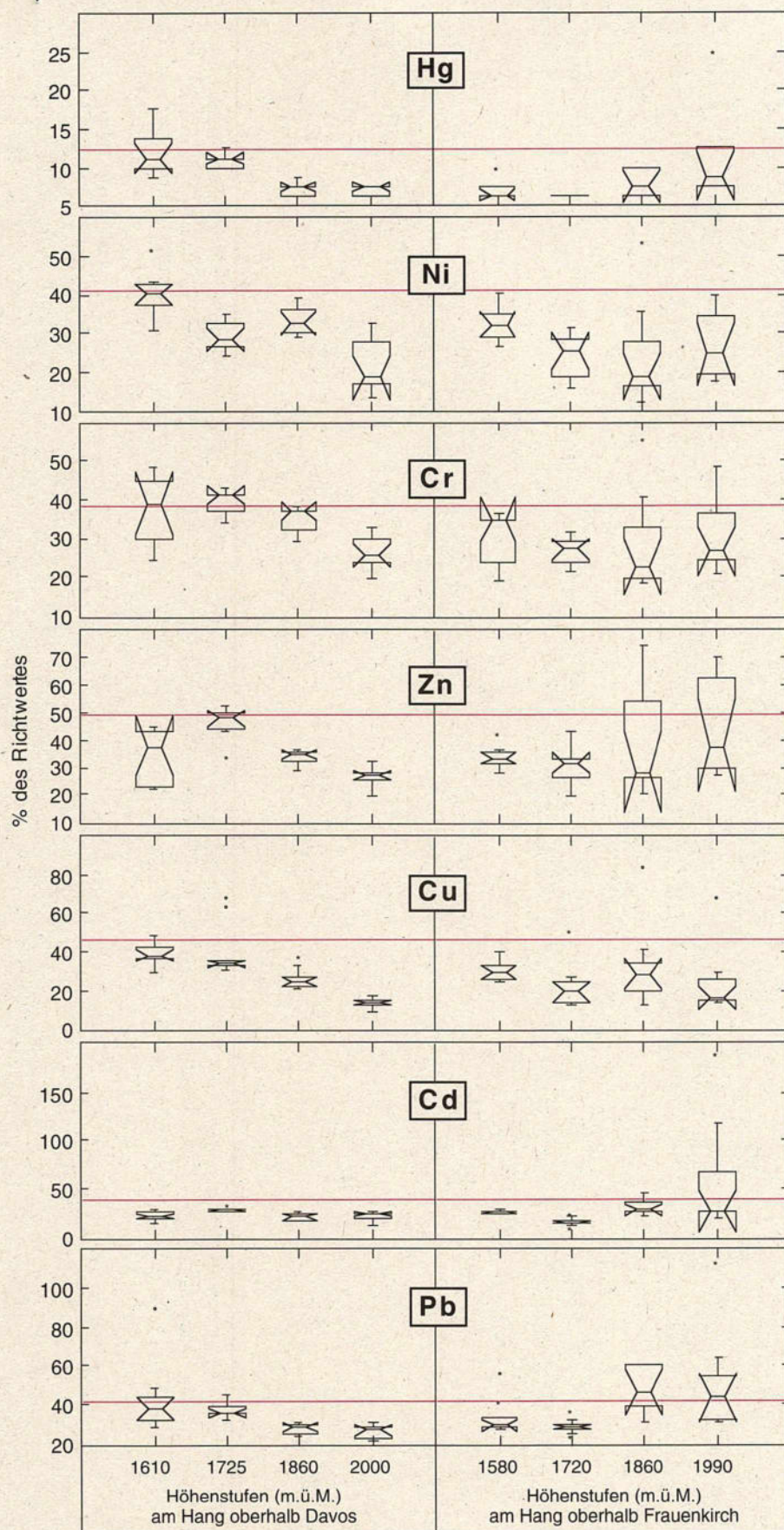


Abb. 19 Schwermetallkonzentrationen an den Hängen in Relation zu den Richtwerten (= 100 %). Die roten Linien bezeichnen die Mediane des Taltransektes.

Der Hang oberhalb Davos

Am Hang oberhalb Davos kann für alle untersuchten Elemente ausser Cadmium eine Konzentrationsabnahme bei steigender Meereshöhe festgestellt werden. Allerdings ist diese nur für Blei und Kupfer stetig. Bei Zink und Chrom nimmt die Konzentration zunächst zu und erreicht ein Maximum auf 1725 m.ü.M., worauf sie mit zunehmender Meereshöhe wieder abnimmt. Zwischen 1725 m.ü.M. und 2000 m.ü.M. weisen die gekerbten Kistendiagramme eine signifikante Abnahme der Mediane für die Elemente Blei, Kupfer, Zink, Chrom, Nickel und Quecksilber nach.

Zwischen dem Talboden und der Höhenstufe 1725 m.ü.M. liegt eine signifikante Konzentrationsabnahme für Blei, Cadmium, Kupfer, Zink und Quecksilber vor, während die Nickelkonzentration erst auf 2000 m.ü.M. signifikant kleiner ist als im Tal.

Diese Beobachtungen stehen im Einklang mit der Hypothese, dass die Schadstoffe vorwiegend im Emissionsgebiet, d.h. im Talboden abgelagert und in geringerem Umfang in die Höhe verfrachtet werden. Geologische Ursachen können wohl weitgehend ausgeschlossen werden, weil der Untergrund durchwegs aus Hangschutt und Moränenmaterial besteht, das reich an granitischen Gneisen ist.

Der Hang oberhalb Frauenkirch

Am Hang oberhalb Frauenkirch ist keine klare Abnahme der Schwermetallkonzentrationen bei steigender Meereshöhe erkennbar. Immerhin liegen - mit Ausnahme von Blei - alle Mediane am Hang unter jenen des Talbodens. Auffallend sind hohe Messwerte und grosse Streuungen in 1860 und 1990 m.ü.M. für Blei, Cadmium, Zink, Chrom, Nickel und Quecksilber.

Für Cadmium, Kupfer, Zink, Chrom und Nickel kann eine (bei Cadmium und Kupfer signifikante) Konzentrationsabnahme zwischen 1580 m.ü.M. und 1720 m.ü.M. festgestellt werden und beim Zink, Chrom und Nickel nehmen die Werte bis auf 1860 m.ü.M. noch weiterhin ab. Andererseits verzeichnen Blei, Cadmium, Kupfer und Quecksilber eine Konzentrationserhöhung von 1720 m.ü.M. auf 1860 m.ü.M. und bei Zink, Chrom und Nickel ist eine Zunahme von 1860 m.ü.M. auf 1990 m.ü.M. festzustellen.

4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

Bündner Rheintal

1. Im Bündner Rheintal ist die Belastung der Böden durch Blei, Cadmium, Zink, Nickel und Quecksilber mit jener der ganzen Schweiz vergleichbar. Kupfer weist hingegen höhere, Chrom tiefere Konzentrationen auf als der schweizerische Durchschnitt.
2. Das Gebiet zwischen Domat/Ems und Chur ist generell etwas stärker belastet als das Gebiet zwischen Chur und Landquart. Für die Unterschiede kommen eher anthropogene Ursachen in Frage als geogene.
3. Im Raume Chur wurde eine erhöhte Bleibelastung festgestellt. Vermutet wird eine anthropogene Ursache.
4. Die erhöhten Chrom- und Nickelwerte in Chur sind mit grosser Wahrscheinlichkeit geogen bedingt.

Spezialuntersuchungen

1. Im Vergleich mit den untersuchten Fruchtfolgeflächen, Grünanlagen und den in der Umgebung des Krematoriums liegenden Dauerwiesen weisen die Hobbygärten hohe Schwermetallbelastungen auf. Die Bewirtschaftung erhöht die Bodenbelastung aufgrund der vorliegenden Untersuchung durchschnittlich um einen Faktor zwei.
2. Die Grünanlagen in Chur und den umliegenden Gemeinden sind nicht viel stärker belastet als die Fruchtfolgeflächen im Bündner Rheintal, die als regionale Hintergrundwerte betrachtet werden können.
3. Bezüglich der Schwermetallgehalte der Böden unterscheiden sich die Grünanlagen der Stadt Chur nicht von jenen der kleineren Gemeinden. Ausnahmen bilden Nickel und Chrom, deren Konzentrationen in Chur geogen bedingt erhöht sind.
4. Tendenziell sind die Grünanlagen in Chur stärker mit Quecksilber belastet als diejenigen zwischen Landquart und Trimmis.
5. Ein gesamtschweizerischer Vergleich zeigt, dass die Bleiwerte in den Churer Hobbygärten in derselben Grössenordnung liegen wie in anderen Schweizer Städten, jedoch deutlich tiefer als in Zürich, Basel und Aarau. Die Zink-, Cadmium- und Kupferwerte sind verhältnismässig hoch.
6. Es konnte in Chur kein direkter Einfluss der Quecksilberemissionen aus dem Krematorium auf die Böden in der näheren Umgebung nachgewiesen werden.

Davos

1. Im Vergleich mit dem schweizerischen Durchschnitt ist die Region Davos schwach belastet. Einzig bei Zink weist Davos höhere Werte auf als die Schweiz.
2. Trotz geringer Durchschnittswerte weist die Region Davos im Talboden zahlreiche, teilweise erhebliche Richtwertüberschreitungen auf. Deren Ursachen sind für die Elemente Blei, Cadmium, Kupfer, Zink und Quecksilber mit grosser Wahrscheinlichkeit anthropogen, für Chrom und Nickel mit Sicherheit geogen bedingt.
3. Der Talboden ist stärker belastet als die Hänge. Am Hang bei Davos nehmen die Konzentrationen aller Schwermetalle ausser Cadmium mit steigender Meereshöhe ab.
4. Für alle Elemente ausser Quecksilber sind die Bodenbelastungen im oberen Talabschnitt, dem Hauptemissionsgebiet, tendenziell höher als im unteren Talabschnitt.

Ausblick

Bodenuntersuchungen haben langfristigen Charakter. Erst bei Wiederholungen nach einigen Jahren lassen sich klare Trends erkennen. Der Bericht befasst sich hauptsächlich mit dem Ist-Zustand. Über Ursachen liegen Vermutungen vor.

Die Erstellung einer Bindungsstärkenkarte für die einzelnen Schwermetalle aufgrund der analysierten Bodenkennwerte Humus, Tongehalt, und pH kann mit Hilfe von stereoskopischen Luftaufnahmen zur Ausscheidung einzelner Polygone erfolgen. Zur Überprüfung müsste in Einzelfällen eine Feldbegehung durchgeführt werden. Damit würde eine Nutzungskarte als wichtiges Instrument für den Grundwasserschutz mit relativ bescheidenem finanziellem Aufwand geschaffen. Eventuell liesse sie sich auch für die Ausscheidung ökologischer Ausgleichsflächen im Bündner Rheintal verwenden.

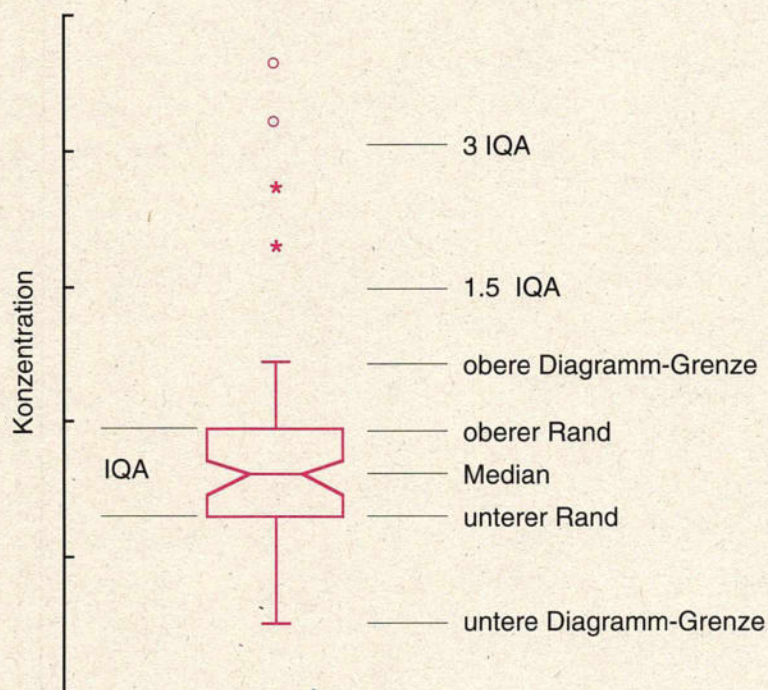
Zur näheren Abklärung der Ursachen der vorgefundenen erhöhten Schadstoffgehalte im Boden sind weitere Spezialuntersuchungen durchzuführen:

- Was ist die Ursache für die erhöhten Bleiwerte bei Chur? In Frage kommen der Waffenplatzbetrieb oder Fahrzeugabgase.
- Welches sind die Ursachen der erhöhten Schadstoffkonzentrationen zwischen Chur und Domat/Ems? Erste Hinweise können Umfragen über Bewirtschaftungsmethoden in der Vergangenheit, insbesondere über die Verwendung von Klärschlamm und kupferhaltigen Pestiziden, ergeben.
- Was ist die Ursache für erhöhte Schadstoffgehalte im Boden von Kinderspielplätzen? Sind Auswirkungen auf spielende Kinder zu befürchten?
- Wie kann man der erhöhten Belastung von Hausgärten begegnen? Es wäre interessant bei gut dokumentierten Hausgärten mit Rasenflächen und Gemüsebeeten sowie bei Hobbygärten, die hinsichtlich Bewirtschaftung und Luftimmissionen vergleichbar sind, die Bodenbelastung nachzuprüfen. Der Kompost in einem Hausgarten setzt sich nicht nur aus Gemüseabfällen, sondern auch aus Rasenschnitt und Laub zusammen, was zu einer schnelleren Aufkonzentrierung von Schadstoffen führen müsste.
- Wie wird sich der Rückgang der Klärschlammverwertung auswirken?
- Welches sind die Ursachen der zahlreichen Richtwertüberschreitungen im Talboden von Davos? Auch hier können Umfragen über Bewirtschaftungsmethoden, Deponien und Aufschüttungen mit Fremdmaterial Erklärungen liefern, bevor neue Beprobungen vorgenommen werden.
- Lässt sich die Vermutung einer distanz- und höhenabhängigen Verteilung von Schwermetallen in Davos durch eine zusätzliche, dichtere Beprobung erhärten?
- Welches sind die Ursachen für die in einigen stark vernässten Böden an den Hängen vorgefundenen erhöhten Schwermetallgehalte?

Aus der vorliegenden Untersuchung lassen sich somit dank der breit abgestützten Hintergrundwerte von Schwermetallen im Boden die konkreten Fragestellungen bearbeiten, welche dann zu den geeigneten Massnahmen zur Erhaltung, allenfalls zur Verbesserung der Bodenqualität führen. Die Komplexität der Bodenbelastung zeigt sich im breiten Spektrum möglicher Bewirtschaftungs- und Nutzungseinflüsse.

ANHANG

Interpretation eines Kistendiagramms



Obere Diagramm-Grenze	bezeichnet den grössten Einzelwert, der näher beim oberen Rand liegt als der 1.5-fache Interquartilabstand.
Median	Zentralwert, mittlerer Wert einer nach Grösse geordneten Stichprobe.
IQA Interquartilabstand:	Darin sind 50 % der Werte um den Median enthalten, 25 % über und 25 % unter dem Median.
1.5 IQA	1.5-facher Interquartilabstand.
3 IQA	3-facher Interquartilabstand. Werte zwischen dem 1.5-fachen IQA und dem 3-fachen IQA sind als Ausreisser definiert (Sterne). Werte über dem 3-fachen IQA sind als krasse Ausreisser definiert (Kreise).
Kerbe	Die Kerbe gibt den Streubereich des Medians an. Wenn sich die Kerben um den Median beim Vergleich zweier Kistendiagramme nicht überschneiden, kann mit 5 % Fehlerwahrscheinlichkeit angenommen werden, dass sich die Mediane unterscheiden.