



Amt für Umwelt Graubünden  
Ufficio per l'ambiente dei Grigioni  
Uffizi per l'ambient dal Grischun

AfU  
UPA



# **Langfristiges Bodenüberwachungsnetz des Kantons Graubünden**

Berichterstattung für die 2. Beprobung 1995 - 1997

November 1999

**Herausgeber:**

- ♦ Amt für Umwelt Graubünden

**Projektleitung:**

- ♦ Gianfranco Tognina, Amt für Umwelt Graubünden

**Auswertungen:**

- ♦ Amt für Umwelt Graubünden
- ♦ BABU GmbH, Zürich, Dr. U. Hoins und Dr. R. Meuli

**Probenahme/Analytik:**

- ♦ Amt für Umwelt Graubünden
- ♦ Sulzer INNOTEC AG, Winterthur

**Italienische Übersetzung (Kurzfassung):**

- ♦ Standeskanzlei Graubünden

**Romanische Übersetzung (Kurzfassung):**

- ♦ Standeskanzlei Graubünden

**Gestaltung:**

- ♦ BABU GmbH, Zürich
- ♦ Emilia Lanfranchi, Amt für Umwelt Graubünden

**Titelbild:**

- ♦ Amt für Umwelt Graubünden

**Druck:**

- ♦ Staudacher AG, Digital-/Offsetdruck, Chur

**Bezugsadresse:**

Amt für Umwelt Graubünden  
Gürtelstrasse 89  
7001 Chur

Tel. 081 257 29 46 / Fax 081 257 21 54

E-Mail: [info@afu.gr.ch](mailto:info@afu.gr.ch) / Internet: <http://afu.gr.ch>

<b>Inhaltsverzeichnis</b>	<b>I</b>
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	III
Glossar	IV
Abkürzungen	VI
<b>Kurzfassung</b>	<b>VII</b>
<b>Riassunto</b>	<b>VIII</b>
<b>Versiun curta</b>	<b>IX</b>
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung	1
1.2 Rechtsgrundlage	1
1.3 Zielsetzungen LBN GR	2
1.4 Ausgangslage und Zielsetzungen für den vorliegenden Bericht	2
<b>2. Grundlagen</b>	<b>3</b>
2.1 Konzept Dauerüberwachungsstandorte (DUS)	3
2.2 Charakterisierung der Regionalen und Immissions-Dauerüberwachungsstandorte	6
2.3 Datengrundlage und wichtigste Ergebnisse der Erstbeprobung	7
2.4 Datengrundlage der Zweitbeprobung	8
2.5 Überblick über die durchgeführten Auswertungen	8
<b>3. Ergebnisse der Zweitbeprobung-Vergleich mit der Erstbeprobung</b>	<b>9</b>
3.1 Beurteilungskriterien	9
3.2 Schwermetalle und Fluor	9
3.2.1 Totalgehalte der Zweitbeprobung	9
3.2.2 Lösliche Gehalte der Zweitbeprobung	10
3.2.3 Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung	12



3.3	Absolutgehalt (GLA-Aufschluss)	18
3.3.1	Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung	18
3.4	Schwermetallgehalte in Bezug auf geologische/petrographische Informationen	21
3.5.	Bodenkennwerte	21
3.5.1	Bedeutung für das Bodenüberwachungsprogramm	21
3.5.2	Ergebnisse der Zweitbeprobung	22
3.5.3	Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung	23
3.6	Filterfunktion	26
3.6.1	Bedeutung für den Boden	26
3.6.2	Ergebnisse der Zweitbeprobung	26
3.6.3	Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung	27
3.7	Belastungspotential und Risikogruppe	29
3.7.1	Erläuterung der Methode	29
3.7.2	Ergebnisse der Zweitbeprobung	31
3.7.3	Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung	32
<b>4.</b>	<b>Folgerungen</b>	<b>34</b>
<b>5.</b>	<b>Ausblick</b>	<b>37</b>
<b>6.</b>	<b>Publikationen</b>	<b>37</b>

## Anhänge

- Anhang 1 Steckbriefe der 45 Regionalen- und 5 Immissions-Dauerüberwachungsstandorte, R-DUS und I-DUS
- Anhang 2 Schwermetall- und Fluortotalgehalte der Zweitbeprobung
- Anhang 3 Lösliche Gehalte der Schwermetalle und Fluor in der Zweitbeprobung
- Anhang 4 Erst- und Zweitbeprobung im Vergleich, relative Änderungen der totalen und löslichen Elementgehalte
- Anhang 5 Absolutgehalte der Schwermetalle in der Zweitbeprobung
- Anhang 6 Bodenkennwerte der Zweitbeprobung



## Abbildungsverzeichnis

<b>Abb. 2.1:</b>	Wahl der Dauerüberwachungsstandorte	3
<b>Abb. 2.2:</b>	Lage der Standorte im "Langfristigen Bodenüberwachungsnetz Graubünden"	4
<b>Abb. 2.3:</b>	Arbeitsablauf und Messprogramm im LBN Graubünden	5
<b>Abb. 3.1:</b>	Streuungsdiagramm Totalgehalte für Zink und Fluor LBN GR I vs. LBN GR II	12
<b>Abb. 3.2:</b>	Veränderungen der Total- und löslichen Gehalte zwischen Erst- und Zweitbeprobung nach Nutzung	14
<b>Abb. 3.3:</b>	Streuungsdiagramm lösliche Gehalte Zink und Fluor LBN GR I vs. LBN GR II	16
<b>Abb. 3.4:</b>	Streuungsdiagramm Absolutgehalt LBN GR I vs. LBN GR II für Cadmium, Vanadium, Blei und Kupfer	19
<b>Abb. 3.5:</b>	Absolutgehalt der Elemente nach geologischer/petrographischer Herkunft der Ausgangsgesteine	21
<b>Abb. 3.6:</b>	Relative Bindungsstärke (FSM) für Cadmium eingeteilt nach Höhenstufe	26
<b>Abb. 3.7:</b>	Veränderungen der relativen Bindungsstärke (FSM) für Cadmium	27
<b>Abb. 3.8:</b>	Belastungsrisikogruppe der Dauerüberwachungsstandorte im LBN Graubünden	31
<b>Abb. 3.9:</b>	Standorte des LBN Graubünden mit Richtwertüberschreitungen gemäss VBBo	35

## Tabellenverzeichnis

<b>Tab. 3.1:</b>	Totalgehalte der Schwermetalle und Fluor, Standorte mit Richtwertüberschreitungen nach VBBo	10
<b>Tab. 3.2:</b>	Lösliche Schwermetall- und Fluorgehalte, Standorte mit Richtwertüberschreitungen nach VBBo	11
<b>Tab. 3.3:</b>	Standorte mit Richtwertüberschreitungen in der Erst- bzw. der Zweitbeprobung im Totalgehalt	13
<b>Tab. 3.4:</b>	Erst- und Zweitbeprobung im Vergleich. t-Test auf Signifikanz der Veränderungen für die totalen und löslichen Elementgehalte	15
<b>Tab. 3.5:</b>	Standorte mit Richtwertüberschreitungen in der Erst- bzw. der Zweitbeprobung für Schwermetalle im löslichen Gehalt	17
<b>Tab. 3.6:</b>	Zweit- und Erstbeprobung im Vergleich. t-Test auf Signifikanz der Veränderungen für die Absolutgehalte	20
<b>Tab. 3.7:</b>	Statistische Parameter chemischer und physikalischer Bodenkennwerte	22
<b>Tab. 3.8:</b>	Absolute Veränderungen der Bodenkennwerte zwischen Erst- und Zweitbeprobung	23
<b>Tab. 3.9:</b>	Veränderungen der Bodenkennwerte zwischen Erst- und Zweitbeprobung. t-Test auf Signifikanz	25
<b>Tab. 3.10:</b>	Relative Bindungsstärke (FSM) für Schwermetalle im Oberboden	28
<b>Tab. 3.11:</b>	Belastungspotential und Risikogruppen am Beispiel von Cadmium	33

## Glossar

Die folgenden Definitionen sind zum Teil vereinfacht, für wissenschaftliche Definitionen sei auf die entsprechende Literatur (Referenzen [5], [6], [7] und [9]) verwiesen.

<b>Basisches Gestein</b>	Erstarrungsgestein mit einem Quarzanteil zwischen 45 % und 55 %.
<b>Belastungspotential</b>	Vom aktuellen Schadstoffgehalt eines Bodens ausgehend die Möglichkeit auf andere Teile des Systems (z.B. Mensch, Grundwasser) belastend einzuwirken.
<b>Belastungsrisiko</b>	Die Möglichkeit durch ein vorhandenes <b>Belastungspotential</b> Schaden zu erleiden.
<b>Boden</b>	Oberste, unversiegelte Erdschicht, in der Pflanzen wachsen können. (USG, Art. 7)
<b>Bodenart</b>	Einteilung des Bodens aufgrund des Sand-, Schluff- und Tonanteils in einem Dreiecksdiagramm zwecks Charakterisierung der vorherrschenden Korngrössenfraktion.
<b>Bodenfruchtbarkeit</b>	Der Boden gilt als fruchtbar, wenn: <ul style="list-style-type: none"> <li>a. er eine für seinen Standort typische artenreiche, biologisch aktive Lebensgemeinschaft und typische Bodenstruktur sowie eine ungestörte Abbaufähigkeit aufweist;</li> <li>b. natürliche und vom Menschen beeinflusste Pflanzen und Pflanzengesellschaften ungestört wachsen und sich entwickeln können und ihre charakteristischen Eigenschaften nicht beeinträchtigt werden;</li> <li>c. die pflanzlichen Erzeugnisse eine gute Qualität aufweisen und die Gesundheit von Menschen und Tieren nicht gefährden;</li> <li>d. Menschen und Tiere, die ihn direkt aufnehmen, nicht gefährdet werden (<b>VBBö</b> Art. 2).</li> </ul>
<b>Bodenhorizont</b>	Bodenhorizonte sind "Schichten" eines <b>Bodenprofils</b> , welche sich im Laufe der Zeit unter dem Einfluss des Klimas, der Lebewesen (Vegetation und Tiere/Menschen) und des Reliefs aus dem <b>Muttergestein</b> durch <b>Verwitterung</b> gebildet haben.
<b>Bodenkenngrössen</b>	Physische, also messbare Grössen, welche den Bodenzustand bzw. Bodenfunktionen charakterisieren.
<b>Bodenversauerung</b>	Prozess der Konzentrationszunahme der freien Wasserstoffionen (Protonen) im Boden; (Abnahme des <b>pH-Wertes</b> im Boden).
<b>Bodenprofil</b>	Die Abfolge verschiedener <b>Bodenhorizonte</b> von der Oberfläche bis zum unverwitterten Gestein wird als Bodenprofil bezeichnet. (Wird auch für die Beschreibung der Horizontabfolge einer bodenkundlich aufbereiteten Grubenwand verwendet.)
<b>Braunerde</b>	Bodentyp, mit ausgeglichenem Wasserhaushalt, der Oberboden ist entkarbonatisiert, der Mittelboden verwittert; durch Freisetzung von Eisen entsteht eine charakteristische braune Färbung (Verbraunung).
<b>Braunerde-Gley</b>	Bodentyp; im Gegensatz zur Braunerde ist eine periodische Sättigung des unteren Teils des Profils durch eindringendes Grund- oder Hangwasser vorhanden.
<b>Braunpodzol</b>	Bodentyp; bei stark saurer Reaktion und einer humosen Auflage entstehen Eisen- und Aluminium-Humate, die jedoch im Gegensatz zum <b>Eisenpodzol</b> noch nicht verlagert werden. Ein Auswaschungshorizont ist nur angedeutet oder fehlt. Typisch ist ein ausgeprägter Ah- oder O-Horizont und ein Bfe-Horizont von rostbrauner Farbe.
<b>Bündnerschiefer</b>	Kalkig-tonige Sedimente, die vor ca. 95-195 Mio. Jahren abgelagert wurden. Infolge späterer Umwandlungen sind es heute vorwiegend Kalk-, Ton-, Glimmer- oder Kalkglimmerschiefer.
<b>Eisenpodzol</b>	(= Podzol) Bodentyp, das Profil zeigt eine auffällige, abrupte Horizontierung: O-, Ah-, E-, lfe, BC, C-Horizont. Besonders der hellgraue bis weissliche E-Horizont kennzeichnet das Profil. Das färbende Eisenoxid ist vollständig aus dem Auswaschungshorizont entfernt worden und im darunterliegenden Anreicherungshorizont angereichert. Dadurch erhält der letztere Horizont nicht nur seine rostbraune Farbe, sondern auch Porenfüllungen und Krusten aus Eisenoxidhydraten.
<b>GLA-Aufschluss</b>	Druckaufschluss unter Verwendung von Perchlor-, Fluss- und Salpetersäure. Es erfolgt dabei eine vollständige Zerstörung sämtlicher Mineralphasen und organischen Bestandteile im Boden. Dadurch wird der Absolutgehalt der Elementkonzentration erfasst. (GLA = Bayerisches Geologisches Landesamt)
<b>Humus</b>	Die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Bodensubstanz, welche aus mehr oder weniger zersetzten, umgewandelten und neugebildeten Stoffen pflanzlicher und tierischer Herkunft besteht.
<b>Kalkbraunerde</b>	Bodentyp, im Gegensatz zur <b>Braunerde</b> profilumfassend karbonathaltig.



<b>Karbonat</b>	Karbonate sind die Salze der Kohlensäure ( $\text{H}_2\text{CO}_3$ ). Von Bedeutung in Böden sind z.B. Calciumkarbonat (Kalk) und Magnesiumkarbonat (CaMg-Dolomit), Siderit ( $\text{FeCO}_3$ ).
<b>Kolluvium</b>	Gesteinsverband, der durch Abgleiten oder Kriechen von Erdmassen entsteht. Dieser ist locker, unsortiert und nicht selten im Einflussbereich von Hangwasser stehend.
<b>Körnung (Textur)</b>	Grösse der Bodenteilchen. Es werden folgende Hauptkorngrössenfraktionen unterschieden: Skelett ( $> 2 \text{ mm}$ ), Sand ( $< 2 \text{ mm}$ , $> 0.05 \text{ mm}$ ), Schluff ( $< 0.05 \text{ mm}$ , $> 0.002 \text{ mm}$ ), Ton ( $< 0.002 \text{ mm}$ ).
<b>Lösliche SM-Gehalte</b>	Gelöste und leicht nachlieferbare Schwermetallanteile eines Bodens, die mit einer Neutralsalzlösung (0.1 molare $\text{NaNO}_3$ -Lösung) erfasst werden.
<b>Muttergestein</b>	Ausgangsgestein, aus dem durch Bodenbildungsprozesse der eigentliche Boden entsteht, z.B. Moräne, Molasse, Kalkstein, Sandstein, ...
<b>Moder</b>	Humusform, die durch Vermoderungsprozesse dominiert wird. Neben stark zersetzten Pflanzenresten ist eine dünne Streuauflage vorhanden.
<b>Oberboden</b>	Als O. wird üblicherweise der oberste mineralische <b>Bodenhorizont</b> bezeichnet, welcher durch Humusanreicherung geprägt ist.
<b>Oxid</b>	Verwitterungsprodukt, das im gemässigten Klima gemeinsam mit <b>Tonmineralen</b> gebildet wird.
<b>Pelit</b>	Ton- bzw. glimmerreiches Sediment, Sedimentgestein und metamorphes Sedimentgestein; Korndurchmesser $< 0.02 \text{ mm}$ .
<b>Pflanzennutzbare Gründigkeit</b>	Teil des Bodens, der durch Pflanzenwurzeln eingenommen werden kann. Es werden folgende Stufen unterschieden: Extrem tiefgründig $> 150 \text{ cm}$ , sehr tiefgründig 100-150 cm, tiefgründig 70-100 cm, mässig tiefgründig 50-70 cm, ziemlich flachgründig 30-50 cm, flachgründig 10-30 cm und sehr flachgründig $< 10 \text{ cm}$ .
<b>Phaeozem</b>	Bodentyp, mit mächtigem humosem Oberboden, der eine schwärzliche bis dunkelgraue Färbung aufweist.
<b>pH-Wert</b>	Ausdruck für die Konzentration ( $-\log \text{ Mol}$ ) an freien Wasserstoffionen (Protonen) im Boden bzw. im Bodenwasser. Mass für den <b>Säuregrad</b> .
<b>Pufferkapazität</b>	Mass eines Bodens für die Neutralisationsfähigkeit von Säuren (Protonen) und Basen.
<b>Puffersubstanzen</b>	Mineralische und organische Substanzen des Bodens, welche durch die Aufnahme von anfallenden Protonen den <b>pH-Wert</b> stabilisieren: Kalk, Silikate, Aluminium- und Eisenoxide, <b>Humus</b> , OH-Ionen.
<b>Prüfwert</b>	Grenze für <b>Schadstoff</b> gehalt, bei Überschreitung prüft der Kanton, ob die Belastung des Bodens Menschen, Tiere oder Pflanzen konkret gefährdet (vgl. <b>VBBö</b> Art. 9).
<b>Regosol</b>	Bodentyp, der eine bedeutende Menge von Sekundärmineralien (Tone, Oxide) aufweist, die zu BC- oder B-Horizonten führen. Das <b>Bodenprofil</b> ist jedoch wenig differenziert und nur schwach horizontiert.
<b>Richtwerte</b>	Toleranzgrenze für <b>Schadstoffe</b> , bei Überschreitung besteht die Gefahr einer Beeinträchtigung der Gesundheit bzw. der <b>Bodenfruchtbarkeit</b> (vgl. <b>VBBö</b> Art. 8).
<b>Rohhumus</b>	Humusform, bei der sich aufgrund der fehlenden bzw. stark eingeschränkten biologischen Aktivität schwer umsetzbare Vegetationsrückstände bilden. Rohhumus bildet sich insbesondere bei extrem nährstoffarmen Böden unter einer Vegetationsdecke, die schwer abbaubare und nährstoffarme Streu liefert, wie z.B. Fichten und Föhren. Zusätzlich begünstigt wird die Rohhumusbildung durch ein kühlfeuchtes Klima.
<b>Sanierungswert</b>	Grenze für <b>Schadstoff</b> gehalt, bei Überschreitung verbietet der Kanton die davon betroffenen Nutzungen (vgl. <b>VBBö</b> Art. 10).
<b>Saure Braunerde</b>	Bodentyp; im Gegensatz zur Braunerde ist auch im Mittelboden eine stark saure Reaktion vorhanden.
<b>Säuregrade</b>	Einstufung der <b>pH-Werte</b> (gemessen in $\text{CaCl}_2$ ) von Böden: alkalisch $> 6.7$ ; neutral 6.2-6.7; schwach sauer 5.1-6.1; sauer 4.3-5.0; stark sauer 3.3-4.2; sehr stark sauer $< 3.3$ .
<b>Schadstoffe</b>	Natürliche oder künstliche Stoffe, welche die <b>Bodenfruchtbarkeit</b> beeinträchtigen können (Schwermetalle, Fluor, organische Schadstoffe, etc.).
<b>Schwermetall-Absolutgehalt</b>	Im Gegensatz zu den <b>Schwermetall-Totalgehalten</b> bezeichnen die Absolutgehalte Schwermetallkonzentrationen, welche nach vollständiger Zerstörung bzw. Auflösung der Bodenminerale analytisch bestimmt werden ( $\text{HClO}_4/\text{HF}/\text{HNO}_3$ -Aufschluss; vgl. <b>GLA-Aufschluss</b> ).



## Glossar

<b>Schwermetall-Totalgehalt</b>	Bodenextrakt (2 molare Salpetersäure), mit dem je nach Schwermetall und Boden ca. 60-70 % der Schwermetalle aus der Bodenprobe extrahiert werden.
<b>Schwermetalle</b>	Metallische Elemente mit einer Dichte $> 4.6 \text{ g/cm}^3$ : u.a. Blei, Cadmium, Chrom, Cobalt, Eisen, Kupfer, Molybdän, Mangan, Nickel, Quecksilber, Zink; in der <b>VBBo</b> wurden für 8 Schwermetalle <b>Richtwerte</b> festgelegt.
<b>Tonmineral</b>	Wasserstoff-(OH)-haltiges Schichtsilikat, das Einzelpartikel ist dabei fast immer kleiner als 0.002 mm (= Tonfraktion, siehe <b>Körnung</b> ). Die Oberfläche der meisten T. ist mit (negativen) Ladungsstellen versehen, welche den T. die Eigenschaften verleiht, Ionen reversibel zu adsorbieren (Ionentauscher).
<b>Ultrabasisches Gestein</b>	Erstarrungsgestein mit einem Quarzanteil von weniger als 45 %.
<b>Unterboden</b>	Der wenig humose, geringer durchwurzelt und belebte untere Bereich des <b>Bodens</b> , in dem Mineralverwitterung stattfindet und verlagerte Stoffe angereichert werden. Der U. ist eingebettet zwischen <b>Oberboden</b> und Untergrund.
<b>VBBo</b>	Verordnung über Belastungen des Bodens vom 1. Juli 1998 (SR 814.12).
<b>VSBo</b>	Verordnung über Schadstoffe im Boden vom 9. Juni 1986 (SR 814.12), durch die <b>VBBo</b> abgelöst.
<b>Versauerung</b>	siehe <b>Bodenversauerung</b> .
<b>Verwitterung</b>	Vom Klima abhängige physikalische und chemische Prozesse, welche unter Beteiligung von Lebewesen eine Aufbereitung, Veränderung, Zerstörung und Umwandlung von Gesteinen und Mineralien bewirken.

**Abkürzungen**

<b>LBN GR</b>	Langfristiges Bodenüberwachungsnetz Graubünden
<b>I-DUS</b>	Immissions-Dauerüberwachungsstandorte
<b>R-DUS</b>	Regionale-Dauerüberwachungsstandorte
<b>V-DUS</b>	Variations-Dauerüberwachungsstandorte
<b>SM</b>	Schwermetalle
<b>FSM</b>	Relative Bindungsstärke für Schwermetalle

## Kurzfassung

Mit dem vorliegenden Bericht liegen erstmals im "Langfristigen Bodenüberwachungsnetz des Kantons Graubünden" vergleichende Auswertungen an den Dauerüberwachungsstandorten vor. Die Resultate der Erstbeprobung aus den Jahren 1990 bis 1994 und der Zweitbeprobung (1995-1998) bilden die Grundlage des kantonalen Bodenmonitoringprogrammes.

Zwischen den beiden Probenahmekampagnen wurde die Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo) durch die Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBö) abgelöst. Damit wurden zum Teil bestehende Richtwerte neu festgelegt oder aufgehoben. Als Folge davon müssen die Beurteilungen beider Erhebungen angepasst werden.

Im **Schwermetall-Totalgehalt** weisen bei der Erstbeprobung 25 der 45 Regionalen Dauerüberwachungsstandorte (56 %), in der Zweitbeprobung 22 Standorte (49 %) Richtwertüberschreitungen auf. Am weitaus häufigsten sind die Richtwerte von Fluor, Chrom und Nickel überschritten. Aufgrund der Ausgangsgesteine sind es die hohen geogenen Gehalte, die zu den Richtwertüberschreitungen bei diesen Schwermetallen führen. Durch Industrie, Verkehr und Landwirtschaft gelangen ebenfalls potentielle Schadstoffe in den Boden. So müssen zumindest teilweise die Richtwertüberschreitungen von Kupfer, Quecksilber und Blei auf diese Eintragspfade zurückgeführt werden.

Richtwertüberschreitungen im **löslichen Gehalt** sind in der Zweitbeprobung an 15 Standorten für Zink, an 5 Standorten für Nickel und an einem Standort für Kupfer beobachtet worden. Gegenüber der ersten Probenahmekampagne sind insbesondere keine Richtwertüberschreitungen für Cadmium mehr gemessen worden. Dies deutet darauf hin, dass dieses leicht lösliche Schwermetall bereits aus dem Oberboden verlagert wird und weist damit auf die Probleme des eingeschränkten Rückhaltevermögens sowie die erhöhte Mobilität der Schwermetalle hin.

Aufgrund der oft karbonatfreien Ausgangsgesteine weisen viele Standorte im Oberboden **saure Bodenverhältnisse** auf. An 9 der 45 nach regionalen Kriterien ausgewählten Dauerüberwachungsstandorte ist der pH-Wert im Oberboden bereits stark sauer (pH-Werte < 4.2) bis sehr stark sauer (pH-Werte < 3.3). In diese Gruppe fallen insbesondere die Alp- sowie die Waldstandorte.

Diese fortgeschrittene Versauerung des Oberbodens führt dazu, dass die **Filterfunktion** gegenüber Schwermetallen an 22 Überwachungsstandorten zum Teil stark eingeschränkt ist. Wiederum gilt dies insbesondere für Standorte auf Wald- und Alpstufe.

Zur Beurteilung aktueller und zukünftiger Belastungsrisiken durch Schwermetalle wurden 4 **Risikogruppen** definiert. Keine aktuellen Risiken (Risikogruppen I und II) sind auf 28 der total 50 Überwachungsstandorte vorhanden. Aufgrund der fortgeschrittenen Versauerung des Oberbodens ist an 12 Standorten (Risikogruppe III) ein gewisses Risiko bedingt durch die erhöhte Mobilität der Schwermetalle im Oberboden vorhanden. Die 10 Standorte der Risikogruppe IV weisen bereits bis in den Unterboden saure Bodenverhältnisse auf.

Das Ökosystem Boden reagiert im Allgemeinen langsam auf Veränderungen. Aus diesem Grund sind die Veränderungen zwischen Erst- und Zweitbeprobung natürlicherweise eher gering. Da viele dieser laufenden Prozesse jedoch zu irreversiblen Schädigungen des Bodens führen, müssen sie mit der nötigen Aufmerksamkeit überwacht werden.



## Riassunto

Grazie al presente rapporto si dispone per la prima volta nella "Rete d'osservazione del suolo a lunga scadenza del Cantone dei Grigioni" di analisi comparabili dei luoghi di campionamento fissi. I risultati della prima fase di campionamento, che risalgono dal 1990 fino al 1994 e della seconda fase dal 1995 fino al 1998, formano la base del programma cantonale di monitoraggio del suolo.

Tra le due campagne di campionamento l'Ordinanza sulle sostanze nocive nel suolo (O suolo) è stata sostituita dall'Ordinanza sulla contaminazione del suolo (O suolo). I valori indicativi sono quindi in parte stati fissati a nuovo o abrogati. Ne consegue che le valutazioni di entrambi i rilevamenti devono essere adeguate.

Nel **tenore totale di metalli pesanti** nella prima fase di campionamento 25 dei 45 luoghi regionali di campionamento fissi (56 %), nella seconda fase 22 luoghi (49 %) registrano superamenti dei valori indicativi. I valori di gran lunga più frequentemente superati sono quelli del fluoro, cromo e nichel. Sulla base della roccia di base sono gli elevati tenori geogeni la causa del sorpasso del valore indicativo per questi metalli pesanti. L'industria, il traffico e l'agricoltura producono a loro volta potenziali sostanze nocive che vanno a finire nel suolo. Di conseguenza per lo meno in parte i sorpassi dei valori indicativi del rame, mercurio e piombo sono imputabili a detti influssi.

I sorpassi dei valori indicativi nel **tenore solubile** sono stati osservati nella seconda fase di campionamento in 15 luoghi per lo zinco, in 5 luoghi per il nichel e in un luogo per il rame. Rispetto alla prima campagna di campionamento non sono più stati misurati in modo particolare sorpassi dei valori indicativi per il cadmio. Ciò sta a indicare che questo metallo pesante, facilmente solubile, viene già spostato dallo stato superficiale del suolo e rinvia perciò ai problemi della limitata capacità di ritenuta nonché dell'elevata mobilità dei metalli pesanti.

Sulla base della roccia di base sovente priva di carbonati in molte ubicazioni si riscontrano nello stato superficiale del suolo **condizioni di acidità**. In 9 dei 45 luoghi di campionamento fissi, scelti secondo criteri regionali, il valore pH nello stato superficiale del suolo è già da molto (valori pH < 4.2) a moltissimo acido (valori pH < 3.3). In questo gruppo rientrano in modo particolare i luoghi situati nelle zone d'alpeggio e boschive.

Questo stadio di acidità avanzato dello strato superficiale del suolo ha come conseguenza, che la **funzione filtrante** nei confronti dei metalli pesanti è in parte fortemente ridotta in 22 luoghi di campionamento. Ciò vale di nuovo in modo particolare per i luoghi situati nelle zone d'alpeggio e boschive.

Per poter valutare gli attuali e futuri rischi di contaminazione da metalli pesanti sono stati determinati **4 gruppi a rischio**. Nessun rischio attuale (gruppi I e II) è riscontrabile tra 28 dei 50 luoghi di campionamento in totale. Sulla base dell'avanzata acidità dello strato superficiale del suolo in 12 luoghi (gruppo III) persiste un certo rischio dovuto all'incrementata mobilità dei metalli pesanti nello strato superficiale del suolo. I 10 luoghi del gruppo IV presentano una situazione di acidità già fino all'interno del suolo.

Il sistema ecologico del suolo reagisce in generale lentamente ai cambiamenti, ragion per cui le variazioni tra la prima e la seconda fase di campionamento sono naturalmente piuttosto esigue. Siccome molti di questi processi in corso comportano comunque danni irreversibili del suolo, essi devono essere tenuti sotto controllo con la dovuta attenzione.



## Versiun curta

Cun il preschent rapport èn avant maun per l'emprima giada en la "rait da surveglianza a lunga vista dal terren dal chantun Grischun" evaluaziuns cumparegliablas dals lieus permanents da surveglianza. Ils resultats da l'emprima emprova dals onns 1990 fin 1994 e da la segunda emprova (1995-1998) furman la basa dal program chantunal da monitoring dal terren.

Tranter las duas campagnas per prender emprovas è vegnida substituida l'ordinaziun davart substanzas nuschaivlas en il terren tras l'ordinaziun davart contaminaziuns dal terren. Cun questa substituziun èn per part vegnidas fixadas da nov u abolidas las valurs directivas existentas. En consequenza da quai ston vegnir adattads ils giudicaments da las duas retschertgas.

En il **cuntegn total da metals grevs** demussan surpassaments da las valurs directivas, 25 dals 45 lieus regional permanents da surveglianza (56 %) en l'emprima emprova e 22 lieus (49 %) en la segunda emprova. Il pli savens vegnan surpassadas las valurs directivas dal fluor, dal crom e dal nichel. Sin fundament dals minerals da partenza chaschunan ils auts cuntegns geogens ils surpassaments da las valurs directivas per quests metals grevs. Tras l'industria, il trafic e l'agricultura arrivon medemamain materias nuschaivlas potenzialas en il terren. Uschia derivan almain per part ils surpassaments da las valurs directivas da l'arom, da l'argient viv e dal plum or da questas funtaunas.

Surpassaments da las valurs directivas en in **cuntegn dissolvabel** èn vegnidas observadas en la segunda emprova sin 15 lieus per il zinc, sin 5 lieus per il nichel e sin in lieu per l'arom. Envers l'emprima campagna per prender emprovas n'èn spezialmain betg pli vegnids mesurads surpassaments da la valor directiva per il cadmium. Quai signifitga che quest metal levamain dissolvibel è gia vegnì spustà dal terren superiur e mussa via sin ils problems da la retenziun limitada sco er da la gronda mobilitad dals metals grevs.

Sin fundament dals minerals da partenza che na cuntegnan savens nagin carbon demussan blers lieus en il terren superiur **relaziuns da terren aschas**. Sin 9 dals 45 lieus permanents da surveglianza ch'èn vegnids tschernids tenor criteris regional è la valor da pH en il terren superiur gia fitg ascha (valurs pH < 4.2) fin zunt fitg ascha (valurs pH < 3.3). Da questa gruppa fan part spezialmain ils lieus sin las alps sco er en il guaud.

Questa aschentaziun progredida dal terren superiur ha per consequenza che la **funcziun da filtrar** per ils metals grevs è per part fermamain limitada sin 22 lieus da surveglianza. Puspè vala quai spezialmain per lieus sin l'autozza dal guaud u da las alps.

Per giuditgar ils criteris da grevizza actuals e futurs tras metals grevs èn vegnidas definidas 4 **gruppas da ristga**. Naginas da las ristgas actualas (gruppas da ristga I e II) n'existan sin 28 dals total 50 lieus da surveglianza. Sin fundament da l'aschentaziun progredida dal terren superiur datti sin 12 lieus (gruppa da ristga III) ina tscherta ristga chaschunada tras la mobilitad pli gronda dals metals grevs en il terren superiur. Ils 10 lieus da la gruppa da ristga IV demussan gia fin en il terren fundamental relaziuns da terren aschas.

Il sistem ecologic terren reagescha en general plaun sin las midadas. Per quest motiv èn las midadas tranter l'emprima e la segunda emprova natiralmain plitost pitschnas. Perquai che blers da quests process currents chaschunan dentant donnos irreversibels dal terren, ston els vegnir survegliads cun l'attenziun necessaria.

# 1. Einleitung

## 1.1 Problemstellung

Seit dem Rückzug der Gletscher nach der letzten Eiszeit entstand im Zusammenspiel von Luft, Wasser und Lebewesen eine Verwitterungsschicht aus mineralischen und organischen Substanzen, unsere heutigen Böden. In einem Zusammenspiel von Auf-, Um- und Abbauprozessen hat sich über die Zeit ein komplexes, den herrschenden Umweltbedingungen angepasstes System gebildet.

Böden sind Lebensgrundlage für Flora und Fauna. Für die Menschen dienen sie überdies der Nahrungsmittelproduktion und der Erzeugung von pflanzlichen Rohstoffen und Grundlage wertvollen Grüns, das Erholung spendet, Freizeitaktivitäten ermöglicht und damit unserer Gesundheit dient. Auf Grund dieser Funktionen gehören Böden zu den kostbarsten und damit schützenswürdigsten Gütern der Menschheit.

Ausgelöst durch menschliche Aktivitäten hat sich die Freisetzung von Schadstoffen in die Umwelt in den letzten Jahrzehnten gegenüber der vorindustriellen Zeit vervielfacht. Mechanisierungen und Flächenzusammenlegungen in der Landwirtschaft haben überdies dazu geführt, dass heute grössere und schwerere Maschinen im Einsatz stehen als je zuvor. Als Folge davon besteht die Gefahr, dass die Funktionsfähigkeit der Böden beeinträchtigt wird.

Die Gesetzgeber haben die Bedeutung des Bodens als ökologische Existenzgrundlage für Flora und Fauna erkannt und in den letzten Jahren entsprechende Vorschriften zum Schutze des Bodens erlassen.

## 1.2 Rechtsgrundlage

In der Schweiz wird im Umweltschutzgesetz (**USG**) vom 7. Oktober 1983 erstmals der Schutz des Bodens gesetzlich festgelegt. Mit Inkrafttreten der Verordnung über Schadstoffe im Boden (**VSBo**) am 9. Juni 1986 werden für 10 Schwermetalle und Fluor Richtwerte eingeführt. Die Einhaltung dieser Richtwerte soll die langfristige Fruchtbarkeit des Bodens gewährleisten. Die Kantone werden verpflichtet, für eine "eingehende Beobachtung der Schadstoffbelastung" zu sorgen, sofern feststeht oder anzunehmen ist, dass "der Schadstoffgehalt des Bodens über dem natürlichen Gehalt liegt oder dass im Boden vorhandene künstliche Schadstoffe die Bodenfruchtbarkeit gefährden können".

Mit der Revision des USG vom 21. Dezember 1995 wird der Schutz des Bodens auch auf physikalische Belastungen wie Erosion oder Verdichtung ausgeweitet. Am 1. Juli 1998 tritt die an diese neue Rechtslage angepasste Verordnung über Belastungen des Bodens (**VBBo**) in Kraft. Darin werden die Richtwerte der VSBo soweit als nötig den neuen Erkenntnissen angepasst sowie nutzungsorientierte Prüf- und Sanierungswerte festgelegt. Auch werden die Aufgaben für die Kantone neu definiert. Mit Inkrafttreten der VBBo werden die Kantone verpflichtet, die Entwicklungen im Boden zu überwachen.

Im Kanton Graubünden erteilte die Regierung mit Beschluss Nr. 2621 vom 16. Oktober 1989 den Auftrag zur Einrichtung des "Langfristigen Bodenbeobachtungsnetzes<sup>1</sup> des Kantons Graubünden" (LBN GR). Im daraufhin ausgearbeiteten Bodenschutzkonzept ist die Einrichtung von Dauerüberwachungsstandorten (DUS) als eine Massnahme für die Erfüllung der kantonalen Aufgaben konzeptionell umschrieben.

---

<sup>1</sup> seit 1998 Bodenüberwachungsnetz



### 1.3 Zielsetzungen LBN GR

Böden unterscheiden sich gegenüber Wasser und Luft unter anderem dadurch, dass sie auf Veränderungen oft sehr träge reagieren. Diese schleichenden Prozesse können jedoch zu plötzlichen Kippeffekten führen, deren Auswirkungen kaum mehr rückgängig gemacht werden können. Unerwünschte Bodenveränderungen, insbesondere durch Schadstoffe, müssen im Sinne eines vorsorglichen Umweltschutzes frühzeitig erfasst und durch Quellenstopp gebremst werden, damit die Bodenfruchtbarkeit auch langfristig erhalten bleibt. Insbesondere folgende Einzelzielsetzungen sind von Interesse<sup>2</sup>.

- ◆ Überwachung der Schadstoffbelastung – insbesondere bezüglich der Schwermetalle – und der Bodenfruchtbarkeit mit der Zeit (Zeitreihe), d.h. Erfassen von Veränderungen.
- ◆ Abschätzung geogener (gesteinsbürtiger) und anthropogener (Folge menschlicher Aktivitäten) Schadstoffgehalte in Böden.
- ◆ Bereitstellung von Grundlagen zur Erkennung von Gefahrenpotentialen und Risiken sowie das Ergreifen von Massnahmen.
- ◆ Bereitstellung von Vergleichswerten für die Überwachung künftiger grossräumiger Ereignisse.

Bodenüberwachungsnetze liefern die hierfür notwendigen Datengrundlagen und dienen als Frühwarnsystem. Die einzelnen Dauerüberwachungsstandorte bilden darüber hinaus differenzierte Vergleichsgrundlagen zur Beurteilung anderer kantonaler Messungen und Untersuchungen (Referenznetz).

### 1.4 Ausgangslage und Zielsetzungen für den vorliegenden Bericht

Nach dem Vorliegen des kantonalen Bodenschutzkonzeptes wurde die Standortauswahl vorgenommen. Zwischen 1990 und 1992 erfolgte die Erstbeprobung dieser Dauerüberwachungsstandorte. Die Auswertungen sind im Bericht "Langfristiges Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Graubünden – Bericht über die Auswertung der Erstbeprobung 1989-1994" veröffentlicht (Referenz [3] siehe Kap. 2.6). Fünf Jahre nach der Erstbeprobung fand die Zweitbeprobung statt.

Mit Schreiben vom 24. Juni 1999 erteilt das Amt für Umwelt Graubünden der BABU GmbH den Auftrag zur Berichterstattung für die Zweitbeprobung.

Darin werden die Ergebnisse der Zweitbeprobung vorgestellt und diskutiert. Im Weiteren werden die Resultate der Erst- und Zweitbeprobung verglichen. Die daraus resultierenden Erkenntnisse sollen zur Beantwortung folgender Fragen führen:

- ◆ In welchem Masse treten heute Richtwertüberschreitungen auf und was sind die Gründe dafür?
- ◆ Wo lassen sich diese Standorte lokalisieren?
- ◆ In welchem Masse treten Veränderungen des allgemeinen Bodenzustandes auf, die die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigen?
- ◆ Besteht die Möglichkeit das Monitoringprogramm zu optimieren? Welches sind die zukünftigen Prioritäten?

---

<sup>2</sup> Jubiläumsbericht des Amtes für Umwelt 1969-1994



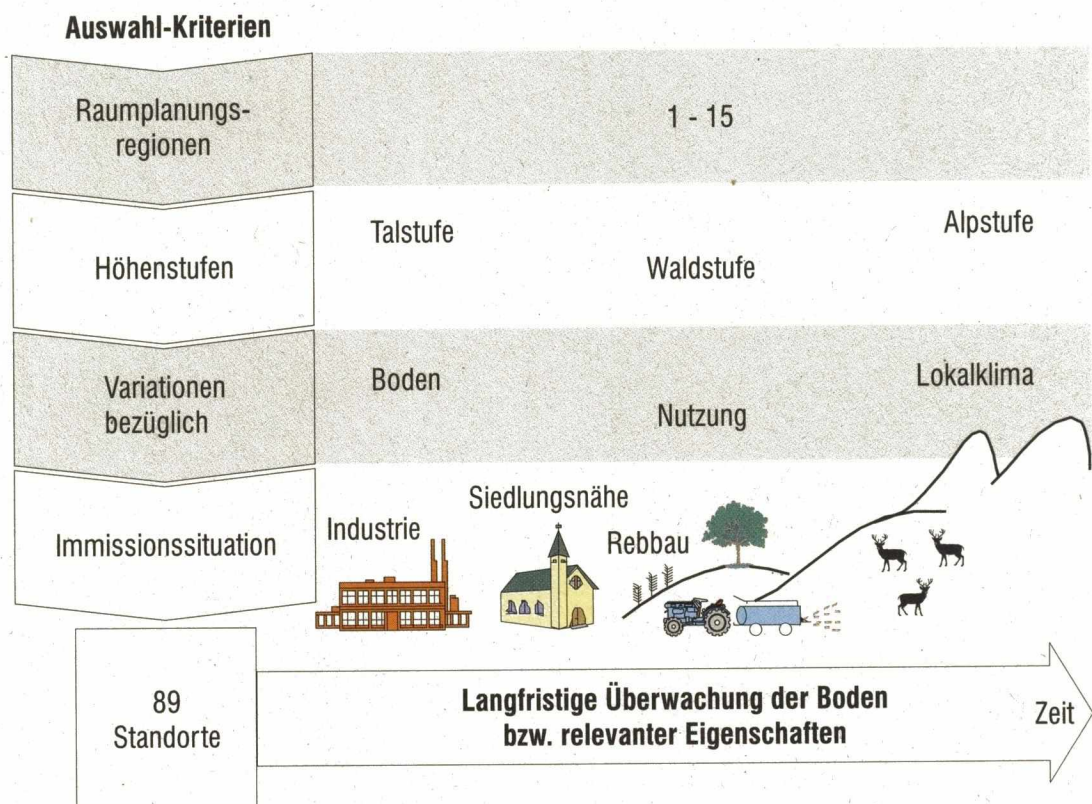
## 2. Grundlagen

### 2.1 Konzept Dauerüberwachungsstandorte (DUS)

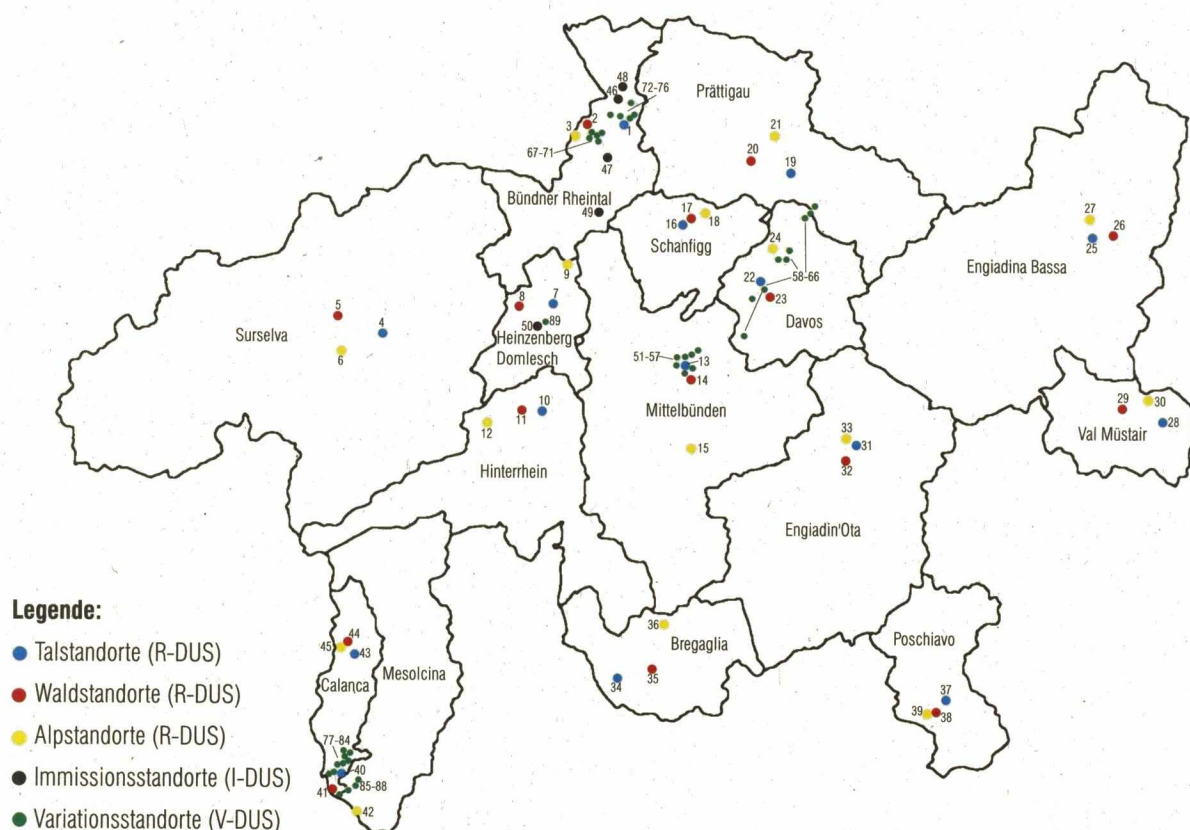
Die Auswahl der Dauerüberwachungsstandorte (Abbildung 2.1) des "Langfristigen Bodenüberwachungsnetzes des Kantons Graubünden" (**LBN GR**) erfolgte in einem ersten Schritt nach den Kantonalen Raumplanungsregionen. In diesen 15 Regionen wurden jeweils 3 Standorte ausgewählt (Standortnummern 1-45). Dabei repräsentieren diese sogenannten Regionalen Dauerüberwachungsstandorte (**R-DUS**) Tal-, Wald- und Alpstandorte. Andererseits dienen 5 zusätzliche DUS der Überwachung von Belastungsgebieten (Standortnummern 46-50). Sie werden als Immissions-Dauerüberwachungsstandorte (**I-DUS**) bezeichnet und wie die R-DUS umfassend bodenkundlich erhoben.

Schliesslich sollen 39 Variations-Dauerüberwachungsstandorte (**V-DUS**) die Variabilität von Böden, Nutzungen und klimatischen Einflüssen in den Regionen Rheintal, Davos, Mittelbünden und Mesolcina abdecken (Standortnummern 51-89). Diese V-DUS sind nicht Bestandteil des vorliegenden Berichtes zur Zweitauswertung.

Die verschiedenen Auswahlkriterien sind in Abbildung 2.1 dargestellt. Die räumliche Verteilung der Dauerüberwachungsstandorte geht aus der Abbildung 2.2 hervor.



**Abb. 2.1:** Wahl der Dauerüberwachungsstandorte nach unterschiedlichen standörtlichen Kriterien.



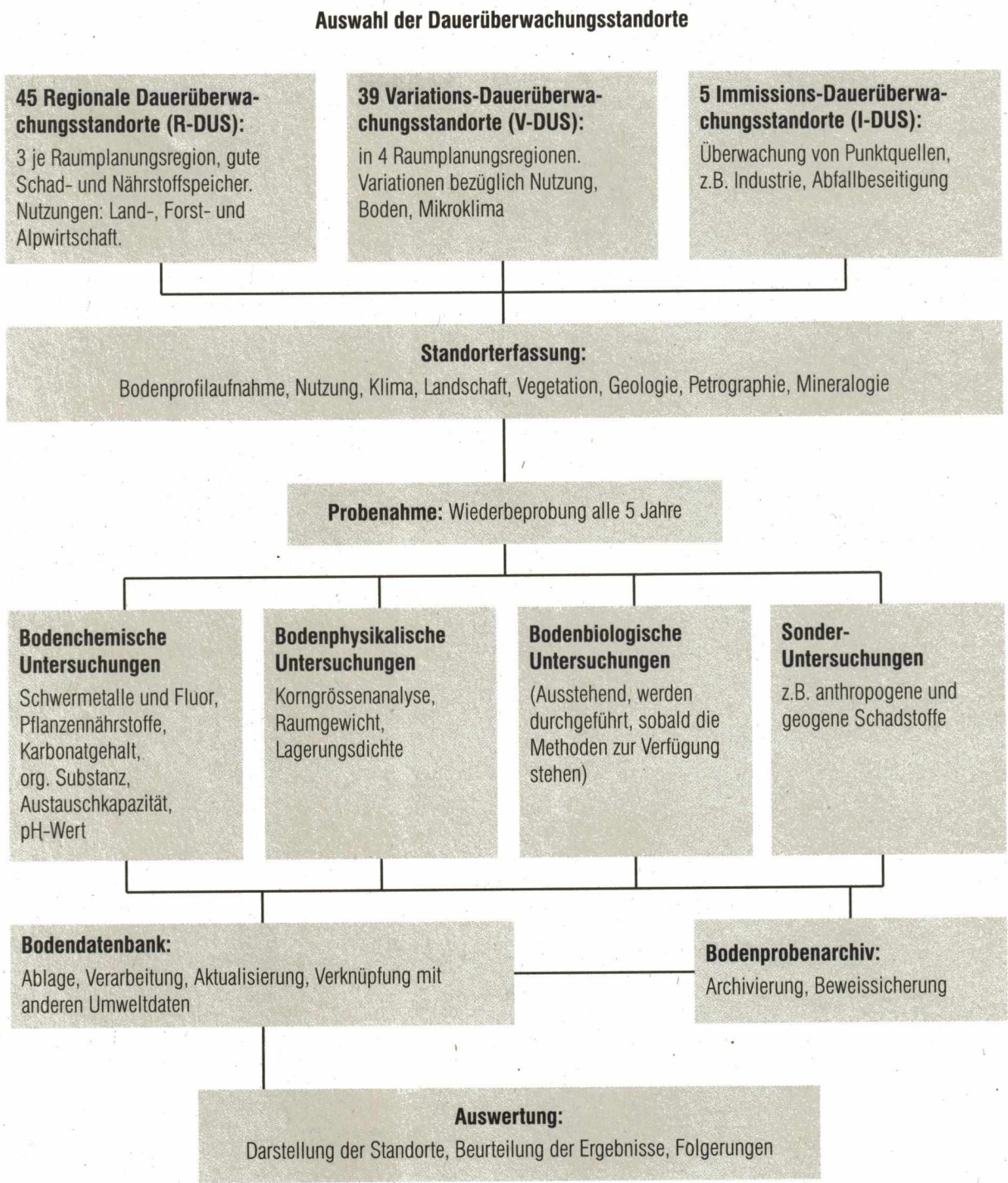
**Abb. 2.2:** Lage der Standorte im "Langfristigen Bodenüberwachungsnetz Graubünden".

## Arbeiten im Feld

Auf jedem Standort wurde eine Beobachtungsfläche (10 mal 10 Meter) eingemessen; auf den R- und I-DUS zusätzlich je eine Bodenprofilgrube geöffnet. Die Profilgruben dienen der feldbodenkundlichen Aufnahme der Bodenprofile sowie der bodenhorizontbezogenen Entnahme von Einzelproben. Darüber hinaus wurden an allen Standorten Mischproben des Oberbodens (0-20 cm) entnommen.

Eine Übersicht der analytisch bestimmten Schadstoffgehalte und Bodenkenngrößen ist in Abbildung 2.3 dargestellt.





**Abb. 2.3:** Arbeitsablauf und Messprogramm im LBN Graubünden.



## 2.2 Charakterisierung der einzelnen Regionalen und Immissions-Dauerüberwachungsstandorte

Für die 45 Regionalen Dauerüberwachungsstandorte und die 5-Immissions-Dauerüberwachungsstandorte sind in Anhang 1 die wichtigsten allgemeinen Kenngrößen wie Planungsregion, Höhenstufe, Gemeindezugehörigkeit und Nutzung sowie Höhenlage in Meter, Landschaftsform, Ausgangsgestein, Bodentyp, Säuregrad und pflanzennutzbare Gründigkeit zusammengestellt.

Zusammenfassend können die **Regionalen Dauerüberwachungsstandorte** wie folgt charakterisiert werden.

### Talstufe

Die Überwachungsstandorte werden mit einer Ausnahme als Naturwiese genutzt. Am Standort 4 wird Ackerbau betrieben.

10 der insgesamt 15 R-DUS liegen in der Nähe von Siedlungen. Diese werden jedoch in 8 Fällen als nicht dicht besiedelt bezeichnet, einzig die Standorte in der Mesolcina (R-DUS 40) und im Bündner Rheintal (R-DUS 1) liegen in der Nähe von dicht besiedelten Gebieten.

Die 15 Standorte erstrecken sich zwischen 270 Meter über Meer in der Mesolcina und 1720 Meter in der Engiadina'Ota. Die vorherrschenden Landschaftsformen sind Schuttkegel (33 %) und Hangterrassen (27 %). An 3 Standorten (Bündner Südtäler) sind die Ausgangsgesteine vorwiegend bis ausschliesslich kristallin (R-DUS 34), an 2 Standorten (Schanfigg und Prättigau) herrschen Kalksteine vor, die übrigen sind auf Mischgestein entstanden. Aufgrund des Ausgangsgesteins sowie der Bewirtschaftung (Düngung) weisen 6 Standorte (43 %) einen alkalischen pH-Wert im Oberboden auf, jeweils 4 Standorte (27 %) sind schwach sauer resp. sauer. Bei den Bodentypen stehen 5 Kalkbraunerden 3 Braunerden resp. Phaeozems gegenüber, daneben sind 2 Fluvisole und je ein Trocken-Regosol und eine saure Braunerde im LBN GR vertreten. Die Böden sind überwiegend mässig tiefgründig<sup>3</sup> (47 %) oder tiefgründig (33 %). Flachgründig ist lediglich der Standort im Val Müstair (R-DUS 28).

### Waldstufe

Die Waldstandorte liegen zwischen 1110 Metern Höhe im Bergell und 1800 Metern in der Region Davos. Aufgrund der Höhenlagen herrschen Fichtenbestände vor. An den beiden auf der Alpensüdseite gelegenen Standorten der Engiadina'Ota und Mesolcina treten nennenswerte Anteile an Lärchen beziehungsweise Föhren auf.

Die ausgewählten Waldstandorte befinden sich ausnahmslos an Hängen bzw. Hangterrassen (6 Standorte). 5 Standorte liegen an Hängen mit Neigungen bis 25 % (Flachhang) und 4 Standorte an Steilhängen bis maximal 40 % Hangneigung. Insgesamt 10 Standorte weisen Moränenmaterial als Ausgangsgestein auf, 4 Böden haben sich aus Hangschutt/Bergsturzmaterial entwickelt und ein Standort befindet sich auf Kalkstein/Dolomit. Neben 5 Braunerden sind je 3 Eisen- resp. Braunpodzole vorhanden. Jeweils mit einem Standort sind die Bodentypen Regosol, saure Braunerde, Phaeozem und Trocken-Rendzina vertreten. Insgesamt weisen 8 Standorte einen stark sauren pH-Wert im Oberboden auf, an 5 Standorten ist er sauer und an 2 Standorten ist der pH-Wert schwach sauer. Die pflanzennutzbare Gründigkeit ist häufig mässig flachgründig (6 Standorte) oder ziemlich flachgründig (5 Standorte). In 3 Fällen ist sie tiefgründig und in einem Fall im Val Müstair (R-DUS 29) flachgründig.

<sup>3</sup> siehe Glossar: Pflanzennutzbare Gründigkeit



## Alpstufe

Die Überwachungsstandorte liegen zwischen 1740 Meter im Mesolcina und 2240 Meter Höhe im Hinterrhein. Insgesamt 5 Standorte befinden sich an flachen Hängen. Die Neigungen variieren zwischen 2 % und 22 %. Jeweils 2 Standorte liegen am Hangfuss, auf einem Schuttkegel oder auf Hangterrassen und je ein Standort liegt in der Ebene bzw. in einem Rutschhang. Vorherrschende Bodentypen sind Braunpodzole (7 Standorte), daneben sind je 3 Vertreter einer Braunerde, Braunerde-Gley und Regosol vorhanden. Jeweils ein Standort weist eine saure Braunerde resp. Phaeozem auf. Bei total 12 Standorten (80 %) ist der Oberboden sauer, daneben sind 2 schwach saure und ein stark saurer Standort vorhanden. Insgesamt 9 Standorte sind mässig tiefgründig, jeweils 3 Standorte sind tiefgründig resp. ziemlich flachgründig.

Die **Immissions-Dauerüberwachungsstandorte** (I-DUS) wurden aufgrund ihrer speziellen Lage im Einflussbereich von bestimmten Emittenten gezielt ausgewählt. Standort 46 befindet sich in Landquart, als Immissionsquelle wirkt in erster Linie die Ziegelei Landquart. Standort 47 liegt im Gebiet von Untervaz und repräsentiert den Einfluss der KVA sowie des Zementwerkes. Die Belastungssituation in einer landwirtschaftlichen Spezialkultur wird mit dem Standort im Rebbauggebiet von Malans (Standort 48) überwacht. Städtische Immissionsverhältnisse werden am Standort 49 erfasst. Der Standort befindet sich im Stadtgarten von Chur. Ebenfalls aus landwirtschaftlichen Überlegungen ist der Standort 50 ausgewählt worden. Der heutige Oberboden entstand zu Beginn der 90er Jahre aufgrund von Auflandungen des Nollakanals. Seither wird an diesem Standort regelmässig Klärschlamm ausgebracht.

Schliesslich sollen 39 **Variations-Dauerüberwachungsstandorte** (V-DUS) die Variabilität von Böden, Nutzungen und klimatischen Einflüssen in den Regionen Rheintal, Davos, Mittelbünden und Mesolcina abdecken.

## 2.3 Datengrundlage und wichtigste Ergebnisse der Erstbeprobung

Die vollständigen Angaben zur Erstbeprobung sind im Bericht über die Auswertung der Erstbeprobung 1989-1994 [3] zusammengefasst. Die folgende Zusammenfassung dient als Lesehilfe.

Auf jedem Standort wurde eine Beobachtungsfläche (10 Quadratmeter) eingemessen; auf den R- und I-DUS zusätzlich je eine Bodenprofilgrube geöffnet. An allen Standorten wurden jeweils 3 Oberboden-Mischproben (0-20 Zentimeter) entnommen sowie die Schwermetallgehalte und die Bodenkennwerte untersucht. Die Profilgruben dienten der feldbodenkundlichen Aufnahme der Bodenprofile sowie der bodenhorizontbezogenen Probenahme und Analytik.

Aufgrund der Auswertungen ist von grossräumigen Schwermetalleinträgen in die Böden des Kantons auszugehen. So sind deutliche anthropogene, d.h. von Menschen verursachte Schwermetallanreicherungen insbesondere für Blei, Cadmium und Zink auf 56 % der Standorte nachweisbar. Einträge der Schwermetalle Cadmium, Kupfer und Zink sind im Zusammenhang mit der landwirtschaftlichen Nutzung zu sehen. Zunehmende Nutzungsintensitäten (Alpweide < Grünland < Ackerbau) sind offenbar mit steigenden Schwermetalleinträgen verbunden. Deutliche Blei- und Quecksilberanreicherungen sind auch auf Waldstandorten nachweisbar. Sie indizieren grossräumige atmosphärische Einträge (Luftverunreinigungen) von Schwermetallen.

Richtwertüberschreitungen für die Schwermetalltotalgehalte wiesen rund 24 % aller Standorte auf. Zur Hälfte sind diese auf hohe Gehalte an Chrom und Nickel im Muttergestein, d.h. dem Ausgangsgestein der Bodenbildung, zurückzuführen (geogen). Dagegen sind Richtwertüberschreitungen für Cadmium, Kupfer und Quecksilber die Folge menschlicher Aktivitäten (anthropogen).

Ein Belastungsrisiko ist besonders auf Wald- und Alpstandorten nicht auszuschliessen. 50 % der Wald- und 60 % der Alpstandorte zeigten Richtwertüberschreitungen der löslichen Gehalte (hohes wirkungsorientiertes Belastungspotential) vor allem des Zinks, aber auch des Nickels, Cadmiums und Kupfers. Auf diesen Standorten ist die Bodenfruchtbarkeit langfristig nicht mehr gewährleistet.



Die umweltgefährdende Mobilität der Schwermetalle ist ursächlich mit der Versauerung vor allem der Wald- und Alpstandorte verbunden. 45 % der Waldstandorte wiesen pH-Werte kleiner als 4.2 auf und sind somit stark sauer. 87 % der Alpstandorte sind sauer ( $\text{pH} < 5.0$ ). Die Versauerung stellt ein Problembereich nicht nur bezüglich der Schwermetallbelastung sondern im Hinblick auf den Bodenzustand insgesamt dar. Bodenkennwerte indizieren z.B. ungünstige Veränderungen des Nährstoffhaushaltes mit zunehmender Versauerung und eine degradierte Filterfunktion. So wiesen ca. 32 % aller Standorte des LBN GR geringe bis sehr geringe Bindungsstärken gegenüber dem relativ mobilen Schwermetall Cadmium auf.

## 2.4 Datengrundlage der Zweitbeprobung

Fünf Jahre nach der Erstbeprobung fand an 45 Regionalen Dauerüberwachungsstandorten (R-DUS) und 5 Immissions-Dauerüberwachungsstandorten (I-DUS) eine Zweitbeprobung des Oberbodens (0-20 cm Tiefe) analog zur Erstbeprobung [3] statt.

Darüber hinaus wurde bei der Zweitbeprobung jeweils eine Streu- und eine Mischprobe der obersten 5 cm des Bodens entnommen. Die analytische Verlässlichkeit wurde mittels Bestimmung von Doppelproben getestet. Die Reproduzierbarkeit der Messungen war für alle geprüften Kennwerte gut.

Datensichtung und Datenkonsolidierung wurden im Rahmen eines internen Expertenberichtes durchgeführt [4]. Diese förderten einen ungewöhnlichen Wert zu Tage, der nach Rücksprache mit dem Analytiklabor aus dem Datensatz entfernt wurde. Eine Ausreisserkontrolle zeigte, dass für verschiedene Elemente solche Werte vorhanden sind. Ohne gesicherte Erkenntnis, dass es sich tatsächlich um Ausreisser handelt, fliessen diese Werte in die Berechnungen ein. Plausibilitätstests schliesslich legen unplausible Werte zu Tage wie z.B. Basensättigungen über 100 %. Solche Werte sind auf unsachgemässe Anwendung der Methode zurückzuführen, da bei kalkhaltigen Proben auf eine Ermittlung der Basensättigung verzichtet werden kann.

Sehr geringe Gehalte führen im Labor zu Problemen bei der Bestimmung. So lag insbesondere für die Bestimmung der löslichen Schwermetallgehalte die Konzentration zum Teil unter der Bestimmungsgrenze. In diesen Fällen wurde für die Auswertungen der Wert der halben Bestimmungsgrenze eingesetzt<sup>4</sup>.

## 2.5 Überblick über die durchgeführten Auswertungen

In den Kapiteln 3 bis 6 sind die wichtigsten Ergebnisse<sup>5</sup> der Zweitbeprobung mit Hilfe von Tabellen und Abbildungen dargestellt und erläutert. Anschliessend werden die Resultate der Erstbeprobung [3] mit denjenigen der Zweitbeprobung in Beziehung gesetzt. Dieser modulare Aufbau wird für alle Teilauswertungen (Schwermetalle und Schadstoffe, Bodenkennwerte, Filterfunktion und Belastungspotential und Risikogruppe) angewendet.

<sup>4</sup> Probeplanung und Datenanalyse bei kontaminierten Böden. Scholz, R. et al. 1994.

<sup>5</sup> Für die vollständige Auswertung aller untersuchten Parameter sei auf den internen Expertenbericht [4] verwiesen.

### 3 Ergebnisse der Zweitbeprobung-Vergleich mit der Erstbeprobung

#### 3.1 Beurteilungskriterien

Für den Vollzug des Bodenschutzes sind die in der Verordnung über Belastungen des Bodens (**VBBö**) definierten **Richt-, Prüf- und Sanierungswerte** für die **totalen und löslichen Schwermetall- und Fluorgehalte** von Bedeutung. Anhand dieser Kriterien kann einerseits die Gewährleistung der langfristigen Bodenfruchtbarkeit abgeschätzt werden, andererseits bestehen rechtliche Möglichkeiten korrigierend einzugreifen falls die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigt oder sogar mutmasslich nicht mehr gewährleistet ist.

Die **Totalgehalte** weisen auf das vorhandene Potential hin und sind dementsprechend mittel- und langfristig von Bedeutung, da im Verlaufe der Zeit durch chemische, physikalische oder biologische Prozesse auch heute fest gebundene Elemente gelöst werden können und damit für die Pflanzen verfügbar werden.

Im Gegensatz dazu geben die **löslichen Gehalte** Auskunft über die aktuelle Mobilität der Schwermetalle. Sie repräsentieren in etwa die Konzentrationsverhältnisse, die für die Pflanzen momentan verfügbar sind. Zur Beurteilung der Bodenfruchtbarkeit werden beide Methoden herangezogen, ein Standort weist folglich eine Richtwertüberschreitung auf, wenn ein Element einen der beiden Richtwerte überschreitet.

Die Ergebnisse der Zweitbeprobung beschränken sich auf den Oberboden, d.h. auf die Tiefe 0-20 cm. Für die Resultate der Streu- und Oberbodenproben 0-5 cm sei auf den Expertenbericht [4] verwiesen.

#### 3.2 Schwermetalle und Fluor

Schwermetalle kommen in allen Gesteinen vor. Neben den natürlichen Gehalten (geogen) treten in manchen Gebieten vermehrt auch fremdbürtige Anteile an Schwermetallen auf (anthropogen). Für einzelne Elemente z.B. Blei, Cadmium, Kupfer, Chrom etc. können diese namhafte Anteile an der gesamten Metallkonzentration erreichen, für andere wiederum z.B. Fluor, Nickel und teilweise auch Chrom stehen im Kanton Graubünden die geogenen Anteile im Vordergrund.

Die gemessenen Konzentrationen setzen sich somit aus der geogenen und der anthropogenen Komponente zusammen, wobei die Anteile der einzelnen Komponenten nicht unterscheidbar sind. Eine Beeinflussung durch den Menschen ist nur für den anthropogenen Anteil möglich (Massnahmen an der Quelle). Der Anteil der beiden Komponenten muss im Einzelfall mit Hilfe von Plausibilitätsüberlegungen abgeschätzt werden, so z.B. mit Hilfe von Nutzungsprotokollen und geologischen Karten.

##### 3.2.1 Totalgehalte der Zweitbeprobung

Die vollständige Übersicht der analysierten Schwermetall- und Fluortotalgehalte an den einzelnen Standorten ist im Anhang 2 zusammengestellt. Neben der Konzentrationsangabe in Milligramm pro Kilogramm (mg/kg) getrocknete Feinerde ist für jeden Standort und Element die jeweilige Klassierung (Rang) innerhalb des LBN GR angegeben. Diese Angaben erlauben es, für einen bestimmten Standort schnell eine Einschätzung der relativen Belastungssituation vorzunehmen.

Ein Quervergleich mit den Ergebnissen von nationalen oder kantonalen Untersuchungen zeigt, dass die im Kanton Graubünden gemessenen SM-Gehalte im Bereich der häufig gemessenen Werte liegen (siehe [3] Anhang 2). Einzig die Zinkgehalte der Talstandorte sowie generell die Fluorkonzentrationen sind im Kanton Graubünden erhöht.

Bezüglich den gesetzlichen Vorsorgewerten (Richtwerte der VBBö) gilt folgendes: Mit **Richtwertüberschreitungen** an insgesamt 15 Standorten (30 %) ist **Fluor** das auffälligste Element (siehe Tabelle 3.1). Aufgrund der Ausgangsgesteine kann davon ausgegangen werden, dass es sich dabei um **natürlicherweise vorkommende Gehalte** handelt. Insbesondere granithaltige



## Ergebnisse der Zweitbeprobung-Vergleich mit der Erstbeprobung: Total- und lösliche Gehalte

Gesteine sowie Pelite des Bündnerschiefers und des Flysches weisen sehr hohe geogene Fluorgehalte auf [5]. Weitere Elemente, die an mehreren Standorten Richtwertüberschreitungen aufweisen sind **Chrom** und **Nickel**. Beide Schwermetalle kommen in basischen und ultrabasischen Gesteinen sowie in ton- und glimmerreichen Gesteinen in erhöhten Konzentrationen vor, folglich treten Richtwertüberschreitungen häufig für beide Elemente gemeinsam auf. Dies gilt sowohl für die Talstandorte im Schanfigg (R-DUS 16), Prättigau (R-DUS 19) und Engiadina Bassa (R-DUS 25), als auch für die Alpstandorte in der Engiadina Bassa (R-DUS 27) und Bregaglia (R-DUS 36).

**Auf menschliche Tätigkeiten** (Industrie, Verkehr, Landwirtschaft, etc.) dürften demgegenüber die Richtwertüberschreitungen für **Kupfer** (5 Standorte), **Quecksilber** und **Blei** (je 1 Standort) zurückzuführen sein. Diese Richtwertüberschreitungen treten - von zwei Ausnahmen für Kupfer abgesehen - an den speziell ausgewählten Immissionsstandorten ein, die explizit Gebiete mit bekannten hohen Immissionen überwachen.

Die in der VBBo festgelegten Prüf- und Sanierungswerte werden in keinem Dauerüberwachungsstandort auch nur näherungsweise erreicht.

**Tab. 3.1:** Totalgehalte der Schwermetalle und Fluor, Standorte mit Richtwertüberschreitungen nach VBBo.

Element	RW <sup>1)</sup>		Häufiger Bereich (Perzentile)		Median	Max.	Min.	Standorte mit RW <sup>1)</sup> -Überschreitungen	
	VBBo	(VSBo)	0.25	0.75				Anzahl	Standort-Nr.
Pb	50	(75)	20.6	30.2	25.4	104.8	3.5	1	49
Cr	50	(50)	13.3	39.1	19.9	172.3	6.1	8	16, 19, 20, 25, 27, 36, 42, 49
Co		(25)	6.2	11.9	9.0	26.3	2.9	1	(15)
Cu	40	(50)	9.4	29.0	18.0	449.8	4.0	5	7, 45, 48, 49, 50
Zn	150	(200)	38.9	96.9	61.3	149.5	22.6	0	
Ni	50	(50)	12.5	36.5	22.5	136.6	4.7	7	15, 16, 19, 25, 27, 36, 49
Cd	0.8	(0.8)	0.2	0.3	0.2	0.7	0.1	0	
Hg	0.5	(0.8)	0.0	0.1	0.1	1.2	0.0	1	48
Mo	5	(5)	0.3	0.8	0.4	3.0	0.1	0	
Tl		(1)	0.1	0.2	0.1	0.4	0.0	0	
F	700	(400)	495.3	789.6	580.7	1208.0	285.0	15	1, 3, 10, 11, 12, 13, 15, 19, 23, 24, 28, 29, 30, 37, 48

<sup>1)</sup> Richtwerte nach VBBo bzw. VSBo (in Klammern)

### 3.2.2 Lösliche Gehalte der Zweitbeprobung

Diese mobilen Schwermetalle werden im Allgemeinen erst bei neutralen und sauren Bodenverhältnissen in grösseren Konzentrationen messbar. Im alkalischen Bereich werden diese Stoffe so stark an die Bodenpartikel gebunden, dass sie nicht in relevanten Konzentrationen in der Bodenlösung auftreten. Für Fluor verhält sich die Situation gerade umgekehrt. Eingetragene Fluoride bleiben in kalkhaltigen Böden längere Zeit mobil als in sauren Böden [10].

Von den 50 beprobten Dauerüberwachungsstandorten liegen die Konzentrationen der löslichen Schwermetallen bzw. Fluor an einigen Standorten unterhalb der Bestimmungsgrenze (siehe Anhang 3). Für Nickel und Zink sind es je 13 Standorte, für Kupfer 23, für Fluor 37; für Cadmium 40 und für Blei 47 Standorte.



Auf der anderen Seite existieren auch Standorte mit **erhöhten löslichen Gehalten**. So treten Richtwertüberschreitungen an 15 Standorten für **Zink** auf. An 5 Standorten sind die Vorsorgewerte für **Nickel** und an einem Standort für **Kupfer** überschritten. Der Säuregrad (pH-Wert) ist in den obersten 20 cm Boden, von zwei Ausnahmen<sup>6</sup> abgesehen, sauer oder stark sauer. Das Ausgangsgestein ist häufig Tonschiefer, Bündnerschiefer sowie Silikate. Da sowohl basische Gesteine als auch Bündnerschiefer häufig natürlicherweise erhöhte Zinkgehalte aufweisen, können diese Richtwertüberschreitungen auf die **geogene Grundbelastung** zurückgeführt werden. Gleiches gilt auch für Nickel. Die geographische Verteilung der Richtwertüberschreitungen für Zink sieht wie folgt aus: Calanca und Mesolcina jeweils an allen drei Standorten, an jeweils zwei von drei Standorten in der Planungsregion Bregaglia (Tal und Wald), Poschiavo und Surselva jeweils Wald- und Alpstandort. In den Regionen Schanfigg und Val Müstair weist der Alpstandort, in Davos der Waldstandort eine Richtwertüberschreitung für Zink auf.

**Keine Richtwertüberschreitungen** bei den löslichen Gehalten kommen in den Planungsregionen Bündner Rheintal , Heinzenberg/Domleschg<sup>7</sup>, Hinterrhein und Engiadina'ota vor.

Die Richtwertüberschreitung im Rebbau (I-DUS 48<sup>8</sup>) wird durch Einsatz von kupferhaltigen landwirtschaftlichen Hilfsstoffen erklärt.

Für Blei sind keine Richtwertüberschreitungen gemessen worden. Trotzdem muss den Standorten R-DUS 5, 38 und 41 aufgrund der gemessenen Gehalte zwischen 0.04 mg/kg und 0.05 mg/kg erhöhte Aufmerksamkeit geschenkt werden. Es handelt sich um stark saure Böden mit stark eingeschränktem Schwermetallrückhaltevermögen (siehe Kap. 3.6).

Das im sauren Bereich gut lösliche Cadmium weist an den beiden Waldstandorten auf silikatischem Ausgangsgestein in der Mesolcina bzw. Calanca (R-DUS 41 und 44) Konzentrationen im Bereich des Richtwertes auf.

Die löslichen Fluorgehalte übersteigen an keinem Dauerüberwachungsstandort die Hälfte des Richtwertes, dies bedeutet, dass die zum Teil hohen Fluor Totalgehalte nicht mobil sind. Die durch Verwitterung freigesetzten Fluorlonen werden insbesondere bei sauren Bodenverhältnissen sehr stark an Oxide und Tonmineralien gebunden.

**Tab. 3.2:** Lösliche Schwermetall- und Fluorgehalte, Standorte mit Richtwertüberschreitungen nach VBBo.

Element	RW <sup>1)</sup>		Häufiger Bereich (Perzentile)		Median	Max.	Min.	Standorte mit RW <sup>1)</sup> -Überschreitungen	
	VBBo	(VSBo)	25 %	75 %				Anzahl	DUS Nr.
Pb		(1.0)	0.01	0.01	0.01	0.05	0.01	0	
Cu	0.7	(0.7)	0.01	0.05	0.03	1.10	0.01	1	48
Zn	0.5	(0.5)	0.02	0.54	0.15	2.07	0.01	15	5, 6, 18, 23, 30, 34, 35, 38, 39, 40, 41, 42, 43, 44, 45
Ni	0.2	(0.2)	0.02	0.10	0.05	0.71	0.01	5	15, 20, 27, 36, 45
Cd	0.02	(0.03)	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0	
F	20	(25)	1.25	3.95	1.25	9.60	1.25	0	

<sup>1)</sup> Richtwerte nach VBBo (mg/kg), Angaben in Klammern: alte Richtwerte nach VSBo

<sup>6</sup> Ausnahmen bilden der Alpstandort in der Engiadina Bassa R-DUS 27 sowie der Immissions-Standort I-DUS 49 im Bündner Rheintal. Der Alpstandort weist einen schwach sauren pH-Wert im Oberboden auf, der I-DUS einen alkalischen pH-Wert.

<sup>7</sup> Gilt nur für Regionale Dauerüberwachungsstandorte (R-DUS)

<sup>8</sup> Die Analysenergebnisse der Standorte 48 und 49 wurden in der Zweitbeprobung offensichtlich vertauscht [4].



### 3.2.3 Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung

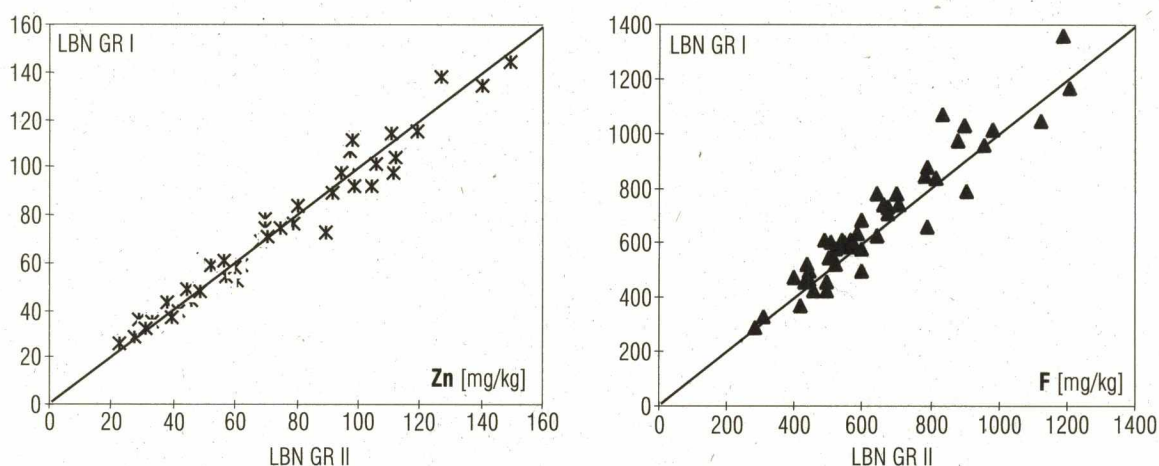
Fünf Jahre nach der Erstbeprobung wurden an den 45 Regionalen Dauerüberwachungsstandorten und den 5 Immissions-Dauerüberwachungsstandorten die Oberböden (0-20 cm) erneut beprobt.

Dieser für Bodenbildungsprozesse schnelle Rhythmus wurde gewählt, damit allfällige (negative) Veränderungen möglichst im Keim erkannt und falls nötig entsprechende Massnahmen getroffen werden können. Innerhalb von 5 Jahren sollten keine gravierenden Veränderungen weder im Schwermetallgehalt noch in den Bodenkennwerten auftreten. Sind wider Erwarten trotzdem solche feststellbar, müssen die Ursachen im Detail abgeklärt werden.

Die Ergebnisse der beiden Beprobungskampagnen werden im folgenden einander gegenübergestellt.

#### Totalgehalte

Insgesamt wurden 10 Schwermetalle und Fluor analysiert. Stellvertretend für die Schwermetalle ist das Streuungsdiagramm für Zink dargestellt (Abbildung 3.1). Die Werte der Erstbeprobung sind auf der Vertikalen (Abszisse), diejenigen der Zweitbeprobung auf der Ordinate abgebildet. Liegt der Wert der Zweitbeprobung höher als derjenige der Erstbeprobung liegt der "Stern" unterhalb der ausgezogenen Linie, werden in beiden Messkampagnen genau die gleichen Werte gemessen, liegen die Sterne auf der eingezeichneten Geraden. Wie aus Abbildung 3.1 hervorgeht streuen die Werte der beiden Messkampagnen relativ eng um die eingezeichnete 45°-Achse. Dies bedeutet, dass die bei der Erst- und Zweitbeprobung gemessenen Konzentrationen gut übereinstimmen. Die Totalgehalte für Zink haben sich - unter Annahme dass keine analytischen Fehler vorliegen - in den 5 Jahren zwischen 1992 und 1997 kaum verändert. Dies gilt auch für das auf der rechten Seite in Abbildung 3.1 dargestellte Fluor.



**Abb. 3.1:** Streuungsdiagramm Totalgehalte für Zink und Fluor. Die Werte der Erstbeprobung (LBN GR I) sind auf der Abszisse, diejenigen der Zweitbeprobung (LBN GR II) auf der Ordinate aufgetragen.

In Bezug auf Standorte mit Richtwertüberschreitungen veränderte sich die Situation zwischen Erst- und Zweitbeprobungen nur unwesentlich (Tabelle 3.3). Wurden bei der Erstbeprobung an 28 Standorten (25 an R-DUS und 3 an I-DUS) Richtwertüberschreitungen gemessen, sind es bei der Zweitbeprobung noch deren 25 Standorte (22 und 3). Unterschiede betreffen einerseits die Standorte (R-DUS) 9 und 16, bei denen der Fluorgehalt in der Zweitbeprobung mit 672 mg/kg bzw. 697 mg/kg knapp unter dem Richtwert von 700 mg/kg liegen, andererseits der Standort 26 mit einem Chromgehalt in der Zweitbeprobung von 47.9 mg/kg (Richtwert 50 mg/kg).

Sowohl in der Erst- als auch in der Zweiterhebung weist der Standort 7 Richtwertüberschreitungen im Totalgehalt für Kupfer auf. Der Kupfergehalt hat zwischen Erst- und Zweitbeprobung noch um 9 mg/kg (21 %) zugenommen obwohl die Nutzung aufgrund der Nutzungsprotokolle eher extensiv war. Diese Entwicklung ist im Moment nicht plausibel. Eventuell sind Nachanalysen der Kupfermessungen sinnvoll.



**Tab. 3.3:** Standorte mit Richtwertüberschreitungen in der Erstbeprobung (LBN GR I) bzw. der Zweitbeprobung (LBN GR II) für die Schwermetalle im Totalgehalt (bzw. für Co nach VSBo).

LBN GR-Standorte			Schwermetall-Totalgehalte	
Nr.	Region	Höhenstufe	LBN GR I	LBN GR II
1	Bündner Rheintal	Tal	F	F
3	Bündner Rheintal	Alp	F	F
7	Heinzenberg /Domleschg	Tal	Cu, F	Cu, (F: 94%) <sup>1</sup>
9	Heinzenberg /Domleschg	Alp	F	(F: 96%) <sup>1</sup>
10	Hinterrhein	Tal	F	F
11	Hinterrhein	Wald	F	F
12	Hinterrhein	Alp	F	F
13	Mittelbünden	Tal	F	F
14	Mittelbünden	Wald	F	(F: 99%) <sup>1</sup>
15	Mittelbünden	Alp	Co, Ni, F	Co, Ni, F
16	Schanfigg	Tal	Cr, Ni	Cr, Ni
19	Prättigau	Tal	Cr, Ni, F	Cr, Ni, F
20	Prättigau	Wald	Cr, Ni	Cr, (Ni: 97%) <sup>1</sup>
23	Davos	Wald	F	F
24	Davos	Alp	F	F
25	Engiadina Bassa	Tal	Cr, Ni	Cr, Ni
26	Engiadina Bassa	Wald	Cr	(Cr: 96%) <sup>1</sup>
27	Engiadina Bassa	Alp	Cr, Ni	Cr, Ni
28	Val Müstair	Tal	F	F
29	Val Müstair	Wald	F	F
30	Val Müstair	Alp	F	F
36	Bregaglia	Alp	Cr, Ni	Cr, Ni
37	Poschiavo	Tal	F	F
42	Mesolcina	Alp	Cr	Cr
45	Calanca	Alp	Cu	Cu
R-DUS-Standorte mit Richtwertüberschreitungen (n=45)			25 (56%)	22 (49%)
48	Bündner Rheintal		Cu, Hg, F	Cu, Hg, F
49	Bündner Rheintal		Cu, Ni, Pb, Cr	Cu, Ni, Pb, Cr
50	Heinzenberg /Domleschg		Cu, F	Cu, (F: 96%) <sup>1</sup>
I-DUS-Standorte mit Richtwertüberschreitungen (n=5)			3	3

<sup>1</sup> Angaben in Klammern: Gehalt relativ zum VBBö-Richtwert

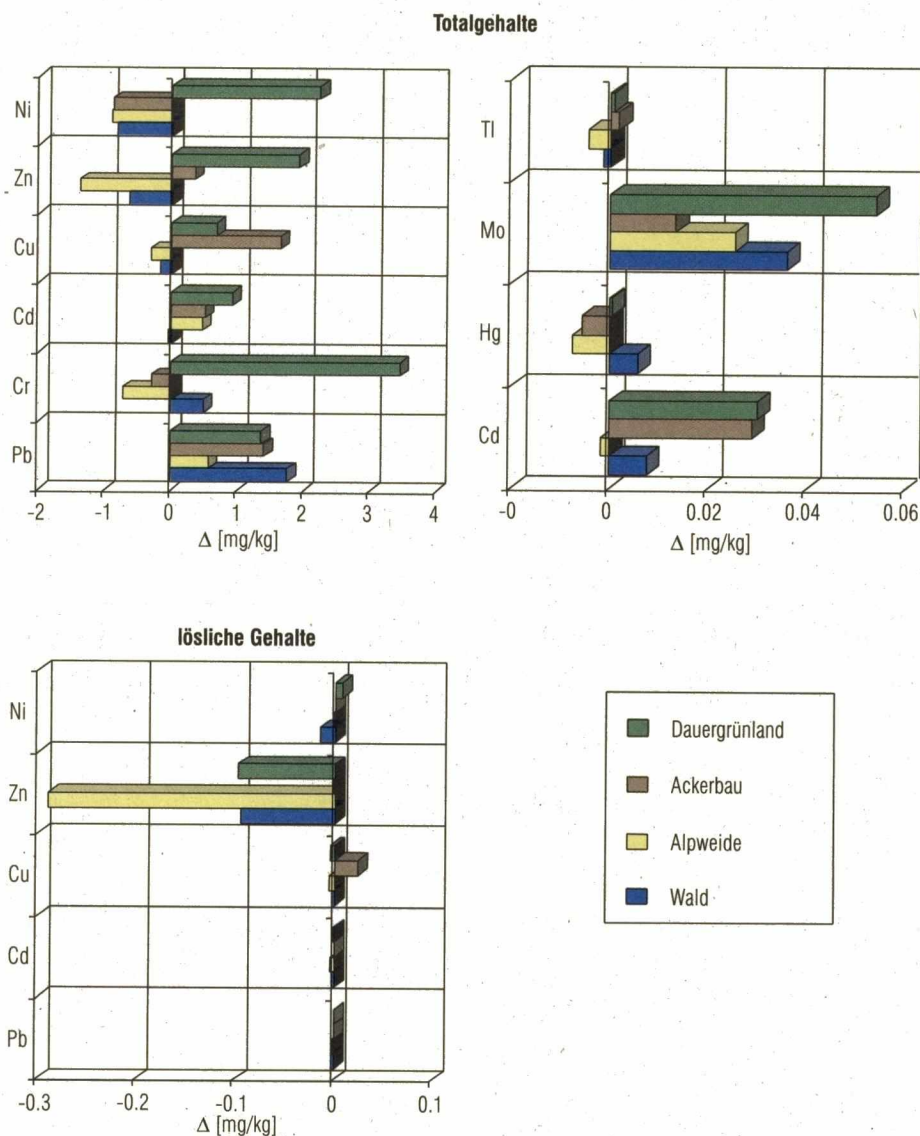


## Ergebnisse der Zweitbeprobung-Vergleich mit der Erstbeprobung: Total- und lösliche Gehalte

Die Unterteilung der Standorte nach Nutzung zeigt, dass auf Dauerwiesen für alle Elemente eine Zunahme erfolgt. Die Resultate sind in Abbildung 3.2 dargestellt.

Auf Dauerwiesen nehmen die Konzentrationen aller untersuchten Elemente zu. Am deutlichsten ist diese Zunahme für Chrom mit 3.4 mg/kg. Mehrheitlich höhere Schwermetallkonzentration weisen auch die Ackerstandorte auf. Eine Tendenz zur Gehaltsabnahme im Oberboden lässt sich auf den Alpstandorten feststellen. Eine ausgeglichene Bilanz weisen die Waldstandorte auf, die Konzentrationen von je 5 Elementen sind angestiegen bzw. verringert worden:

Eine zentrale Bedeutung im Rahmen der kantonalen Bodenüberwachung hat die Frage nach der Signifikanz der Veränderungen. Diese können mittels t-Test ermittelt werden (Tabelle 3.4). Für jeden Standort wird der Median der drei Mischproben der Erstbeprobung mit dem Wert der Zweitbeprobung verglichen. Auf dem 95 % Signifikanzniveau weisen Blei, Chrom, Cobalt, Cadmium und Molybdän mehrheitlich Zunahmen gegenüber den Werten der Erstbeprobung auf; für Kupfer, Zink, Nickel und Quecksilber ist die Bilanz mehr oder weniger ausgeglichen und bei Fluor und Thallium überwiegt eine Gehaltsabnahme. Aufgrund der dünnen Datenlage sind diese Ergebnisse als Trend und nicht als gesichertes Erkenntnis zu interpretieren. Zur Abklärung dieser Frage werden die Ergebnisse der geplanten Dritterhebung wertvolle Informationen liefern.



**Abb. 3.2:** Veränderungen ( $\Delta$ ) der Total- und löslichen Gehalte (Mittelwerte pro Element) zwischen Erst- und Zweitbeprobung differenziert nach Nutzung. Eine Veränderung auf die rechte Seite stellt eine Zunahme der Gehalte in den 5 Jahren zwischen den Probenahmen dar.



Ergebnisse der Zweitbeprobung-Vergleich mit der Erstbeprobung: Total- und lösliche Gehalte

Tab. 3.4: Erst- und Zweitbeprobung im Vergleich. t-Test auf Signifikanz der Veränderungen für die totalen und löslichen Elementgehalte.

DUS Nr.	Totalgehalte											Lösliche Gehalte					
	Pb	Cr	Co	Cu	Zn	Ni	Cd	Hg	Mo	Tl	F	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	F
1	1	1	0	-1	-1	1	-1	-1	-1	1	-1	0	0	1	0	1	1
2	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	-1	0	0	0	1	0	0
3	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	0	0	0	-1	0	0	0
4	1	0	1	0	0	1	1	-1	0	0	0	0	0	-1	0	1	-1
5	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0	0	0	0
6	1	0	0	0	-1	0	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	-1	0
7	0	0	1	1	1	0	1	0	1	0	-1	0	0	-1	0	0	-1
8	1	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1	0	-1
9	1	0	1	0	0	0	0	0	1	-1	-1	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	-1	-1	0	-1
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	-1
12	0	0	-1	-1	0	0	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	1	1	1	0	1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	-1
14	0	0	-1	0	0	0	1	0	1	0	-1	0	0	0	1	1	-1
15	0	0	0	0	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	0	0
16	0	1	1	1	0	1	1	0	0	1	-1	0	0	0	1	1	0
17	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	-1	0	0
18	0	1	0	1	-1	1	-1	0	-1	0	0	0	-1	0	0	1	0
19	1	1	1	1	1	1	1	1	1	-1	1	0	0	1	-1	1	-1
20	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
21	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	1	0	-1	0	0	0	0
22	1	1	1	-1	0	1	0	0	-1	-1	0	0	0	-1	-1	0	-1
23	1	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	-1	0	0	-1	0
24	-1	0	0	0	-1	-1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	0
25	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
26	1	0	0	1	0	0	1	1	1	1	-1	0	0	0	-1	0	0
27	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	-1	0	0	0	1	-1	0	1
28	0	-1	0	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	0	0	0	0	-1	-1	-1
29	0	-1	-1	-1	-1	-1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	-1
30	0	0	1	0	0	0	0	-1	0	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	-1
31	1	0	0	0	0	0	0	-1	1	-1	0	0	0	0	-1	0	1
32	1	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0
33	1	0	1	0	0	0	1	0	1	-1	0	0	0	-1	0	-1	0
34	0	-1	0	0	0	0	1	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1
35	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0
36	0	0	1	0	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0
37	1	0	1	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	-1	-1	0	1
38	1	0	-1	-1	1	-1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
39	0	0	0	-1	1	-1	1	0	1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	0
40	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	0	-1	0	0	-1	0
41	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	-1	0	0	0	0
42	0	1	1	0	1	0	0	0	1	0	1	0	-1	0	0	0	0
43	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	-1	-1	0	0
44	0	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	-1	0	-1	0	0
45	0	0	0	0	0	0	0	-1	1	0	0	0	-1	-1	-1	-1	0
46	1	0	0	0	-1	-1	1	0	1	1	-1	0	0	0	0	0	-1
47	0	-1	0	0	0	-1	0	0	1	0	0	0	0	0	-1	0	-1
48	1	1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	0	-1	0	0	-1	0	1	0
49	-1	-1	-1	1	0	-1	1	1	-1	0	1	0	0	1	0	-1	-1
50	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0
Übersicht	Anzahl Standorte																
keine Änderung	24	28	26	28	28	29	25	31	15	25	24	48	40	31	26	29	30
Zunahme	24	15	18	12	10	12	18	8	24	9	6	1	1	6	4	9	4
Abnahme	2	7	6	10	12	9	7	11	11	16	20	1	9	13	20	12	16
Summe Veränderung	26	22	24	22	22	21	25	19	35	25	26	2	10	19	24	21	20
Summe Standorte	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Legende

0

keine Veränderung

1

Zunahme

-1

Abnahme

Methode

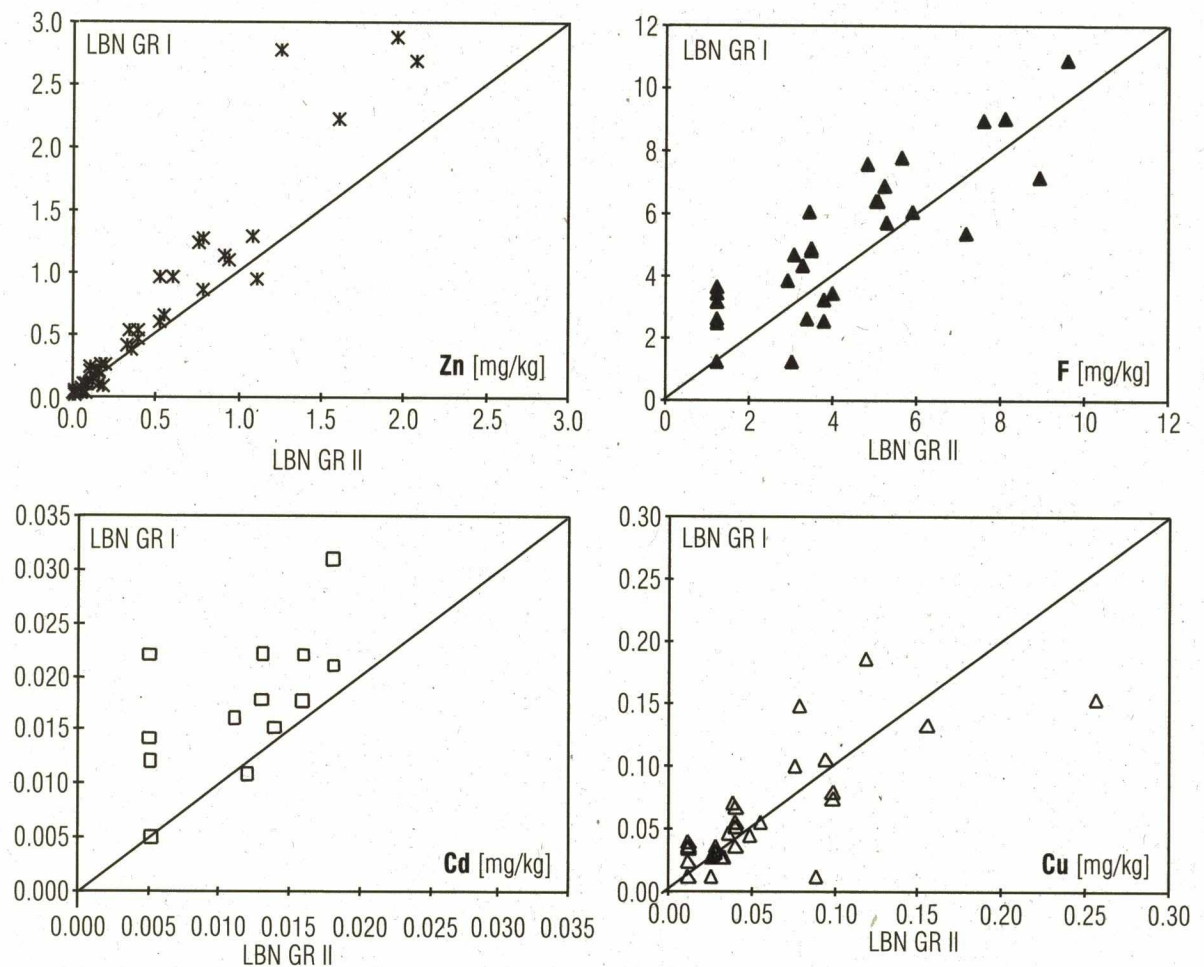
Test t-Test mit 2 Freiheitsgraden

Signifikanzniveau: 95 %



## Lösliche Gehalte

Die mobilen Schwermetall- und Fluorgehalte nahmen in der Zweitbeprobung gegenüber der Erstbeprobung für alle Elemente ab. Das Ausmass der Änderungen variierte von Element zu Element recht stark. Besonders deutlich sind sie für Cadmium (Abbildung 3.3). Von zwei Ausnahmen abgesehen lagen die Konzentrationen in der Zweitbeprobung unter den Werten der Erstbeprobung.



**Abb. 3.3:** Streuungsdiagramm lösliche Gehalte für Zink, Fluor, Cadmium und Kupfer. Die Werte der Erstbeprobung (LBN GR I) sind auf der Abszisse, diejenigen der Zweitbeprobung (LBN GR II) auf der Ordinate aufgetragen.

Obwohl die löslichen Gehalte zwischen Erst- und Zweitbeprobung tendenziell abgenommen haben, hatte dies keinen Einfluss auf die Anzahl der Standorte mit Richtwertüberschreitungen. In beiden Messkampagnen sind an 20 der insgesamt 50 Standorte Richtwerte überschritten (Tabelle 3.5).

**Tab. 3.5:** Standorte mit Richtwertüberschreitungen in der Erstbeprobung (LBN GR I) bzw. der Zweitbeprobung (LBN GR II) für die Schwermetalle im löslichen Gehalt.

LBN GR-Standorte			Schwermetalle-lösliche Gehalte	
Nr.	Region	Höhenstufe	LBN GR I	LBN GR II
5	Surselva	Wald	Zn	Zn
6	Surselva	Alp	Zn	Zn
15	Mittelbünden	Alp	Zn, Ni	Ni, (Zn 78%)
18	Schanfigg	Alp	Zn	Zn
20	Prättigau	Wald	Ni	Ni
23	Davos	Wald	Zn	Zn
27	Engiadina Bassa	Alp	Ni	Ni
30	Val Müstair	Alp	Zn	Zn
34	Bregaglia	Tal	Zn	Zn
35	Bregaglia	Wald	Cd, Zn	Zn, (Cd 80%)
36	Bregaglia	Alp	Zn, Ni	Ni, (Zn 67%)
38	Poschiavo	Wald	Zn	Zn
39	Poschiavo	Alp	Zn	Zn
40	Mesolcina	Tal	Zn	Zn
41	Mesolcina	Wald	Cd, Zn	Zn, (Cd 90%)
42	Mesolcina	Alp	Zn	Zn
43	Calanca	Tal	Zn	Zn
44	Calanca	Wald	Cd, Zn	Zn, (Cd 90%)
45	Calanca	Alp	Cd, Zn, Ni	Zn, Ni, (Cd 65%)
48	Bündner Rheintal		Cu	Cu
Anzahl Standorte (n=50) mit Richtwertüberschreitungen			19 (38 %)	19 (38 %)

<sup>1</sup> Angaben in Klammern: Gehalt relativ zum VBBö-Richtwert

Berücksichtigt man nur die nach regionalen Kriterien ausgewählten Standorte (DUS Nr. 1-45) fällt auf, dass neben 3 Standorten auf Stufe Tal, 7 Wald- und 9 Alpstandorte Richtwertüberschreitungen aufweisen.

In Abbildung 3.2 sind die Veränderungen zwischen Erst- und Zweitbeprobung in Bezug auf die Nutzung dargestellt. Auffallend ist die Konzentrationsabnahme für Zink. Am deutlichsten manifestiert sich diese auf den Alpstandorten, aber auch auf Dauergrünland und unter Wald ist diese Tendenz feststellbar. Als Ursachen kommen in erster Linie die erhöhte Löslichkeit und damit verbunden die Verlagerung infolge fortschreitender Versauerung der Böden in Frage, daneben könnten diese Abnahmen aber auch durch eine geringere Bestossungszahl der Alpen oder eine geänderte Futterzusammensetzung verursacht worden sein.

Die Frage nach der Signifikanz wurde mittels t-Test ermittelt. Die Resultate sind in Tabelle 3.5 dargestellt. Auf dem 95 % Signifikanzniveau weisen Cadmium, Kupfer, Zink und Fluor vorwiegend abnehmende Veränderungen auf, für Nickel geht der Trend ebenfalls in diese Richtung. Einzig für Blei liegt mit einer signifikanten Zu- resp. Abnahme eine ausgeglichene Bilanz vor. Signifikante Veränderungen in Richtung Gehaltszunahmen liegen keine vor.



**Fazit:**

Die Resultate der Zweitbeprobung bestätigen sowohl die Erkenntnisse der Erstbeprobung bezüglich Totalgehalt der Elemente, als auch weitgehend diejenigen der löslichen Gehalte.

Die relativ häufig auftretenden Richtwertüberschreitungen im Totalgehalt für Fluor (rund 30 % aller Standorte), Chrom (16 %) und Nickel (14 %) lassen sich mit den hohen Gehalten im Ausgangsgestein erklären. Auf menschliche Tätigkeiten sind dagegen die Richtwertüberschreitungen für Kupfer (5 Standorte), Blei und Quecksilber (je ein Standort) zurückzuführen.

Richtwertüberschreitungen im löslichen Gehalt treten sowohl in der Erst- als auch in der Zweitbeprobung an 19 Regionalen- und einem Immissions-Dauerüberwachungsstandort auf. Trotzdem nehmen die Konzentrationen gegenüber der Erstbeprobung tendenziell ab. Die Ausnahme bildet Blei, für das keine Veränderung festgestellt wurde. Auf der anderen Seite sind die Abnahmen für Zink auf den Alpstandorten besonders ausgeprägt. Als Ursachen kommen sowohl die Verlagerung infolge fortschreitender Bodenversauerung aber auch Änderungen in der Bewirtschaftung in Frage.

Insgesamt sind nur in drei Raumplanungsregionen (Bündner Rheintal, Hinterrhein und Engiadina) überhaupt keine Richtwertüberschreitungen festgestellt worden. An den drei auf der Alpenseite gelegenen Regionen Bregaglia, Mesolcina und Calanca wird an jedem Überwachungsstandort mindestens ein Richtwert der VBBo überschritten.

### 3.3 Absolutgehalt (GLA-Aufschluss)

Im Gegensatz zum Totalgehalt wie er in der VBBo festgelegt ist, werden beim GLA-Aufschluss auch die im Kristallgitter gebundenen Schwermetalle vollständig erfasst. Mit dem Absolutgehalt lassen sich Veränderungen im Stoffbestand festhalten. Die Resultate der Zweitbeprobung sind in Anhang 5 zusammengestellt.

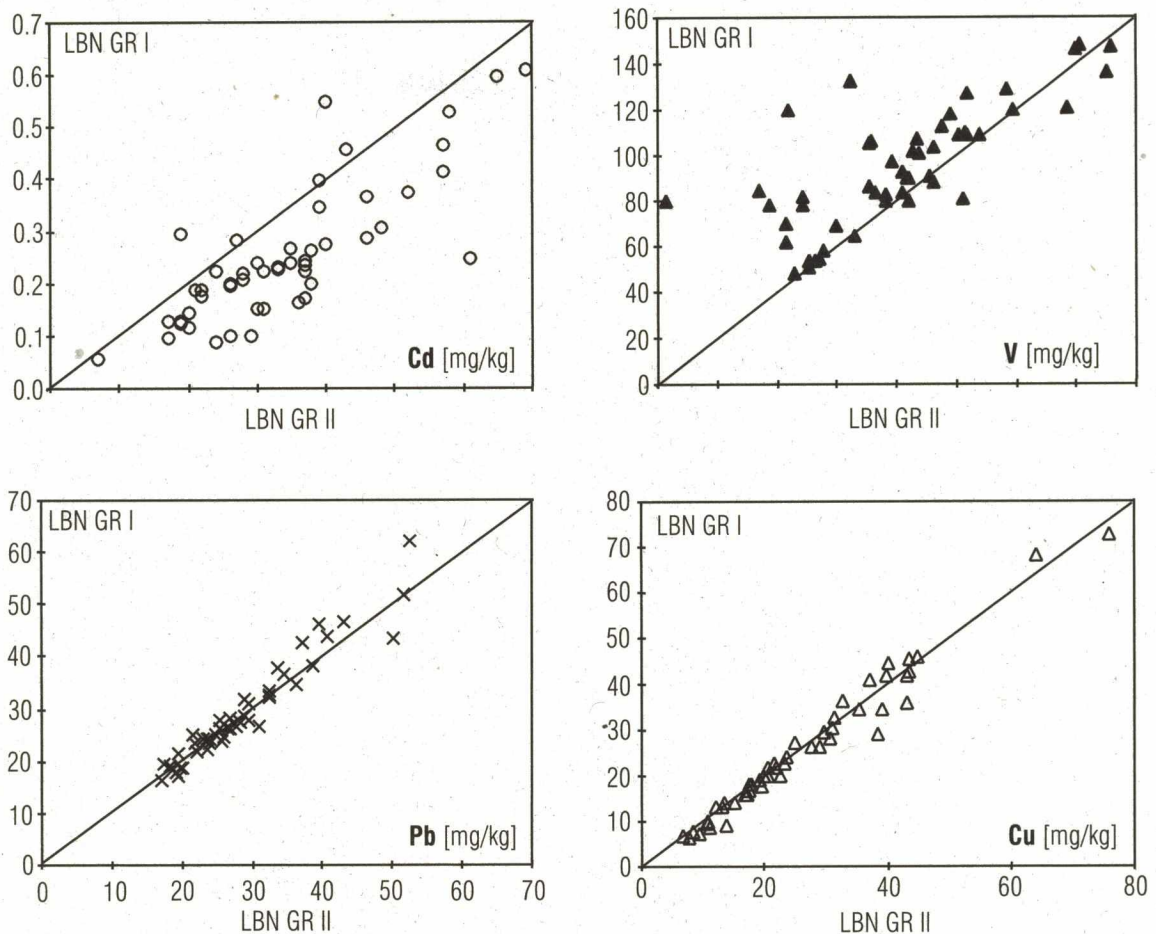
#### 3.3.1 Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung

In den 5 Jahren zwischen den Probenahmeaktionen nahm der Absolutgehalt im Oberboden für folgende Elemente tendenziell eher zu: Cadmium, Zink, Nickel, Selen und Kalium. Als Beispiel für diese Gruppe von Elementen steht Cadmium oben links in Abbildung 3.4. Tieferere Werte wurden im Allgemeinen für Molybdän, Cobalt, Vanadium, Thallium, Arsen und Phosphor gemessen (siehe Vanadium oben rechts in Abbildung 3.4).

Für Blei, Chrom, Kupfer und Aluminium halten sich die Zu- resp. Abnahmen über die 50 Überwachungsstandorte die Waage. Im Streudiagramm liegen die Werte symmetrisch um die Diagonale verteilt, als Beispiele für diese Gruppe sind in der unteren Zeile der Abbildung 3.4 Blei und Kupfer dargestellt.

Bei der Betrachtung der einzelnen Standorte (Tabelle 3.6) fällt auf, dass - mit Ausnahme von Standort 1 - an allen Überwachungsstandorten sowohl signifikante<sup>9</sup> Zu- als auch Abnahmen innerhalb der fünf Jahre stattgefunden haben. An einigen Standorten erfolgten praktisch keine bedeutenden Veränderungen, z.B. R-DUS 12, an anderen Standorten praktisch für alle gemessenen Elemente, z.B. R-DUS 16. Der Vergleich von DUS 12 und 14 zeigt auch, dass die Dynamik, mit der Veränderungen stattfinden, auch innerhalb derselben Planungsregion sehr unterschiedlich sein kann.





**Abb. 3.4:** Streuungsdiagramm für Cadmium, Vanadium, Blei und Kupfer im GLA-Auflösung. Die Werte der Erstbeprobung (LBN GR I) sind auf der Abszisse, diejenigen der Zweitbeprobung (LBN GR II) auf der Ordinate aufgetragen.

### Fazit

Erwartungsgemäss treten in der Zweitbeprobung im Vergleich zur Erstbeprobung keine wesentlichen Abweichungen in der Zusammensetzung des Bodenmaterials auf.

Über alle 50 Dauerüberwachungsstandorte betrachtet, stellt man fest, dass die Absolutgehalte von 5 Elementen vorwiegend zunehmen. Für 6 Elemente überwiegen dagegen die Abnahmen. Für weitere 4 Elemente sind etwa gleich viele Standorte mit Zu- als auch mit Abnahmen beobachtet worden.

Der Vergleich zwischen Erst- und Zweitbeprobung zeigt zudem, dass an einigen Standorten praktisch keine signifikanten Veränderungen im Stoffbestand auftreten, an anderen Standorten dagegen ändert sich dieser für praktisch alle gemessenen Elemente signifikant. Signifikant hat hier aufgrund der dünnen Datenlage die Bedeutung von erwähnenswert. Diese Unterschiede in der Dynamik können dabei innerhalb derselben Planungsregion auftreten.

<sup>9</sup> Über die Aussagekraft dieser Signifikanz sei auf die Bemerkung in Kapitel 3.2.3 verwiesen.



Ergebnisse der Zweitbeprobung-Vergleich mit der Erstbeprobung: Total- und lösliche Gehalte

Tab. 3.6: Zweit- und Erstbeprobung im Vergleich. t-Test auf Signifikanz der Veränderungen für die Absolutgehalte.

DUS-Nr.	Elementgehalte im GLA-Aufschluss (Absolutgehalte)														
	Pb	Cr	Co	Cu	Zn	Al	Mo	Ni	V	Ti	Cd	As	Se	K	P
1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	0	0	-1	-1
2	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	-1	0	-1	1	-1	-1
3	-1	0	1	0	1	0	-1	1	1	-1	0	-1	-1	1	-1
4	0	-1	0	-1	0	1	-1	-1	0	-1	0	-1	0	-1	-1
5	1	-1	-1	0	1	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	1	0	1	1	1	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	0
7	0	-1	-1	-1	1	0	-1	-1	-1	0	1	0	1	0	-1
8	0	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	1	0	-1	1	-1
9	0	0	0	0	1	0	-1	0	0	0	1	0	0	1	-1
10	0	-1	-1	-1	0	0	-1	-1	-1	-1	1	0	0	0	-1
11	0	-1	0	0	1	-1	-1	-1	0	-1	1	0	1	0	-1
12	0	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0
13	0	-1	-1	1	0	0	-1	1	0	0	1	0	0	1	-1
14	0	0	-1	-1	1	-1	-1	-1	0	-1	1	0	0	-1	-1
15	0	1	0	1	1	1	-1	1	0	-1	1	-1	0	1	1
16	-1	1	1	1	1	0	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
17	0	-1	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	-1	1	-1	0	1	0
18	0	1	1	0	1	0	0	0	-1	-1	1	0	0	1	-1
19	0	0	0	0	1	0	1	0	-1	-1	1	0	0	1	0
20	0	0	0	0	1	0	-1	0	-1	-1	1	0	0	0	0
21	-1	1	1	0	1	-1	0	0	1	-1	1	0	1	1	-1
22	1	0	0	0	0	0	-1	0	-1	0	1	1	0	0	-1
23	0	-1	0	0	1	0	-1	0	0	-1	1	1	1	0	-1
24	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	1	0	0	0	-1
25	0	0	1	1	1	0	0	0	-1	-1	0	-1	1	1	-1
26	-1	0	0	1	0	-1	0	0	-1	-1	1	-1	0	1	0
27	-1	0	1	0	0	1	0	-1	1	-1	1	-1	0	1	-1
28	0	1	0	1	1	1	-1	1	0	-1	1	0	-1	1	-1
29	0	1	0	1	1	0	-1	1	0	0	1	-1	-1	1	0
30	0	0	1	0	1	0	-1	0	0	-1	1	0	-1	1	0
31	0	-1	0	0	0	0	-1	1	0	-1	0	-1	0	-1	-1
32	1	0	0	1	1	0	-1	0	0	-1	1	0	0	-1	-1
33	1	-1	0	0	0	0	-1	0	0	-1	1	1	0	0	-1
34	0	0	-1	0	0	1	-1	0	-1	-1	1	0	0	1	0
35	-1	1	-1	0	0	0	0	1	0	-1	1	0	0	1	0
36	-1	0	-1	0	-1	0	0	-1	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
37	1	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	1	-1	0	0	-1
38	1	-1	-1	0	1	0	-1	0	0	0	1	-1	0	0	-1
39	0	0	0	-1	1	0	-1	0	-1	0	1	0	0	1	0
40	0	1	0	0	0	-1	-1	1	0	-1	1	0	0	0	-1
41	0	1	1	0	1	-1	-1	0	0	-1	1	0	-1	1	-1
42	-1	1	1	0	1	0	0	0	1	-1	1	1	0	1	-1
43	0	0	-1	0	-1	0	-1	0	0	-1	1	0	0	0	-1
44	0	0	0	0	1	0	0	1	0	-1	1	0	0	1	-1
45	0	0	-1	0	0	0	1	1	-1	0	0	1	1	0	-1
46	0	0	-1	1	1	1	-1	1	-1	0	1	0	-1	1	0
47	-1	0	-1	0	0	1	-1	0	-1	-1	1	-1	-1	1	-1
48	1	1	1	-1	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	0	1	-1	-1
49	-1	-1	-1	1	0	1	-1	-1	1	1	1	-1	-1	1	1
50	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	-1	0	1	1
Übersicht	Anzahl Standorte														
keine Änderung	32	25	25	29	21	30	13	25	24	15	7	27	30	15	13
Zunahme	7	13	10	12	25	9	2	15	5	1	41	5	8	28	3
Abnahme	11	12	15	9	4	11	35	10	21	34	2	18	12	7	34
Summe Veränderung	18	25	25	21	29	20	37	25	26	35	43	23	20	35	37
Summe Standorte	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50

Legende

0

keine Veränderung

1

Zunahme

-1

Abnahme



### 3.4 Schwermetallgehalte in Bezug auf geologische/petrographische Informationen

Der Kanton Graubünden weist eine sehr vielfältige Geologie auf. Durch Gletscher- und Flusstätigkeit wurde zudem Gesteinsmaterial über kürzere oder längere Strecken transportiert und wieder abgelagert. Für die Böden bedeutet dies, dass das anstehende Gestein mit zugeführtem Material vermischt wurde. Dementsprechend bilden an den meisten Dauerüberwachungsstandorten lockere Mischgesteine das Ausgangssubstrat.

Insgesamt konnten an den 50 Dauerüberwachungsstandorten 21 Kategorien mit unterschiedlicher Zusammensetzung des Materials gebildet werden. In Abbildung 3.5 wurden diese zu 6 Hauptkategorien zusammengefasst. Diese setzen sich aus Mischgestein zusammen und folglich unterscheiden sich die Mittelwerte (GLA-Aufschluss) in den einzelnen Hauptkategorien wenig.

Eine detaillierte Auswertung der verschiedenen Gesteinsgruppen (Kategorien) ist sehr aufwendig und nicht Ziel dieses Berichtes. Für interessierte Leser sei auf die Arbeit von Tuchschnid verwiesen [5].

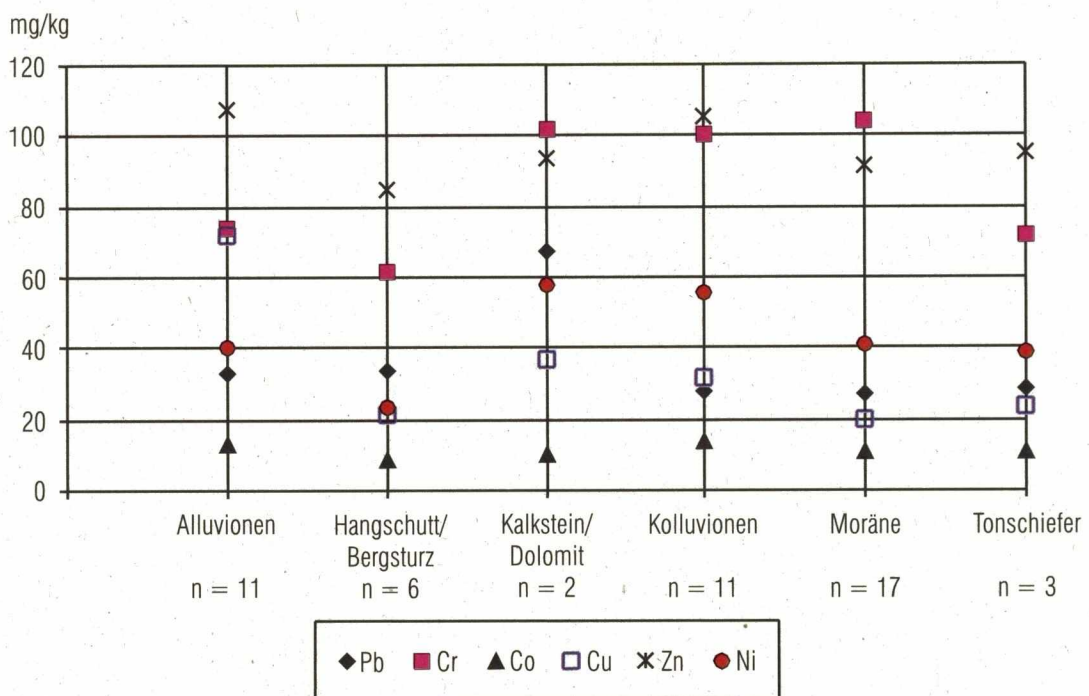


Abb. 3.5: Absolutgehalt der Elemente aufgeteilt nach geologischer/petrographischer Herkunft der Ausgangsgesteine.

### 3.5. Bodenkennwerte

#### 3.5.1 Bedeutung für das Bodenüberwachungsprogramm

Die Erfassung und Interpretation der Bodenkennwerte stellt neben der Aufnahme der Belastungssituation durch Schadstoffe einen weiteren wichtigen Bestandteil eines Bodenüberwachungsprogrammes dar. Mit Hilfe der chemischen und physikalischen Parameter werden Informationen bezüglich des Bodenzustandes (Nährstoff-, Wasser- und Lufthaushalt) sowie der Filter- und Pufferfunktion erhoben. Darüber hinaus lassen diese Parameter Rückschlüsse auf die momentan sich im Boden abspielenden Prozesse zu, und erlauben es zukünftige Entwicklungen vorauszusehen. Aufgrund des Bodenzustandes (z.B. Gefügeform, Tiefe des Wurzelraumes) und der ablaufenden Prozesse (z.B. Karbonatverwitterung, Tonauflösung) kann auf die Empfindlichkeit des Bodens gegenüber physikalischen und chemischen Einwirkungen geschlossen werden.



Ergebnisse der Zweitbeprobung-Vergleich mit der Erstbeprobung: Total- und lösliche Gehalte

3.5.2 Ergebnisse der Zweitbeprobung

Der Säuregrad, ausgedrückt durch den **pH-Wert**, ist an den Regionalen Dauerüberwachungsstandorten (R-DUS) für 75 % der Oberböden im schwach sauren bis sehr stark sauren Bereich. Entsprechend weisen 39 der 45 Standorte keinen messbaren Kalziumkarbonat-Anteil auf (siehe Anhang 6). Die Talstandorte weisen infolge Düngung und Bodenbearbeitung deutlich höhere pH-Werte auf als die Waldstandorte. Die im folgenden aufgeführten Einstufungen der Basensättigung und der effektiven Kationenaustauschkapazität erfolgen gemäss bodenkundlicher Kartieranleitung für mitteleuropäische Mineralböden [6].

Insgesamt 9 der 15 Standorte auf Talstufe sind sehr basenreich bis basengesättigt, drei Standorte (R-DUS 34, 40 und 43) sind als mittelbasisch zu bezeichnen. Die **Basensättigungen** (V) der Standorte auf Wald- und Alpstufe betragen typischerweise (mittlere 50 % der Daten) zwischen 8 % und 52 % (Wald) bzw. 21-57 % (Alp). Die Standorte auf Waldstufe sind als basenarm bis mittelbasisch, die Alpstandorte als mittelbasisch zu bezeichnen.

Die **effektive Kationenaustauschkapazität** ( $KAK_{eff}$ ) liegt für die mittleren 50 % der Daten zwischen 10 mmol/z/100g und 19 mmol/z/100g (siehe Anhang 6). Sie ist damit als mittel bis hoch zu bezeichnen. Betrachtet man die einzelnen Höhenstufen, Tabelle 3.7, im Detail, fällt auf, dass über 75 % der Oberböden auf Talstufe hohe (= 12 mmol/z/100g) bis äusserst hohe (= 30 mmol/z/100g)  $KAK_{eff}$  aufweisen. Demgegenüber stehen die Standorte auf Alpstufe. Etwas mehr als 25 % der Oberböden weisen geringe (< 8 mmol/z/100g), zwei davon (R-DUS 6 und 42) sehr geringe (< 4 mmol/z/100g) Kationenaustauschkapazitäten auf. Die Dauerüberwachungsstandorte auf Waldstufe nehmen bezüglich der Kationenaustauschkapazität eine mittlere Stellung ein.

Die **Tongehalte** der Standorte auf den drei Höhenstufen unterscheiden sich nur geringfügig. Die typischen Gehalte bewegen sich sowohl für die Standorte auf Tal-, Wald- als auch auf Alpstufe zwischen rund 13 % und 24 %. Böden mit einem Tonanteil von über 30 % kommen ausschliesslich auf der Alpstufe vor (R-DUS 3, 21 und 27).

Die Anteile an **Silt** unterscheiden sich zwischen den einzelnen Höhenstufen ebenfalls nur geringfügig. Während die mittleren 50 % der Standorte auf Talstufe einen Siltanteil zwischen 27 % und 40 % aufweisen, liegen sie auf Waldstufe zwischen 28 % und 40 % und auf Alpstufe betragen die typischen Anteile 33 % bis 44 %.

Tab. 3.7: Statistische Parameter ausgewählter chemischer und physikalischer Bodenkennwerte gegliedert nach Standortkriterien.

		pH	CaCO <sub>3</sub>	N <sub>tot</sub>	C <sub>org</sub>	KAK <sub>off</sub>	V	TON	Silt	
		CaCl <sub>2</sub>	[%]	[%]	[%]	[mmol/z/kg]	[%]	[%]	[%]	
R-DUS										
(n=15)	Tal	Min.	4.4	0.25	0.16	1.70	6.6	34.2	8.3	14.5
		25 %	5.1	0.25	0.34	3.12	17.3	64.5	14.8	26.6
		Median	6.1	0.25	0.48	3.71	22.2	104.6	20.7	35.4
		75 %	7.1	6.85	0.60	5.45	31.7	118.9	23.1	40.0
		Max.	7.2	13.90	0.75	7.44	42.5	136.9	25.3	48.5
(n=15)	Wald	Min.	3.5	0.25	0.08	1.80	5.9	2.5	7.6	21.0
		25 %	3.9	0.25	0.13	2.60	10.3	7.9	12.8	27.8
		Median	4.2	0.25	0.18	3.29	13.2	31.7	18.0	34.6
		75 %	4.9	0.25	0.25	4.60	14.2	51.9	20.0	39.5
		Max.	6.1	0.25	0.37	9.70	22.9	82.4	25.7	52.2
(n=15)	Alp	Min.	4.1	0.25	0.21	2.19	2.5	5.5	8.2	22.5
		25 %	4.4	0.25	0.33	3.55	7.5	20.7	13.4	32.5
		Median	4.6	0.25	0.41	4.00	10.2	30.7	20.0	35.5
		75 %	4.9	0.25	0.54	5.00	12.7	56.8	24.1	43.5
		Max.	5.5	0.25	0.65	6.70	21.0	73.7	36.4	56.0
(n=5)	I-DUS	Min.	7.0	15.10	0.04	0.66	13.7	98.2	4.8	39.3
		Median	7.2	21.80	0.25	2.38	16.2	111.4	16.8	40.2
		Max.	7.5	28.7	0.3	3.3	24.0	134.9	21.3	53.8



3.5.3 Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung

Die absoluten Veränderungen zwischen Erst- und Zweitbeprobung sind in Tabelle 3.8 aufgeführt. Die grössten **pH-Wert**-Veränderungen ergaben sich mit einer Abnahme von einer pH-Einheit am Waldstandort in der Planungsregion Mittellanden (R-DUS 14) sowie am Alpstandort der Surselva mit einer Zunahme des pH-Wertes um 0.5 Einheiten. Für alle übrigen Standorte liegen keine nennenswerten Veränderungen der pH-Werte vor. Der pH-Wert ist jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen und kann auch kleinräumig stark variieren, dies muss bei der Interpretation der Resultate berücksichtigt werden.

Tab. 3.8: Absolute Veränderungen der Bodenkennwerte zwischen Erst- und Zweitbeprobung.

DUS	$\Delta \text{pH}_{\text{CaCl}_2}$	$\Delta \text{N}_{\text{tot}}$ [%]	$\Delta \text{C}_{\text{org}}$ [%]	$\Delta \text{V}^1$ [%]	$\Delta \text{KAK}_{\text{eff}}$	$\Delta \text{Ton}$ [%]
1	0.0	-0.1	-0.5		-5.4	0.5
2	-0.1	0.1	1.3	8.0	3.1	2.7
3	-0.1	-0.1	-1.1	-4.9	-1.5	3.0
4	0.2	-0.1	-0.9		-5.2	1.8
5	0.0	0.0	0.3	4.5	0.7	2.0
6	0.5	-0.2	-0.3	44.7	0.0	0.4
7	0.0	0.0	-0.1		2.5	0.5
8	-0.3	-0.2	-1.0	-1.0	-2.7	-0.4
9	0.1	0.0	-0.3	3.9	0.8	4.5
10	0.1	-0.1	-0.6		-0.7	4.1
11	0.1	0.0	-0.4	3.2	2.1	-0.4
12	0.0	-0.1	-0.4	12.6	-9.3	4.3
13	0.0	0.0	0.0		-4.4	0.2
14	-1.0	0.1	0.2	-21.2	-0.5	4.0
15	0.0	0.0	-0.1	-5.6	1.0	-11.0
16	-0.3	-0.1	-1.2	0.7	-2.5	-0.4
17	0.1	0.0	0.9	9.4	2.6	1.7
18	-0.1	-0.2	-0.3	2.2	0.0	1.6
19	-0.2	0.0	0.3		1.8	4.6
20	0.1	-0.1	0.2	-0.7	2.4	2.0
21	-0.1	0.0	-0.4	4.6	0.8	2.7
22	0.0	0.0	-0.6	-12.7	4.1	-0.8
23	0.1	0.1	0.2	-2.4	7.5	-1.5
24	0.1	-0.1	-1.6	8.9	-0.2	-3.8
25	-0.1	0.0	2.1		-0.1	1.5
26	0.1	0.0	2.0	0.6	4.8	-2.0
27	0.1	0.0	-0.6	2.0	-0.1	4.4
28	0.1	-0.1	-0.8	2.9	0.2	-1.9
29	0.0	0.0	-0.3	-16.8	-3.7	-0.9
30	0.1	-0.1	-1.0	1.7	-0.2	-7.2
31	0.1	0.0	-0.7		2.7	1.1
32	0.1	0.0	0.2	-3.3	2.2	1.3
33	0.1	0.1	-0.3	-11.4	1.3	1.3
34	0.0	0.0	0.3	-12.8	0.1	-0.4
35	0.1	0.0	-1.5	-2.8	-0.4	0.2
36	0.0	-0.1	-0.7	-8.3	-0.7	0.3
37	0.0	-0.1	-0.3	12.9	-0.2	0.5
38	0.0	0.0	0.8	3.6	2.5	2.9
39	0.1	-0.1	0.6	2.7	0.6	0.9
40	0.1	0.0	0.1	12.5	0.6	1.3
41	0.1	0.0	-0.4	3.2	-1.1	3.7
42	0.1	-0.1	-1.1	3.0	-2.3	1.5
43	0.0	-0.1	-0.2	5.5	0.6	0.4
44	0.0	-0.1	-0.2	0.8	2.9	-2.1
45	0.0	0.0	-0.3	-5.7	2.1	3.0
46	0.0	-0.2	-0.5		1.6	0.1
47	-0.1	-0.2	-0.3		1.0	-0.6
48	-0.1	-0.2	-1.3		-1.6	3.5
49	0.1	0.0	0.6		5.7	-3.6
50	0.3	-0.1	0.5		-0.9	1.6
Beschreibende statistische Angaben						
Ø Veränderung	0.0	-0.1	-0.2	1.2	0.3	0.7
Median Änderung	0.0	0.0	-0.3	2.0	0.4	1.0
Max. Abnahme	-1.0	-0.2	-1.6	-21.2	-9.3	-11.0
Max. Zunahme	0.5	0.1	2.1	44.7	7.5	4.6

<sup>1</sup> Leerzellen: Werte nicht berücksichtigt, da Basensättigung > 100 %



Die **effektive Kationenaustauschkapazität** nimmt an den Standorten 1 (-5.4 mmol-/z/100g), 4 (-5.2 mmol/z/100g) und 12 (-9.3 mmol/z/100g) am deutlichsten ab, an den Standorten 23 (+7.5 mmol/z/100g) und 49 (+5.7 mmol/z/100g) sind dagegen die grössten Zunahmen zu verzeichnen (Tabelle 3.8).

Über alle 50 Standorte betrachtet lassen sich die untersuchten Bodenkennwerte in drei Gruppen aufteilen (siehe Tabelle 3.9). Kennwerte, die vorwiegend eine Zunahme gegenüber der Erstbeprobung erfahren haben, sind  $S_{\text{tot}}$ ,  $KAK_{\text{pot}}$ ,  $KAK_{\text{eff}}$ , Ton, Silt, die kristallinen Oxide (Fe, Al und Mn) sowie die wasserlöslichen Anteile der Kationen Ca, Mg, K und Al. Abgenommen haben dagegen im Allgemeinen der  $\text{CaCO}_3$ -Gehalt und die Totalgehalte von C, N sowie  $C_{\text{org}}$ . Keine Tendenz bezüglich Zu- resp. Abnahme konnten für den pH-Wert ( $\text{CaCl}_2$ ) sowie das austauschbare Kalium (K) festgestellt werden.

### Fazit

An insgesamt 39 der 45 Regionalen Dauerüberwachungsstandorte ist der Oberboden entkarbonatisiert, die pH-Werte liegen im schwach sauren bis sehr stark sauren Bereich. Die Standorte auf Talstufe werden von einer Ausnahme abgesehen als Dauerwiesen genutzt. Aufgrund der Düngung weisen sie markant höhere pH-Werte auf als die Standorte auf Wald- oder Alpstufe. Diese Zufuhr von landwirtschaftlichen Hilfsstoffen wirkt sich zudem auf einen erhöhten Anteil an Basensättigung und effektiver Kationenaustauschkapazität aus.

Die Basensättigung der Standorte auf Talstufe ist basenreich bis basengesättigt, diejenige auf Waldstufe ist basenarm bis mittelbasisch. Auf Alpstufe ist die Basensättigung vorwiegend als mittelbasisch zu bezeichnen.

Die effektive Kationenaustauschkapazität ist auf Talstufe hoch bis sehr hoch, auf Alpstufe dagegen mittel bis gering. Zwei Standorte weisen sogar eine sehr geringe  $KAK_{\text{eff}}$  auf (R-DUS 6 und 42).

Im Vergleich zwischen der Erst- und Zweitbeprobung fällt auf, dass die Gehalte verschiedener Parameter zugenommen haben. Infolge zunehmender Bodenverwitterung sind die Zunahmen für kristalline Oxide und wasserlösliche Kationen plausibel. Dagegen können die Zunahmen für  $KAK_{\text{pot}}$ ,  $KAK_{\text{eff}}$ , Ton- und Siltgehalt im Moment nicht zufriedenstellend erklärt werden. Aufgrund der kleinräumigen Variabilität dieser Parameter können bereits geringfügige Unterschiede in der Probenahme dafür verantwortlich sein. Ferner können auch analytische Schwierigkeiten nicht ausgeschlossen werden.



Ergebnisse der Zweitbeprobung-Vergleich mit der Erstbeprobung: Total- und lösliche Gehalte

Tab. 3.9: Veränderungen der Bodenkennwerte zwischen Erst- und Zweitbeprobung. t-Test auf Signifikanz der Veränderungen der Bodenkennwerte.

DUS-Nr.	Bodenkennwerte													Bodenkennwerte												
	pH		CaCO <sub>3</sub>	C <sub>tot</sub>	S <sub>tot</sub>	N <sub>tot</sub>	C <sub>org</sub>	I <sub>V</sub>	KAK		Ton	Silt	amorphe Oxide			kristalline Oxide			austauschbare Kationen							
	H <sub>2</sub> O	CaCl <sub>2</sub>							pot	eff			Fe	Al	Mn	Fe	Al	Mn	Ca	Mg	Na	K	Al			
1	-1	-1	0	-1	1	-1	-1		-1	-1	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0			
2	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	1	0	0	0	-1	1	1	0	0	0	0	1	0			
3	1	0	0	-1	1	-1	-1	0	0	-1	1	1	-1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1			
4	1	1	1	-1	1	0	-1		-1	-1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	-1	0			
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	-1	1			
6	1	1	0	0	1	-1	0	1	-1	0	0	1	-1	-1	0	0	0	1	1	0	0	0	-1			
7	0	-1	0	-1	1	0	0		0	0	0	0	-1	0	-1	1	1	1	1	1	0	-1	0			
8	0	0	0	-1	0	-1	-1	0	-1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	1			
9	0	0	0	-1	1	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	-1	1	1	0	0	0	0	0	0			
10	1	0	0	-1	1	-1	-1		0	0	1	-1	-1	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	0			
11	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0			
12	0	0	0	0	0	0	0	1	0	-1	1	-1	-1	0	-1	1	1	-1	0	1	0	-1	0			
13	0	0	0	0	1	0	0		-1	0	0	0	-1	0	-1	1	1	1	1	0	0	-1	0			
14	-1	-1	0	0	1	1	0	-1	0	0	1	1	-1	-1	0	1	0	1	0	-1	0	0	1			
15	0	0	0	0	-1	-1	0	-1	1	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	1	0	0	0	0	-1			
16	-1	-1	0	-1	0	-1	-1	0	0	0	0	1	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	-1	0			
17	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	1			
18	-1	-1	0	0	1	-1	0	0	0	0	1	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	1			
19	0	-1	-1	0	1	0	0		1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	1	0	0	0			
20	0	0	0	1	-1	0	1	0	0	1	1	0	0	0	-1	1	1	0	1	0	0	1	0			
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	-1	-1	1	1	0	0	0	0	1	1			
22	1	-1	0	-1	1	0	-1	-1	1	1	0	0	-1	-1	0	1	1	1	0	0	0	-1	1			
23	0	0	0	0	1	1	0	-1	1	1	0	0	-1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0			
24	1	0	0	-1	1	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	-1	1	1	1	0	0	0	0	1			
25	-1	-1	-1	0	1	0	0		1	0	1	0	-1	-1	0	1	1	0	1	1	0	1	0			
26	0	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	1	1	0	1	0			
27	1	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	1	0	-1	0	-1	1	0	0	0	0	0	0	0			
28	1	0	0	-1	0	-1	-1	0	-1	0	0	0	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	0	1	0			
29	1	0	-1	-1	-1	0	0	-1	0	-1	0	0	-1	-1	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0			
30	1	0	0	-1	0	0	-1	0	0	0	-1	1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	0	1	-1			
31	0	0	0	0	1	0	0		1	0	1	1	0	0	0	1	1	1	1	-1	0	-1	0			
32	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	-1	-1	0	1	1	0	1	-1	0	0	0			
33	1	0	0	0	1	0	0	-1	1	1	0	0	-1	0	0	1	1	1	1	-1	0	-1	0			
34	0	0	0	1	-1	0	1	-1	1	0	0	-1	-1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	0	0	-1			
35	1	0	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0	-1	0	0	-1			
36	1	0	0	-1	-1	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	0	1	1	0	0	0	0	0	0			
37	0	0	0	-1	1	-1	-1	1	-1	-1	0	0	-1	0	-1	0	1	1	1	0	0	-1	0			
38	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	1	-1	0	-1	-1	1	1	1	1	0	1	1			
39	1	0	0	1	1	-1	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0			
40	1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	0	0	1			
41	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	-1	0	-1	0	0	0	0	1	0	0	1			
42	1	1	0	-1	1	-1	-1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1			
43	1	0	0	-1	1	-1	-1	1	0	1	0	1	-1	-1	0	0	0	0	1	1	0	-1	1			
44	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	0			
45	1	-1	0	0	1	0	0	-1	1	1	1	1	0	0	0	-1	1	0	0	0	0	-1	-1			
46	1	0	-1	-1	0	-1	-1		0	0	0	0	-1	-1	-1	1	1	1	0	1	0	1	0			
47	1	-1	-1	-1	1	-1	-1		0	0	-1	0	-1	-1	-1	0	1	1	-1	0	0	1	0			
48	0	1	1	1	1	0	1		1	1	-1	0	-1	-1	-1	1	1	0	1	1	0	-1	0			
49	0	0	-1	-1	-1	-1	-1		0	-1	1	0	-1	-1	1	-1	0	1	-1	-1	0	1	0			
50	0	0	0	1	-1	0	1		-1	0	1	0	-1	-1	-1	1	1	0	-1	-1	0	1	0			
Übersicht	Anzahl Standorte													Anzahl Standorte												
keine Änderung	22	33	42	20	10	28	21	18	25	29	25	34	16	29	28	22	21	31	23	25	50	21	30			
Zunahme	23	7	2	10	33	4	11	13	17	14	20	11	1	1	1	25	29	18	21	15	0	14	14			
Abnahme	5	10	6	20	7	18	18	9	8	7	5	5	33	20	21	3	0	1	6	10	0	15	6			
Summe Veränderung	28	17	8	30	40	22	29	22	25	21	25	16	34	21	22	28	29	19	27	25	0	29	20			
Summe Standorte	50	50	50	50	50	50	50	40	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50			

<sup>1</sup> Leerzellen: Werte nicht berücksichtigt, da Basensättigung in mindestens einem Fall > 100 %

Legende

- 0

keine Veränderung
- 1

Zunahme
- 1

Abnahme



## 3.6 Filterfunktion

### 3.6.1 Bedeutung für den Boden

In die Luft abgegebene gas- und staubförmige Schmutz- und Schadstoffe werden zum grössten Teil mit den Niederschlägen in die Böden eingespült. Daneben werden auch über die Landwirtschaft (z.B. Kupfer) potentielle Schadstoffe in den Boden eingebracht. In gut gepufferten Böden werden die zugeführten Schadstoffe rasch gebunden und in ihrer Wirkung abgeschwächt. Je nach Art der Stoffe und der Eigenschaften des Bodens werden diese Schadstoffe mehr oder weniger aus dem Stoffkreislauf entzogen. So entsteht aus dem schadstoffhaltigen Niederschlagswasser nach der reinigenden Bodenpassage in der Regel sauberes Grundwasser. Diese Fähigkeit von Böden wird als **Filterfunktion** bezeichnet.

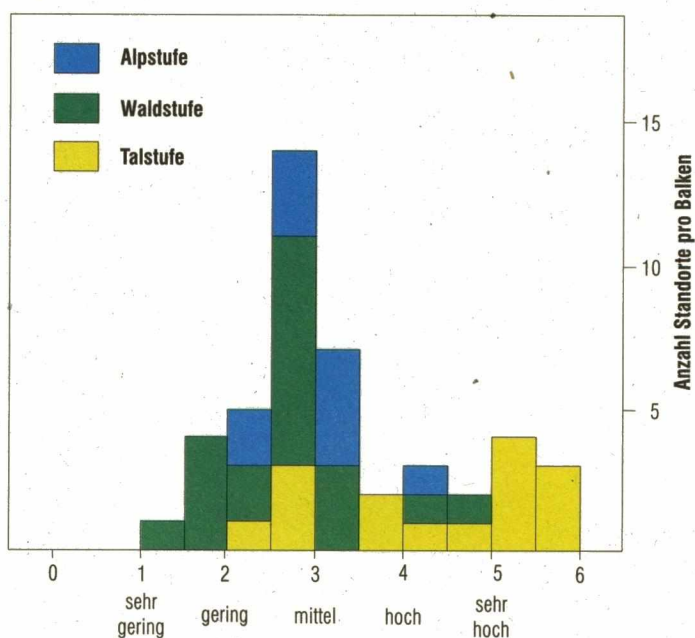
Die Filterfunktion von Böden gegenüber Schwermetallen wird massgeblich durch den pH-Wert sowie durch die Humus- und Tongehalte bestimmt. Stellvertretend für leicht lösliche Schwermetalle wurde die Filterfunktion an den Dauerüberwachungsstandorten für Cadmium berechnet. Cadmium wurde ausgewählt, da es leichter löslich ist als andere Schwermetalle und zudem bereits in geringen Mengen toxisch wirkt. Als Beurteilungskriterium diente die relative Bindungsstärke für Schwermetalle (FSM) gemäss den DVWK-Merkblätter [8]. Es handelt sich dabei um eine Schätzmethode, mit der das Rückhaltevermögen eines Bodens für Schwermetalle mit Hilfe der bodenkundlichen Ansprache im Feld sowie der Bestimmung des pH-Wertes erfolgen kann.

### 3.6.2 Ergebnisse der Zweitbeprobung

Die Resultate zeigen, dass 22 % der Regionalen Überwachungsstandorte eine **relative Bindungsstärke** für Cadmium aufweisen, die als gering respektive sehr gering bezeichnet werden muss. Es sind dies die Standorte in der Surselva (R-DUS 5), dem Hinterrhein (11), dem Schanfigg (18), Prättigau (20), Davos (23), Bregaglia (35), Poschiavo (38 und 39) und dem Calanca (43 und 44). Hier ist die Wirksamkeit der Filterfunktion für Schwermetalle stark eingeschränkt.

Mittlere Bindungsstärken sind an insgesamt 22 der 45 Standorte gemessen worden und knapp ein Drittel aller Standorte weist eine hohe bis sehr hohe Bindungsstärke für Schwermetalle auf.

In Abbildung 3.6 sind die Werte der **relativen Bindungsstärken nach Höhenstufe** geordnet zusammengestellt. Die Resultate machen deutlich, dass insbesondere für die Standorte auf Waldstufe sehr geringe bis mittlere Bindungsstärken vorliegen. Demgegenüber weisen die Standorte auf Talstufe in der Regel hohe bis sehr hohe Bindungsstärken für Schwermetalle auf.

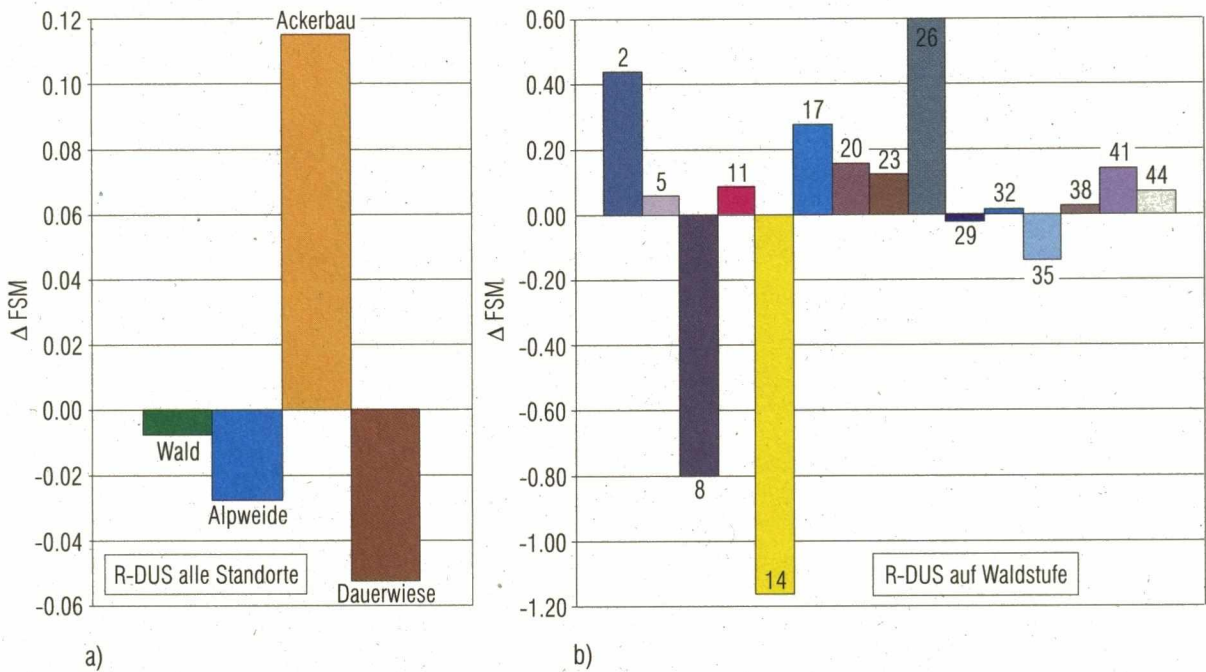


**Abb. 3.6:** Relative Bindungsstärke (FSM) am Beispiel Cadmium eingeteilt nach Höhenstufe.

3.6.3 Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung

An 34 der 50 Dauerüberwachungsstandorten (68 %) hat **keine Veränderung** der relativen Bindungsstärke (d.h. Abweichungen kleiner  $\pm 0.1$ ) zwischen den beiden Probenahmekampagnen stattgefunden (siehe Tabelle 5.1). Eine **Abnahme** der relativen Bindungsstärke ist an 8 Standorten zu verzeichnen. Relevante Abnahmen ( $\geq 0.5$  Einheiten) sind an den Standorten 8 (-0.8), 16 (-0.5) und insbesondere am Standort 14 mit einer Abnahme von 1.2 Einheiten festzustellen (Abbildung 3.7).

**Zunahmen** der relativen Bindungsstärken sind an 8 Standorten zu verzeichnen, die deutlichsten an den Standorten 6 und 26 mit je +0.6 Einheiten. Am Standort 6, z.B., erfolgt die positive Veränderung der relativen Bindungsstärke für Schwermetalle aufgrund der Zunahme des Humusgehaltes. Die aktuelle relative Bindungsstärke von 2.9 deutet jedoch daraufhin, dass die Filterfunktion eingeschränkt ist. Die Zunahme des Humusgehaltes kann aufgrund des gehemmten Abbaus der organischen Substanz im sauren Oberboden zustande kommen.



**Abb. 3.7:** Veränderungen ( $\Delta$ ) der relativen Bindungsstärke (FSM) für Cadmium a) gruppiert nach Landnutzung sowie b) beispielhaft für alle DUS-Waldstandorte (rechts).



Ergebnisse der Zweitbeprobung-Vergleich mit der Erstbeprobung: Total- und lösliche Gehalte

**Tab. 3.10:** Relative Bindungsstärke (FSM) für Schwermetalle im Oberboden; Vergleich der Erst- (LBN GR I) mit der Zweitbeprobung (LBN GR II) am Beispiel von Cadmium.

DUS Nr.	LBN GR I			LBN GR II			Veränderung¹			
	pH <sub>CaCl2</sub>	Humus [%]	FSM	pH <sub>CaCl2</sub>	Humus [%]	FSM	Δ FSM	↓	=	↑
001	7.2	12.4	5.4	7.2	12.3	5.3	-0.1		(=)	
002	4.3	7.4	2.2	4.5	7.8	2.7	0.4			↑
003	5.2	9.0	3.7	5.1	8.8	3.4	-0.2	↓		
004	6.9	11.9	5.3	7.1	12.2	5.3	0.0		(=)	
005	3.5	6.0	1.2	3.5	6.1	1.2	0.1		(=)	
006	4.4	7.6	2.3	4.9	8.4	2.9	0.6			↑
007	7.1	12.2	5.4	7.1	12.2	5.3	0.0		(=)	
008	5.5	9.5	3.9	5.0	8.6	3.1	-0.8	↓		
009	4.8	8.3	3.0	5.0	8.6	3.2	0.2			↑
010	7.1	12.2	5.7	7.1	12.2	5.6	-0.1		(=)	
011	4.1	7.1	2.2	4.2	7.3	2.3	0.1		(=)	
012	4.9	8.4	3.2	4.9	8.5	3.2	-0.1		(=)	
013	6.6	11.4	5.0	6.6	11.3	5.1	0.1		(=)	
014	5.8	10.0	4.1	4.9	8.4	2.9	-1.2	↓↓		
015	4.8	8.3	3.1	4.5	7.8	2.7	-0.4	↓		
016	5.6	9.7	4.2	5.3	9.2	3.7	-0.5	↓		
017	4.6	7.9	2.7	4.7	8.1	3.0	0.3			↑
018	4.2	7.2	2.2	4.1	7.0	2.0	-0.2	↓		
019	7.1	12.2	5.7	6.9	12.0	5.7	0.0		(=)	
020	3.8	6.6	1.6	3.9	6.7	1.8	0.2			↑
021	4.5	7.8	2.9	4.4	7.5	2.7	-0.2	↓		
022	4.8	8.3	3.0	4.8	8.2	2.9	-0.1		(=)	
023	3.6	6.2	1.7	3.7	6.4	1.8	0.1		(=)	
024	4.5	7.8	2.9	4.7	8.1	2.9	0.0		(=)	
025	7.3	12.6	5.6	7.2	12.4	5.6	0.0		(=)	
026	5.7	9.8	4.1	6.0	10.3	4.7	0.6			↑
027	5.4	9.3	4.0	5.5	9.5	4.0	0.1		(=)	
028	5.4	9.3	4.0	5.6	9.7	4.2	0.2			↑
029	6.1	10.5	4.5	6.1	10.5	4.4	0.0		(=)	
030	4.3	7.4	2.7	4.4	7.6	2.7	0.0		(=)	
031	6.1	10.5	5.0	6.1	10.6	4.9	-0.1		(=)	
032	5.0	8.6	3.0	5.0	8.6	3.0	0.0		(=)	
033	4.9	8.4	3.3	4.8	8.3	3.2	-0.1		(=)	
034	4.7	8.1	2.7	4.7	8.1	2.7	0.0		(=)	
035	3.8	6.6	1.8	3.9	6.7	1.6	-0.1		(=)	
036	4.6	7.9	2.8	4.6	7.9	2.6	-0.1		(=)	
037	5.5	9.5	3.9	5.5	9.5	3.8	0.0		(=)	
038	3.8	6.6	1.5	3.7	6.4	1.5	0.0		(=)	
039	4.3	7.4	2.2	4.4	7.5	2.4	-0.1		(=)	
040	4.6	7.9	2.5	4.6	8.0	2.5	0.0		(=)	
041	3.9	6.7	2.5	4.0	7.0	2.6	0.1		(=)	
042	4.2	7.2	2.4	4.4	7.5	2.5	0.1		(=)	
043	4.4	7.6	2.2	4.4	7.5	2.1	-0.1		(=)	
044	4.0	6.9	2.0	4.1	7.0	2.1	0.1		(=)	
045	4.3	7.4	2.7	4.3	7.3	2.6	-0.1		(=)	
046	7.3	12.6	5.2	7.3	12.6	5.2	-0.1		(=)	
047	7.3	12.6	5.3	7.2	12.4	5.3	-0.1		(=)	
048	7.1	12.2	5.2	7.2	12.4	5.3	0.1		(=)	
049	7.0	12.1	5.3	7.0	12.1	5.1	-0.2	↓		
050	6.9	11.9	4.7	7.5	12.9	5.0	0.3			↑
Zusammenfassung:										
keine Änderung			(=)	34	Ø D FSM			0.0		
Zunahme			(↑)	8	Max. Abnahme			-1.2		
Abnahme			(↓)	8	Max. Zunahme			0.6		
Summe Veränderung				16						
¹fett = relevante Veränderung der Bindungsstärke										



**Fazit**

An insgesamt 22 der 50 Standorte des "Langfristigen Bodenüberwachungsprogrammes" ist eine mittlere, an 13 Standorten eine hohe bis sehr hohe Bindungsstärke vorhanden. Weitere 10 Dauerüberwachungsstandorte weisen bereits heute eine geringe respektive sehr geringe relative Bindungsstärke für Schwermetalle auf. Die Filterfunktion ist folglich stark eingeschränkt.

Zwischen Erst- und Zweitbeprobung ergeben sich für 2/3 aller Standorte keine Veränderungen. An jeweils 8 Standorten erfolgt eine Zu- bzw. Abnahme der Bindungsstärke für Schwermetalle. Währenddem sich die Abnahmen zwischen -0.2 und -1.2 Einheiten bewegen, liegen die Zunahmen zwischen +0.2 und +0.6 Einheiten.

Aufgrund des Ausgangsmaterials ist das Filtervermögen der Böden in verschiedenen Teilen des Kantons Graubünden natürlicherweise gering. Folglich ist eine weitere Verringerung der Filterwirkung besonders gravierend, denn im Gegensatz zu kalkhaltigen Böden mit hoher Pufferkapazität, werden die freien Schwermetalle in kalkfreien Böden aus dem Oberboden ausgewaschen. Letztendlich kann der Boden also "eine eigentliche Reinigung" von den Schwermetallen erfahren, die Schwermetallproblematik ist dann aber nicht gelöst, sondern hat sich ins Grundwasser verlagert.

## 3.7 Belastungspotential und Risikogruppe

### 3.7.1 Erläuterung der Methode<sup>10</sup>

Unter Belastungspotential von Böden wird die Möglichkeit einer Umweltbelastung, z.B. durch Schwermetalle, verstanden. Es ist u.a. abhängig von den Bindungsformen und der Konzentration der Schwermetalle im Boden und wird massgebend von den Bodeneigenschaften mitbestimmt. Diese Bodeneigenschaften sind es auch, welche die Verfügbarkeit und Mobilität von Schwermetallen in Böden massgeblich beeinflussen. Daneben spielen die Bindungsformen der Schwermetalle ebenfalls eine wichtige Rolle.

Mit Hilfe der im langfristigen Bodenüberwachungsnetz erhobenen Schwermetallgehalte sowie den relevanten Bodenkennwerten, lassen sich verschiedene Potentiale charakterisieren und für die Beurteilung **aktueller** und **zukünftiger Belastungsrisiken** interpretieren. Ein Belastungsrisiko durch Schadstoffe ist allgemein dann gegeben, wenn diese in biologisch relevanten Konzentrationen verfügbar sind.

Folgende Belastungspotentiale werden unterschieden:

#### **Konzentrationsorientiertes Belastungspotential**

Eingangsgrösse ist der **Totalgehalt** nach VBBo. Dieses Belastungspotential stellt das (maximal) wirksame **Schwermetallpotential** an einem Standort dar.

#### **Wirkungsorientiertes Belastungspotential**

Eingangsgrösse ist der **lösliche Gehalt** nach VBBo. Dieses Belastungspotential dient zur Beurteilung des **aktuellen Belastungsrisikos**.

#### **Prozessorientiertes Belastungspotential**

Eingangsgrösse ist die **relative Bindungsstärke** für Schwermetalle (FSM). Dieses Belastungspotential ermöglicht eine Beurteilung der im Boden ablaufenden Vorgänge (**Prozesse**).

<sup>10</sup> Die folgenden Ausführungen stellen im Wesentlichen eine Zusammenfassung des Kapitels 3.5 der Erstauswertung [3] dar. Detaillierte Ausführungen siehe dort.



Eine **Prognose** des zukünftigen Belastungsrisikos eines Bodens (Boden als Emittent) ist also auf der Grundlage der beschriebenen Belastungspotentiale möglich. Dauerüberwachungsstandorte lassen sich so charakterisieren und bezüglich des Belastungsrisikos in vier Gruppen unterteilen, wobei das Belastungsrisiko von Gruppe I zu Gruppe IV zunimmt.

### Risikogruppe I

Die Standorte dieser Gruppe weisen Totalgehalte auf, welche unter den entsprechenden Richtwerten liegen. Das konzentrationsorientierte Belastungspotential ist gering. Die pH-Werte liegen im schwach sauren bis schwach alkalischen Bereich, so dass die Schwermetalle in den Oberböden dieser Standorte immobilisiert werden. Die Bindungsstärken gegenüber Schwermetallen sind sowohl in den Ober- als auch in den Unterböden hoch ( $FSM > 4$ , d.h. Filterfunktion ist intakt) und die relativen Löslichkeiten gering, so dass praktisch **kein** prozessorientiertes Belastungspotential vorliegt.

Standorte dieser Gruppe sind insgesamt als schwach belastet zu bezeichnen. Ein Belastungsrisiko ist aufgrund der geringen Löslichkeit der Schwermetalle (keine Richtwertüberschreitungen), d.h. geringes wirkungsorientiertes Belastungspotential, und hoher Bindungsstärken gegenüber Schwermetallen auch längerfristig unwahrscheinlich.

### Risikogruppe II

Im Unterschied zur Risikogruppe I sind die Totalgehalte deutlich erhöht. Eine unmittelbare Gefährdung von Organismen ist aufgrund der Immobilisierung der Schwermetalle derzeit jedoch nicht anzunehmen. Längerfristig und insbesondere bei Nutzungsänderungen (Versauerung) kann das Risiko von Belastungen allerdings zunehmen.

### Risikogruppe III

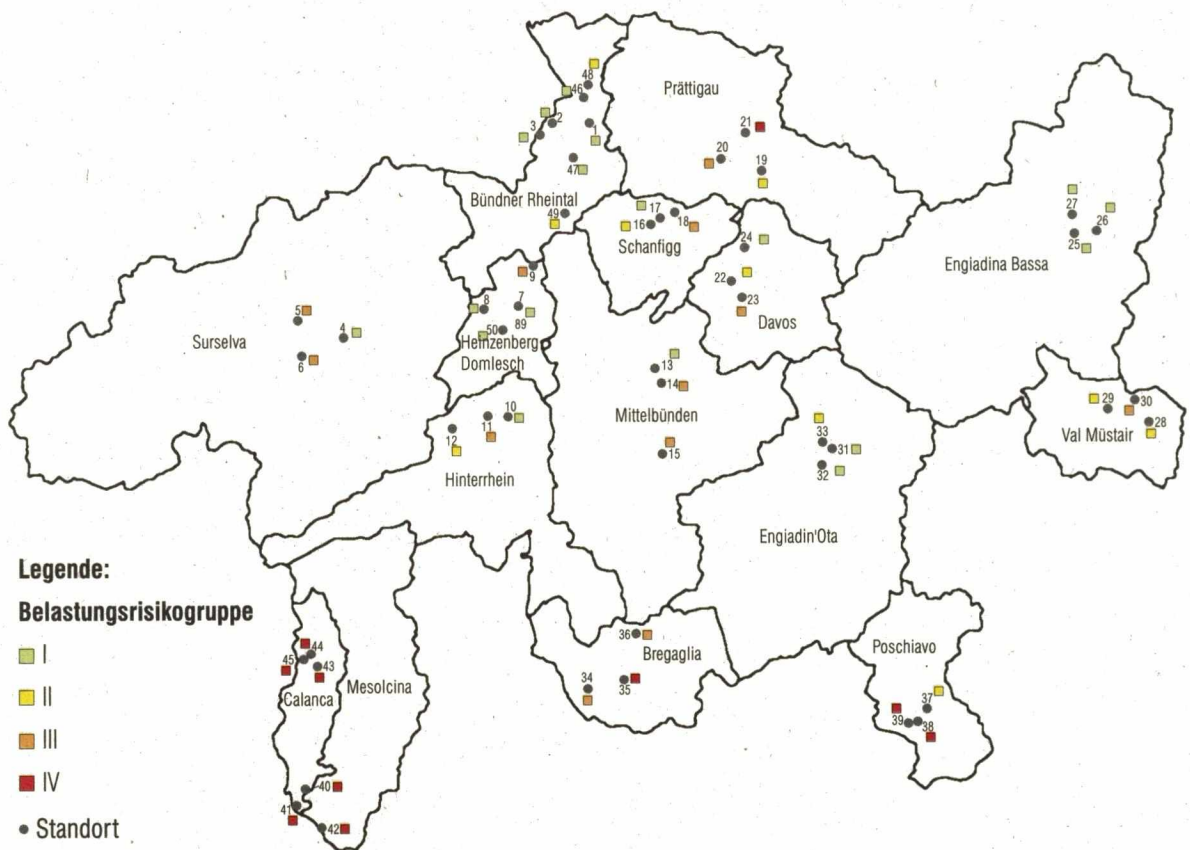
Im Unterschied zur Risikogruppe II werden die Richtwerte für die löslichen Gehalte teilweise überschritten. Den erhöhten Schwermetalllöslichkeiten entsprechen Bindungsverhältnisse, welche mit der fortgeschrittenen Bodenversauerung erklärt werden können. In diesen Böden kann eine erhöhte Mobilität, insbesondere für die Schwermetalle Cadmium, Zink und Nickel, angenommen werden. Die Filterfunktion dieser Standorte ist im Oberboden als eingeschränkt und im Unterboden als intakt zu bezeichnen. Auf diesen sauren Standorten kann ein aktuelles Belastungsrisiko nicht mehr ausgeschlossen werden. Bei Richtwertüberschreitungen der löslichen Gehalte ist ein aktuelles Belastungsrisiko vorhanden.

### Risikogruppe IV

Im Unterschied zur Risikogruppe III weisen diese Standorte auch im Unterboden saure pH-Werte auf. Bezüglich der Schwermetallmobilität im Oberboden sind sie mit denen der Gruppe III vergleichbar. Eine Verschärfung der Belastungssituation entsteht jedoch dadurch, dass die Böden dieser Gruppe profilumfassend ein eingeschränktes Rückhaltevermögen gegenüber Schwermetallen aufweisen. Diese werden folglich in den Untergrund verlagert und eine Migration ins Grundwasser ist nicht auszuschliessen.

### 3.7.2 Ergebnisse der Zweitbeprobung

Das **geringste Belastungsrisiko** (Risikogruppe I) ist an 7 Standorten auf Talstufe, an 5 Standorten auf Waldstufe und an 3 Standorten auf Alpstufe (von jeweils 15 Standorten) anzutreffen. Die einzelnen Belastungspotentiale und die Einteilung in die entsprechende Risikogruppe ist in Tabelle 3.11 aufgelistet, die geographische Verteilung der Risikogruppen geht aus Abbildung 3.8 hervor. Standorte, an denen **keine aktuellen Risiken** wahrscheinlich sind, aufgrund der erhöhten Schwermetallanreicherungen im Oberboden jedoch längerfristig mit einem gewissen Belastungsrisiko gerechnet werden muss (Risikogruppe II), kommen vorwiegend auf Talstufe vor (5 Standorte). Daneben ist die Risikogruppe II auch an einem Standort auf Waldstufe und an 2 Standorten auf Alpstufe vertreten. Ein **gewisses Risiko** vorhanden ist dagegen in der Risikogruppe III aufgrund der fortgeschrittenen Bodenversauerung im Oberboden und den damit zum Teil erhöhten löslichen Gehalten. Diese Situation wird an 12 der 45 Regionalen Dauerüberwachungsstandorte beobachtet. Neben einem Standort auf Talstufe betrifft es auch 5 Standorte auf Wald- und 6 Standorte auf Alpstufe.



**Abb. 3.8:** Belastungsrisikogruppe der Dauerüberwachungsstandorte im "Langfristigen Bodenüberwachungsnetz Graubünden".

Bereits profilumfassend saure pH-Werte weisen die Standorte der Risikogruppe IV auf. An den insgesamt 10 Standorten kann ein **aktuelles Belastungsrisiko** nicht ausgeschlossen werden, da insbesondere durch Verlagerung Schwermetalle ins Grundwasser gelangen können. Auf Talstufe sind es die Standorte in der Mesolcina (R-DUS 40) und in der Calanca (43). Sowohl auf Wald- als auch auf Alpstufe in der Risikogruppe IV sind die Standorte der Planungsregionen Poschiavo (R-DUS 38, 39), Mesolcina (R-DUS 41, 42) und Calanca (R-DUS 44, 45).



### 3.7.3 Vergleich der Erst- mit der Zweitbeprobung

Gegenüber der Erstbeprobung haben sich **keine nennenswerten Änderungen** ergeben. Aufgrund der fortschreitenden Versauerung des Bodens wurde an 5 der total 50 Dauerüberwachungsstandorte eine ungünstigere Prognose betreffend dem längerfristigen Belastungsrisiko abgeben. Dies betrifft die Standorte 2, 8, 17, 22 und 32.

#### Fazit

Die Resultate machen deutlich, dass in den Risikogruppen III und IV vor allem Wald- und Alpstandorte vorkommen und die Standorte der Risikogruppe IV überwiegend auf der Alpensüdseite liegen. Diese Standorte auf kalkfreiem Ausgangsgestein weisen natürlicherweise eine geringe Pufferungskapazität gegenüber Säuren auf. Als Folge davon sind die pH-Werte profilumfassend sauer bis sehr stark sauer und Schwermetalle können in Lösung gehen und verlagert werden. Eine Gefährdung des Grundwassers kann daher nicht mehr in jedem Fall ausgeschlossen werden.



Tab. 3.11: Belastungspotential und Risikogruppen am Beispiel von Cadmium

DUS Nr.	Belastungspotentiale (BP)						Risikogruppen	
	konzentrationsorientiert		wirkungsorientiert		prozessorientiert			
	Cd-Totalgehalte		Lösliche Cd-Gehalte		FSM (1)		GR I	GR II
GR I	GR II	GR I	GR II	GR I	GR II			
	[mg/kg]		[mg/kg]					
1	0.242	0.205	0.013	0.005	5.4	5.3	I	I
2	0.150	0.180	0.013	0.005	2.2	2.7	I	I (III)
3	0.355	0.408	0.013	0.005	3.7	3.4	I	I
4	0.227	0.253	0.013	0.005	5.3	5.3	I	I
5	0.060	0.068	0.046	0.012	1.2	1.2	III	III
6	0.068	0.060	0.013	0.005	2.3	2.9	III	III
7	0.373	0.418	0.013	0.005	5.4	5.3	I	I
8	0.152	0.122	0.013	0.005	3.9	3.1	I	I (III)
9	0.207	0.220	0.013	0.005	3.0	3.2	III	III
10	0.330	0.362	0.013	0.005	5.7	5.6	I	I
11	0.131	0.132	0.013	0.005	2.2	2.3	III	III
12	0.261	0.231	0.013	0.005	3.2	3.2	II	II
13	0.390	0.431	0.013	0.005	5.0	5.1	I	I
14	0.248	0.263	0.013	0.005	4.1	2.9	III	III
15	0.363	0.350	0.013	0.005	3.1	2.7	III	III
16	0.454	0.565	0.013	0.005	4.2	3.7	II	II
17	0.232	0.292	0.013	0.005	2.7	3.0	I	I (II)
18	0.138	0.124	0.013	0.005	2.2	2.0	III	III
19	0.341	0.449	0.013	0.005	5.7	5.7	II	II
20	0.139	0.150	0.013	0.012	1.6	1.8	III	III
21	0.232	0.258	0.013	0.005	2.9	2.7	IV	IV
22	0.200	0.198	0.013	0.005	3.0	2.9	II	II (III)
23	0.188	0.188	0.025	0.013	1.7	1.8	III	III
24	0.243	0.192	0.013	0.005	2.9	2.9	I	I
25	0.191	0.218	0.013	0.005	5.6	5.6	I	I
26	0.126	0.179	0.013	0.005	4.1	4.7	I	I
27	0.407	0.378	0.013	0.005	4.0	4.0	I	I
28	0.192	0.190	0.013	0.005	4.0	4.2	II	II
29	0.199	0.170	0.013	0.005	4.5	4.4	II	II
30	0.618	0.630	0.013	0.011	2.7	2.7	III	III
31	0.293	0.299	0.013	0.005	5.0	4.9	I	I
32	0.121	0.121	0.013	0.005	3.0	3.0	I	I (III)
33	0.273	0.288	0.013	0.005	3.3	3.2	II	II
34	0.191	0.200	0.013	0.005	2.7	2.7	III	III
35	0.089	0.070	0.043	0.016	1.8	1.6	IV	IV
36	0.153	0.120	0.013	0.005	2.8	2.6	III	III
37	0.651	0.721	0.013	0.005	3.9	3.8	II	II
38	0.099	0.117	0.025	0.016	1.5	1.5	IV	IV
39	0.177	0.212	0.013	0.005	2.2	2.4	IV	IV
40	0.206	0.242	0.013	0.005	2.5	2.5	IV	IV
41	0.168	0.179	0.058	0.018	2.5	2.6	IV	IV
42	0.223	0.204	0.033	0.005	2.4	2.5	IV	IV
43	0.231	0.233	0.013	0.014	2.2	2.1	IV	IV
44	0.180	0.164	0.013	0.018	2.0	2.1	IV	IV
45	0.432	0.449	0.013	0.013	2.7	2.6	IV	IV
46	0.234	0.280	0.013	0.005	5.2	5.2	I	I
47	0.239	0.260	0.013	0.005	5.3	5.3	I	I
48	0.317	0.580	0.013	0.005	5.3	5.1	II	II
49	0.554	0.330	0.013	0.005	5.2	5.3	II	II
50	0.110	0.110	0.013	0.005	4.7	5.0	I	I

<sup>1</sup>Relative Bindungsstärke (FSM) gegenüber Cd: 1 = sehr gering, 2 = gering, 3 = mittel, 4 = stark, 5 = sehr stark



## 4. Folgerungen

Durch die nun vorliegenden Resultate der Zweitbeprobung ist es erstmals möglich, die Entwicklungen wichtiger Parameter im "Langfristigen Bodenüberwachungsprogramm des Kantons Graubünden" über eine Zeitspanne von 5 Jahren hinweg zu verfolgen.

Generell lässt sich feststellen, dass sich die Resultate der Erstbeprobung bestätigen liessen. 5 Jahre nach der Erstbeprobung sind naturgemäss nur geringfügige Unterschiede festgestellt worden. Im Ökosystem Boden sind es jedoch insbesondere schleichende Veränderungen, die das System langfristig nachhaltiger beeinflussen als einmalige Grossereignisse. Deshalb gebührt der Überwachung dieser Prozesse grosse Aufmerksamkeit.

Die an den ausgewählten Immissionsstandorten gemessenen Schwermetallkonzentrationen machen deutlich, dass im Kanton Graubünden weniger die Schwermetalleinträge durch menschliche Tätigkeiten, als vielmehr die zum Teil speziellen standörtlichen Gegebenheiten der Ausgangssubstrate eine intensive Bodenüberwachung notwendig machen.

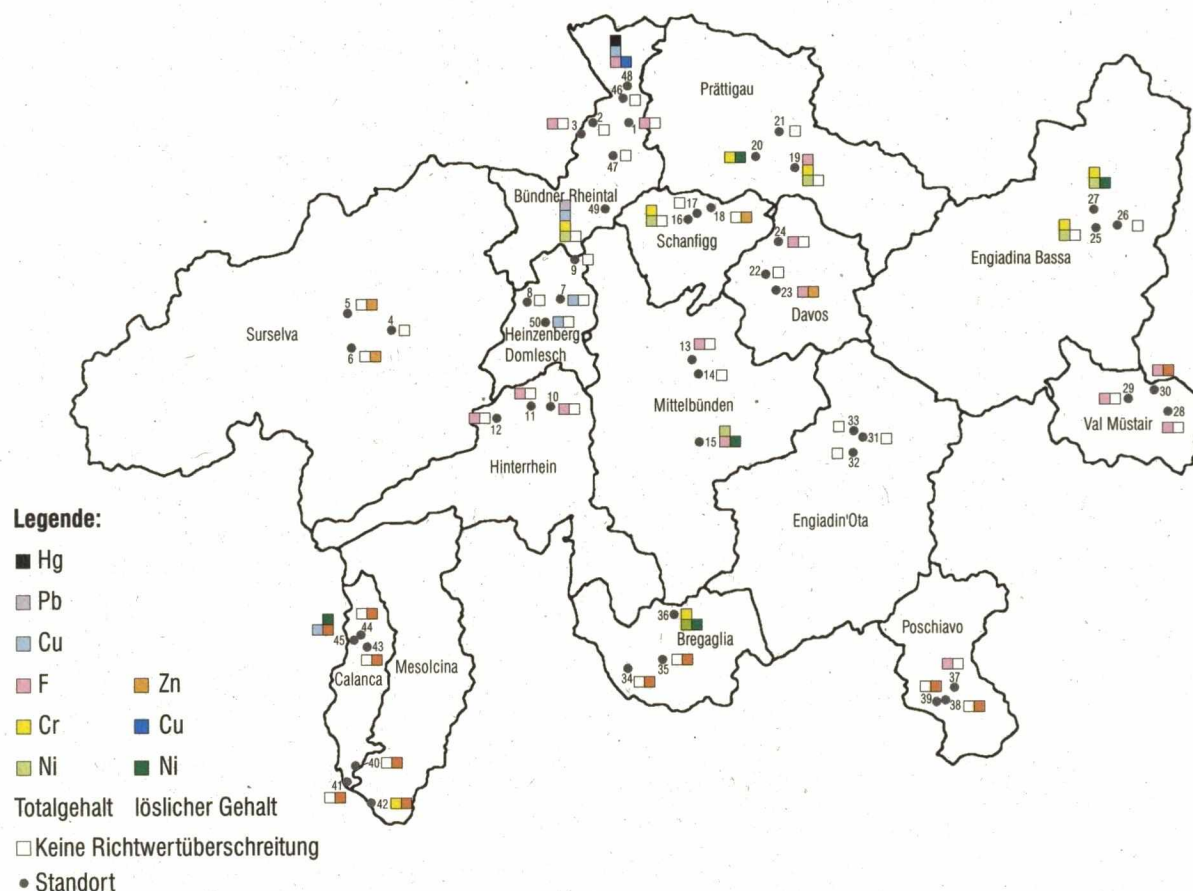
Aufgrund der vorliegenden Resultate können die in Kapitel 1.4 (Zielsetzungen) formulierten Ziele wie folgt beantwortet werden:

### In welchem Masse treten heute Richtwertüberschreitungen auf und was sind die Gründe dafür?

- ◆ An 30 % aller Standorte wird der Richtwert für Fluor (F) im Totalgehalt überschritten, 16 % derjenige für Chrom (Cr) und für Nickel (Ni) an 14 %. Die Gründe liegen in den hohen geogenen Konzentrationen der Ausgangsgesteine. Insbesondere granithaltige Gesteine sowie Pelite des Bündnerschiefers und des Flysches weisen sehr hohe geogene Fluorgehalte auf. Auch die Richtwertüberschreitungen von Nickel und Chrom im Kanton Graubünden sind auf die hohen geogenen Gehalte im Ausgangsgestein zurückzuführen.
- ◆ Die Richtwertüberschreitungen (Totalgehalt) an 5 Standorten für Kupfer sind dagegen auf menschliche Tätigkeiten zurückzuführen, ebenso wie diejenigen für Blei (Pb) und Quecksilber (Hg). Für diese Elemente werden Richtwertüberschreitungen an jeweils einem Standort gemessen. Von zwei Ausnahmen für Kupfer abgesehen, beschränken sich diese Richtwertüberschreitungen auf die Immissions-Dauerüberwachungsstandorte, die gezielt an belasteten Standorten eingerichtet wurden.
- ◆ Richtwertüberschreitungen in den löslichen Gehalten treten für Zink an 15 Standorten auf. An 5 Standorten sind die Vorsorgewerte für Nickel und an einem Standort für Kupfer überschritten. Diese Richtwertüberschreitungen entstehen aufgrund der sauren pH-Werte und der hohen geogenen Gehalte.

### Wo befinden sich die Standorte mit Richtwertüberschreitungen?

- ◆ Mit Ausnahme der Engiadina'Ota weisen sämtliche Raumplanungsregionen Standorte mit Richtwertüberschreitungen auf (siehe Abbildung 3.9).
- ◆ Richtwertüberschreitungen im **Schwermetall-Totalgehalt** kommen in den Planungsregionen Bündner Rheintal, Heinzenberg/Domleschg, Hinterrhein, Mittelbünden, Schanfigg, Prättigau, Davos, Engiadina Bassa, Val Müstair, Bregaglia, Poschiavo, Mesolcina und Calanca vor.
- ◆ Richtwertüberschreitungen für **lösliche Schwermetallgehalte** wurden auf Standorten der Alpennordseite ausschliesslich auf den Stufen Wald und Alp gemessen. Dagegen weisen in den Regionen Bregaglia, Mesolcina und Calanca alle Standorte Richtwertüberschreitungen für lösliche Schwermetallgehalte auf.



**Abb. 3.9:** Standorte im "Langfristigen Bodenüberwachungsnetz Graubünden" mit Richtwertüberschreitungen gemäss VBBo im Totalgehalt bzw. im löslichen Gehalt.

### In welchem Masse treten Veränderungen des allgemeinen Bodenzustandes auf?

Neben den Richtwerten der VBBo sind insbesondere die allgemeinen Bodenkenngrößen wichtige Indikatoren für die Beurteilung des Bodenzustandes im Hinblick auf eine umfassende Erfassung der Bodenfruchtbarkeit. Der Boden muss deswegen als Schnittstelle zwischen Luft und Grundwasser angesehen werden. Im Sinne der Vorsorge gemäss Art. 1 Abs. 2 USG [11] gilt es, die Verlagerung von Schadstoffen ins Grundwasser langfristig zu verhindern. Folgende Entwicklungen laufen diesem Ziel zuwider:

- ♦ **Abnahme des pH-Wertes:** Aufgrund der natürlichen Bodenverwitterung tritt eine allmähliche Versauerung der Böden ein. Durch Verbrennung von fossilen Brennstoffen wird dieser Prozess beschleunigt. Bei sauren pH-Werten werden Tonminerale zerstört. Dieser Vorgang ist irreversibel und bewirkt eine Abnahme der Tauscherplätze für Nährstoffe. Zudem steigt bei sauren Verhältnissen die Löslichkeit für verschiedene Schwermetalle wie z.B. Zink, Cadmium und Blei stark an und in der Folge können diese verlagert werden.

Grundsätzlich drohen Säurebelastungen das Ökosystem zu destabilisieren. Insgesamt 8 der 15 Standorte (53 %) weisen bereits heute einen stark sauren pH-Wert im Oberboden auf. Vor diesem Hintergrund ist die Entwicklung der Versauerung, insbesondere die Intensität der fortschreitenden Versauerung des Unterbodens von Waldstandorten, als vordringliches Überwachungsziel zu betrachten.

Beispiele: Standorte 6 und 14. Der pH-Wert ging um 0,5 respektive 1,0 pH-Einheiten zurück.



## Folgerungen

- ♦ **Abnahme der Kationenaustauschkapazität:** Bedingt durch eine fortschreitende Versauerung wird ein immer grösserer Anteil der Austauscherplätze durch Wasserstoff- und Aluminiumionen (Pflanzengift) eingenommen. Dies geschieht auf Kosten der Nährelemente Kalzium, Magnesium, Natrium und Kalium. Bei sehr stark sauren Bodenverhältnissen verarmen langfristig die Böden. Als Folge davon geht einerseits die Gefügestabilität zurück, andererseits wird die Pflanzenvielfalt eingeschränkt.

Beispiele: Standorte 1, 4 und 12. Die Kapazität ging um rund 5 resp. 9 mmol/z/100g zurück.

Eng verknüpft mit der Abnahme der Kationenaustauschkapazität ist die Filterfunktion gegenüber Schwermetallen.

- ♦ **Abnahme der Filterfunktion:** Rund 22 % aller Standorte weisen geringe bis sehr geringe relative Bindungsstärken für Schwermetalle auf, so dass die Böden ihre Funktion als Schad- aber auch als Nährstoffspeicher nicht mehr (voll und ganz) erfüllen können. Die Filtereigenschaften sind bereits heute an 10 der 45 Regionalen Dauerüberwachungsstandorten gering bzw. sehr gering. Dieses eingeschränkte Rückhaltevermögen zeigt sich beispielsweise auch darin, dass die Konzentrationen im löslichen Gehalt bei der Zweitbeprobung gegenüber der Erstbeprobung tendenziell abnehmen. Die leicht löslichen Schwermetalle wurden zum Teil bereits aus dem Oberboden ausgewaschen. In diese Gruppe fallen beispielsweise 7 der 15 Standorte auf Waldstufe und 2 auf Alpstufe. Insbesondere im Hinblick auf allfällige Extensivierungsmassnahmen müssen diese Entwicklungen überwacht werden (Risikogruppe III und IV).

Beispiele: Standorte 8 (FSM -0.8), 16 (FSM -0.5) und insbesondere Standort 14 mit einer Abnahme von 1.2.

### Besteht die Möglichkeit das Monitoringprogramm zu optimieren? Welches sind die zukünftigen Prioritäten?

- ♦ Im Sinne einer Bündelung der Mittel müssen die Regionalen Dauerüberwachungsstandorte bezüglich ihrer Eignung für das Bodenmonitoring überprüft werden. Grundsätzlich soll an allen Standorten ein Minimalprogramm durchgeführt werden. Darüber hinaus ist ein abgestuftes Vorgehen sinnvoll, so dass je nach Fragestellung weitere bodenchemische oder bodenphysikalische Parameter erhoben werden können.  
Für die Dauerüberwachungsstandorte des langfristigen Bodenüberwachungsprogrammes sollten die wichtigsten bodenphysikalischen Kenngrössen erhoben werden, dies nicht zuletzt auch im Hinblick auf den Vollzug der VBBo sowie der Früherkennung von Strukturschäden. Aufgrund der Wechselwirkungen zwischen chemischen und physikalischen Parametern können so die wirksamen Prozesse besser verstanden werden.
- ♦ Die bisher im LBN Graubünden schwach repräsentierten ackerbaulich genutzten Standorte sind im Hinblick auf die nun vorhandenen Richtwerte für Erosion (VBBo, Anhang 3) auszuwählen und ins Monitoringprogramm aufzunehmen.
- ♦ An den 45 Regionalen Dauerüberwachungsstandorten wird festgehalten. Somit werden auch in Zukunft pro Raumplanungsregion drei Standorte überwacht. Aufgrund der Eignung für das Bodenmonitoring und um die Kosten im Gleichgewicht zu halten, wird jedoch in Zukunft der Probenahmerhythmus einzelner Standorte verlängert.

## 5. Ausblick

Das bestehende Boden-Monitoringprogramm stellt ein wichtiges Instrument zur Überwachung des Ökosystems Boden dar. In Zukunft muss eine Verknüpfung mit weiteren Umweltbereichen, insbesondere im Hinblick auf ein Gesamtrisiko angestrebt werden. Im Vordergrund stehen dabei die Bereiche Luftdeposition und Grundwasser.

Aufgrund der Erkenntnisse der Erst- und Zweitbeprobung können nun im "Langfristigen Bodenüberwachungsprogramm des Kantons Graubünden" gezielt Schwerpunkte gesetzt werden. Neben der Überwachung der Bodenversauerung steht die Erfassung der bodenphysikalischen Parameter, insbesondere auf landwirtschaftlich genutzten Flächen, im Vordergrund.

Bedingt durch das revidierte Umweltschutzgesetz ist im Bereich Boden eine neue Verordnung (VBBo) in Kraft getreten. Weitere Ausführungsbestimmungen sind in Bearbeitung. Im Sinne einer Gesamtstrategie sowie einem effizienten Einsatz der vorhandenen Mittel werden die weiteren Schritte des Monitoringprogrammes auf diese Entwicklungen abgestimmt.

## 6. Publikationen

- [1] Konzept zum qualitativen Bodenschutz im Kanton Graubünden. Amt für Umwelt Graubünden. November 1989.
- [2] Konzept für die zweite Untersuchung des langfristigen Bodenbeobachtungsnetzes des Kantons Graubünden (LBN GR). Amt für Umwelt Graubünden. Mai 1996.
- [3] Langfristiges Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Graubünden. Bericht über die Auswertung der Erstbeprobung 1989-1994. Amt für Umwelt Graubünden. November 1997.
- [4] Langfristiges Bodenbeobachtungsnetz des Kantons Graubünden. Bericht über die Auswertung der Zweitbeprobung - Interner Expertenbericht. Amt für Umwelt Graubünden. Februar 1999.
- [5] Tuchschild, M., Quantifizierung und Regionalisierung von Schwermetall- und Fluorgehalten bodenbildender Gesteine der Schweiz. Umwelt-Materialien Nr. 32 Boden. Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL). Bern 1995.
- [6] AG Boden, Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Auflage. Hannover 1996.
- [7] Klassifikation der Böden der Schweiz. Profiluntersuchung, Klassifikationssystem, Definition der Begriffe, Anwendungsbeispiele. Eidg. Forschungsanstalt für landwirtschaftlichen Pflanzenbau. Zürich-Reckenholz 1992.
- [8] DVWK. Merkblätter zur Wasserwirtschaft 212/1988. Filtereigenschaften des Bodens gegenüber Schadstoffen. Verlag Paul Parey. Hamburg 1988.
- [9] Scheffer/Schachtschabel. Lehrbuch der Bodenkunde. 14 Auflage. Ferdinand Enke Verlag. Stuttgart 1998.
- [10] VBBo. Verordnung über Belastungen des Bodens vom 1. Juli 1998. SR 814.12.
- [11] USG. Bundesgesetz über den Umweltschutz (Umweltschutzgesetz) vom 7. Oktober 1983 (Stand am 10. Dezember 1997). SR 814.01.





Anhang 1 Steckbriefe der 45 Regionalen und 5 Immissions-Dauerüberwachungsstandorte, R-DUS und I-Dus

R-DUS-Standort 1

Region <sup>1</sup> : Bündner Rheintal		Gemeinde: Igis	Stufe <sup>2</sup> : Tal		Nutzung: Wiese
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
540	Schwemmfächer	Alluvionen	Kalkbraunerde	alkalisch	mässig tiefgründig

Bemerkungen: durch Hangwasser beeinflusst

R-DUS-Standort 2

Region: Bündner Rheintal		Gemeinde: Untervaz	Stufe: Wald		Nutzung: Fichtenwald
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1250	Flachhang	Kalkfels mit Moräne	Regosol	sauer	ziemlich flachründig

Bemerkungen: stark kieshaltig, 42 cm Moränenmaterial über Fels

R-DUS-Standort 3

Region: Bündner Rheintal		Gemeinde: Untervaz	Stufe: Alp		Nutzung: Alpweide
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1770	Flachhang	Moräne	Braunerde	schwach sauer	tiefgründig

R-DUS-Standort 4

Region: Surselva		Gemeinde: Vella	Stufe: Tal		Nutzung: Ackerbau
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1220	Hangterrasse	Kolluvium mit Tonschiefer	Kalkbraunerde	alkalisch	mässig tiefgründig

Bemerkungen: Ackerbau bis 1980 und seit 1992 dazwischen Wiese, Ziegelreste in Pflugschicht

R-DUS-Standort 5

Region: Surselva		Gemeinde: Obersaxen	Stufe: Wald		Nutzung: Fichtenwald
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1570	Hangterrasse	Moräne; Silikat, Tonschiefer	Eisenpodsol	stark sauer	mässig tiefgründig

R-DUS-Standort 6

Region: Surselva		Gemeinde: Vigogn	Stufe: Alp		Nutzung: Alpweide
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
2010	Hangfuss	Hangschutt; Tonschiefer	Braunpodsol	sauer	mässig tiefgründig

Bemerkungen: verdichteter Oberboden durch Tritt und Ausbringung von Gülle

<sup>1</sup> Region steht hier für Raumplanungsregion

<sup>2</sup> Stufe steht hier für Höhenstufe



**R-DUS-Standort 7**

Region: Heinzenber/Domleschg    Gemeinde: Paspels    Stufe: Tal    Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
855	Ebene	Hangschutt; Bündnerschiefer	Kalkbraunerde	alkalisch	sehr tiefgründig

**R-DUS-Standort 8**

Region: Heinzenber/Domleschg    Gemeinde: Präz    Stufe: Wald    Nutzung: Fichtenwald

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1275	Hangterrasse	Moräne; Kristallin, Sandstein	Braunerde	sauer	tiefgründig

**R-DUS-Standort 9**

Region: Heinzenber/Domleschg    Gemeinde: Scheid    Stufe: Alp    Nutzung: Alpwiede

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1955	Ebene	Kolluvium; Bündnerschiefer	Braunpodsol	sauer	tiefgründig

Bemerkungen: ca. 1 Meter mächtige Moränenauflage

**R-DUS-Standort 10**

Region: Hinterrhein    Gemeinde: Donath    Stufe: Tal    Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1010	Schuttkegel	Kolluvium über Bachschutt	Kalkbraunerde	alkalisch	mässig tiefgründig

Bemerkungen: Entfernung zur Nationalstrasse A 13 beträgt ca. 150 Meter

**R-DUS-Standort 11**

Region: Hinterrhein    Gemeinde: Casti/Wergenstein    Stufe: Wald    Nutzung: Fichtenwald

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1945	Hangterrasse	Moräne; viel Quarz, wenig Kalk	Braunerde	stark sauer	mässig tiefgründig

**R-DUS-Standort 12**

Region: Hinterrhein    Gemeinde: Casti/Wergenstein    Stufe: Alp    Nutzung: Alpwiede

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
2240	Flachhang	Moräne über Tonschiefer	saure Braunerde	sauer	mässig tiefgründig

Bemerkungen: höchstgelegener Dauerüberwachungsstandort des LBN GR

**R-DUS-Standort 13**

Region: Mittelbünden    Gemeinde: Alvaneu    Stufe: Tal    Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1022	Hangterrasse	Moräne auf fluvialer Terrasse	Phaeozem	neutral	tiefgründig

Bemerkungen: künstliche Aufschüttung beim Bau der RhB entstanden, Kohleschicht in 107-110cm Tiefe

**R-DUS-Standort 14**

Region: Mittelbünden		Gemeinde: Filisur		Stufe: Wald		Nutzung: Fichtenwald
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit	
1375	Flachhang	Moräne und Hangschutt	Humuseisenpodsol	sauer	ziemlich flachgründig	

**R-DUS-Standort 15**

Region: Mittelbünden		Gemeinde: Tinizong		Stufe: Alp		Nutzung: Alpwiede
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit	
2055	Kuppe, Rücken	Hangschutt, Flussablagerungen	Braunpodsol	sauer	mässig tiefgründig	

**R-DUS-Standort 16**

Region: Schanfigg		Gemeinde: Peist		Stufe: Tal		Nutzung: Wiese
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit	
1430	Hangterrasse	Moräne; Kalkstein	Braunerde	schwach sauer	mässig tiefgründig	

Bemerkungen: Rutschgebiet

**R-DUS-Standort 17**

Region: Schanfigg		Gemeinde: Peist		Stufe: Wald		Nutzung: Fichtenwald
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit	
1510	Hangterrasse	Moräne; Kalksande	saure Braunerde	sauer	ziemlich flachgründig	

**R-DUS-Standort 18**

Region: Schanfigg		Gemeinde: Peist		Stufe: Alp		Nutzung: Alpwiede
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit	
2015	Flachhang	Moräne; Bündnerschiefer, Flysch	Braunpodsol	stark sauer	mässig tiefgründig	

Bemerkungen: Verdichtung durch Tritt

**R-DUS-Standort 19**

Region: Prättigau		Gemeinde: Klosters-Serneus		Stufe: Tal		Nutzung: Wiese
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit	
1005	Schuttkegel	Hangschutt; Kalkstein	Kalkbraunerde	alkalisch	mässig tiefgründig	

Bemerkungen: Düngeversuch AGFF

**R-DUS-Standort 20**

Region: Prättigau		Gemeinde: Conters		Stufe: Wald		Nutzung: Fichtenwald
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit	
1345	Steilhang	Moräne; Silikat, Flysch	Braunpodsol	stark sauer	tiefgründig	

Bemerkungen: Silikate und Serpentin bis 120 cm Tiefe, darunter Kalk und Dolomit



**R-DUS-Standort 21**

Region: Prättigau      Gemeinde: Küblis      Stufe: Alp      Nutzung: Alpwiede

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1980	Rutschhang	Moräne; Tonschiefer, Flysch	Braunerde-Gley	sauer	ziemlich flachgründig

**R-DUS-Standort 22**

Region: Davos      Gemeinde: Davos      Stufe: Tal      Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1510	Schuttkegel	Kolluvium; Kristallin	saure Braunerde	sauer	tiefgründig

Bemerkungen: Entfernung zur Kantonsstrasse und RhB-Linie beträgt 50 - 70 Meter

**R-DUS-Standort 23**

Region: Davos      Gemeinde: Davos      Stufe: Wald      Nutzung: Fichtenwald

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1800	Steilhang	Moräne; Silikate	Braunerde	stark sauer	mässig tiefgründig

Bemerkungen: oberste 47 cm bestehen aus Kristallin, darunter Kalk und Dolomit

**R-DUS-Standort 24**

Region: Davos      Gemeinde: Davos      Stufe: Alp      Nutzung: Alpwiede

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
2018	Hangfuss	Kolluvium über Hangschutt	Braunpodsol	sauer	mässig tiefgründig

**R-DUS-Standort 25**

Region: Engiadina Bassa      Gemeinde: Sent      Stufe: Tal      Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1220	Talterrasse	Kolluvium über Schotter	Phaeozem	alkalisch	sehr tiefgründig

Bemerkungen: mächtiger A-Horizont durch Hinauftragen von Erde begünstigt, Standort wird bewässert

**R-DUS-Standort 26**

Region: Engiadina Bassa      Gemeinde: Sent      Stufe: Wald      Nutzung: Fichtenwald

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1245	Flachhang	Moräne; Kalkstein	Phaeozem	schwach sauer	ziemlich flachgründig

Bemerkungen: seit 1990 Hochspannungsmast in 50 - 100 Meter Entfernung

**R-DUS-Standort 27**

Region: Engiadina Bassa      Gemeinde: Sent      Stufe: Alp      Nutzung: Alpwiede

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1965	Flachhang	Moräne; Silikate	Braunerde	schwach sauer	mässig tiefgründig

**R-DUS-Standort 28**

Region: Val Müstair      Gemeinde: Santa Maria i.M.      Stufe: Tal      Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1438	Schuttkegel	Schuttfächer; Silikate, Dolomit	Braunerde	schwach sauer	flachgründig

Bemerkungen: Standort gegenüber EVKABO verlegt, 80 Meter neben Schiessstand, evtl. durch EW-Kabelleitung gestört

**R-DUS-Standort 29**

Region: Val Müstair      Gemeinde: Lü      Stufe: Wald      Nutzung: Fichtenwald

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1740	Steilhang	Hangschutt; Dolomit	Trocken-Rendzina	schwach sauer	flachgründig

**R-DUS-Standort 30**

Region: Val Müstair      Gemeinde: Santa Maria i.M.      Stufe: Alp      Nutzung: Alpwiede

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
2230	Flachhang	Hangschutt; kristalline Schiefer, Gneise	Braunpodsol	sauer	ziemlich flachgründig

**R-DUS-Standort 31**

Region: Engiadin'Ota      Gemeinde: Madulain      Stufe: Tal      Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1720	Hangterrasse	Alluvium	Phaeozem	schwach sauer	mässig tiefgründig

Bemerkungen: alte Terrassen aus Bewirtschaftung, Standort wird bewässert

**R-DUS-Standort 32**

Region: Engiadin'Ota      Gemeinde: La Punt-Chamues-ch      Stufe: Wald      Nutzung: Fichtenwald

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1745	Flachhang	Moräne	Braunerde	sauer	mässig tiefgründig

**R-DUS-Standort 33**

Region: Engiadin'Ota      Gemeinde: Madulain      Stufe: Alp      Nutzung: Alpwiede

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
2040	Hangterrasse	Moräne	Phaeozem	sauer	mässig tiefgründig

**R-DUS-Standort 34**

Region: Bregaglia      Gemeinde: Bondo      Stufe: Tal      Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
795	Talterrasse	Alluvium; reine Silikate	Fluvisol	sauer	tiefgründig

Bemerkungen: seit 1995 verläuft Hauptstrasse A27, Malojastrasse, in ca. 100 Metern Distanz zum Standort



**R-DUS-Standort 35**

Region: Bregaglia      Gemeinde: Stampa      Stufe: Wald      Nutzung: Fichtenwald

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1110	Flachhang	Hangschutt; reine Silikate	Humuseisenpodsol	stark sauer	ziemlich flachgründig

Bemerkungen: Gebiet mit Murgängen, evtl. ehemalige Transportbahnstation im Perimeter des Standortes

**R-DUS-Standort 36**

Region: Bregaglia      Gemeinde: Stampa      Stufe: Alp      Nutzung: Alpwiede

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
19110	Schuttkegel	Schuttkegel; Bündnerschiefer, Paragneise	Regosol	sauer	ziemlich flachgründig

**R-DUS-Standort 37**

Region: Poschiavo      Gemeinde: Poschiavo      Stufe: Tal      Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
975	Schuttkegel	Schuttkegel; Silikate	Braunerde	schwach sauer	tiefgründig

Bemerkungen: Entfernung zur Lokalstrasse beträgt 10 Meter

**R-DUS-Standort 38**

Region: Poschiavo      Gemeinde: Poschiavo      Stufe: Wald      Nutzung: Fichtenwald

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1568	Hangterrasse	Moräne; Silikate	Braunpodsol	stark sauer	mässig tiefgründig

**R-DUS-Standort 39**

Region: Poschiavo      Gemeinde: Poschiavo      Stufe: Alp      Nutzung: Alpwiede

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1822	Schuttkegel	Kolluvium	Braunpodsol	sauer	mässig tiefgründig

Bemerkungen: bis Mitte 1980 Alpwiese mit Heunutzung, sehr fett, Trittverdichtung

**R-DUS-Standort 40**

Region: Mesolcina      Gemeinde: San Vittore      Stufe: Tal      Nutzung: Wiese

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
270	Talsole	Alluvium; Silikate	Braunerde	sauer	tiefgründig

Bemerkungen: Metallwerk Monteorno 1.2 km, Nationalstrasse A 13 250 Meter entfernt, Parzelle evtl. früher als Ackerbaustandort genutzt

**R-DUS-Standort 41**

Region: Mesolcina      Gemeinde: Roveredo      Stufe: Wald      Nutzung: Fichtenwald

m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein	Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1370	Hangterrasse	Hangschutt	Braunerde	stark sauer	tiefgründig

Bemerkungen: bis zu 10 cm mächtige Rohhumusauflage

R-DUS-Standort 42

Region: Mesolcina		Gemeinde: Roveredo		Stufe: Alp		Nutzung: Alpwiede
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein		Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1750	Hangmulde	Alluvium über Hangschutt		Braunerde-Gley	sauer	tiefgründig

R-DUS-Standort 43

Region: Calanca		Gemeinde: Rossa		Stufe: Tal		Nutzung: Wiese
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein		Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1039	Talsole	Alluvium		Fluvisol	sauer	mässig tiefgründig

R-DUS-Standort 44

Region: Calanca		Gemeinde: Rossa		Stufe: Wald		Nutzung: Fichtenwald
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein		Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1620	Steilhang	Hangschutt; Gneis		Braunpodsol	stark sauer	mässig tiefgründig

R-DUS-Standort 45

Region: Calanca		Gemeinde: Rossa		Stufe: Alp		Nutzung: Alpwiede
m. ü. M.	Landschaftsform	Ausgangsgestein		Bodentyp	Säuregrad	Gründigkeit
1738	Hangterasse	Hangschutt		Regosol	sauer	mässig tiefgründig



Anhang 2 Schwermetall- und Fluortotalgehalte der Zweitbeprobung

R-DUS Nr.	Pb	Cr	Co	Cu	Zn	Ni	Cd	Hg	Mo	Ti	Nr.	F
1	25.9	22.2	12.1	34.1	69.7	36.7	0.205	0.059	0.10	0.04	45	833
2	23.7	18.5	5.7	6.1	34.7	13.9	0.180	0.065	0.30	0.11	29	505
3	36.5	4	3	11.3	31	3	0.408	0.3	0.30	0.10	17	3
4	27.5	17	4	27.1	12	4	0.253	0.4	0.30	0.06	40	901
5	20.0	36	5	8.1	4	5	0.068	0.5	0.20	0.09	26	544
6	25.3	24	6	8.8	4	6	0.060	0.6	0.37	0.05	42	441
7	28.0	16	7	23.9	17	7	0.418	0.7	0.30	0.06	32	541
8	28.8	14	8	15.7	8	8	0.122	0.8	0.20	0.06	37	661
9	24.9	26	9	14.0	9	9	0.220	0.9	0.30	0.06	36	595
10	26.9	18	10	13.2	10	10	0.362	1.0	0.40	0.09	43	672
11	28.2	15	11	19.1	11	11	0.132	1.1	0.50	0.09	27	1123
12	29.4	13	12	12.3	12	12	0.231	1.2	0.30	0.08	29	954
13	49.6	1	13	12.2	13	13	0.431	1.3	0.50	0.37	13	877
14	30.3	11	14	12.3	14	14	0.263	1.4	0.40	0.37	3	877
15	32.7	9	15	29.0	15	15	0.350	1.5	0.69	0.16	16	784
16	23.1	30	16	66.3	16	16	0.565	1.6	0.40	0.07	32	487
17	25.4	23	17	49.6	17	17	0.292	1.7	0.30	0.07	33	542
18	19.2	37	18	13.0	18	18	0.124	1.8	0.20	0.06	38	548
19	25.2	25	19	135.3	19	19	0.449	1.9	0.80	0.05	41	907
20	19.0	40	20	90.9	20	20	0.150	2.0	0.24	0.07	34	437
21	29.9	12	21	26.4	21	21	0.258	2.1	0.40	0.09	22	598
22	16.1	41	22	25.0	22	22	0.198	2.2	0.80	0.11	19	436
23	24.5	27	23	22.3	23	23	0.188	2.3	0.30	0.09	23	703
24	15.6	43	24	13.8	24	24	0.192	2.4	1.00	0.44	2	799
25	23.0	31	25	65.3	25	25	0.218	2.5	0.30	0.08	30	446
26	22.9	33	26	47.9	26	26	0.179	2.6	1.00	0.18	10	597
27	20.7	35	27	172.3	27	27	0.378	2.7	0.70	0.07	35	436
28	28.7	21	28	7.9	28	28	0.190	2.8	0.25	0.05	43	818
29	36.4	5	29	6.1	29	29	0.170	2.9	0.82	0.12	15	791
30	23.0	32	30	17.1	30	30	0.680	3.0	1.99	0.13	14	1183
31	19.1	39	31	12.4	31	31	0.299	3.1	0.40	0.08	31	512
32	15.4	44	32	11.4	32	32	0.121	3.2	0.80	0.11	18	429
33	15.9	42	33	16.8	33	33	0.288	3.3	1.00	0.08	28	579
34	26.4	19	34	13.7	34	34	0.200	3.4	0.40	0.31	7	348
35	13.5	45	35	4.0	35	35	0.070	3.5	0.28	0.33	5	417
36	22.8	34	36	110.6	36	36	0.120	3.6	0.34	0.22	8	963
37	46.4	2	37	28.2	37	37	0.721	3.7	1.40	0.37	3	645
38	31.2	10	38	8.1	38	38	0.117	3.8	0.93	0.16	12	496
39	38.7	3	39	8.8	39	39	0.212	3.9	0.80	0.11	20	523
40	25.7	22	40	12.5	40	40	0.242	4.0	1.00	0.44	1	495
41	35.5	6	41	45.7	41	41	0.179	4.1	0.30	0.17	11	285
42	34.7	7	42	75.5	42	42	0.204	4.2	0.90	0.22	9	456
43	33.4	8	43	33.7	43	43	0.233	4.3	0.80	0.32	6	566
44	19.2	38	44	23.1	44	44	0.164	4.4	0.50	0.15	13	44
45	23.4	29	45	40.9	45	45	0.449	4.5	1.30	0.36	4	499
Median	25.40	19.10	9.00	15.4	62.10	22.3	0.212	0.059	0.40	0.09		566
Median Alp	24.90	17.10	9.00	14.0	78.70	18.40	0.231	0.059	0.40	0.09		598
Median Tal	25.90	22.20	10.40	26.5	91.70	25.40	0.253	0.055	0.50	0.08		566
Median Wald	24.50	19.10	6.00	6.5	37.60	13.30	0.164	0.076	0.30	0.11		505
I-DUS Nr.	PB	CR	CO	CU	ZN	NI	CD	HG	MO	TL	Nr.	F
46	17.7	46	46	20.3	46	46	0.280	0.025	0.17	0.05	46	582
47	20.6	47	47	29.1	47	47	0.260	0.025	0.41	0.05	47	520
48	48	48	48	449.8	48	48	0.580	0.152	0.26	0.06	49	792
49	31.7	49	49	9.7	49	49	0.330	0.471	0.38	0.06	48	643
50	17.7	50	50	66.5	50	50	0.110	0.061	0.56	0.05	50	672
Median	20.60	20.70	9.70	53.5	56.20	37.00	0.280	0.061	0.38	0.05		643

fett = Richtwertüberschreitung nach VB80 bzw. für Co nach dem alten Richtwert der VB80 (25 mg/kg)



Anhang 3 Lösliche Gehalte der Schwermetalle und Fluor in der Zweitbeprobung

R-DUS	Nr.	Pb	Rang	Nr.	Cu	Rang	Nr.	Zn	Rang	Nr.	Ni	Rang	Nr.	Cd	Rang	Nr.	F	Rang
	1	0.013	4	1	0.257	1	1	0.013	38	1	0.044	26	1	0.005	11	1	8.90	2
	2	0.013	5	2	0.013	23	2	0.184	22	2	0.045	25	2	0.005	12	2	1.25	20
	3	0.013	6	3	0.013	24	3	0.080	30	3	0.031	33	3	0.005	13	3	5.30	6
	4	0.013	7	4	0.075	6	4	0.013	39	4	0.026	35	4	0.005	14	4	3.10	17
	5	0.047	1	5	0.013	25	5	0.542	13	5	0.143	9	5	0.012	8	5	1.25	21
	6	0.013	8	6	0.013	26	6	0.527	14	6	0.088	14	6	0.005	15	6	1.25	22
	7	0.013	9	7	0.119	2	7	0.013	40	7	0.013	37	7	0.005	16	7	4.80	9
	8	0.013	10	8	0.039	13	8	0.031	36	8	0.080	18	8	0.005	17	8	1.25	23
	9	0.013	11	9	0.027	20	9	0.331	20	9	0.036	30	9	0.005	18	9	1.25	24
	10	0.013	12	10	0.078	5	10	0.013	41	10	0.013	38	10	0.005	19	10	5.10	7
	11	0.013	13	11	0.028	18	11	0.152	25	11	0.137	10	11	0.005	20	11	2.90	19
	12	0.013	14	12	0.013	27	12	0.144	26	12	0.037	29	12	0.005	21	12	1.25	25
	13	0.013	15	13	0.033	16	13	0.026	37	13	0.013	39	13	0.005	22	13	9.60	1
	14	0.013	16	14	0.013	28	14	0.078	31	14	0.031	34	14	0.005	23	14	1.25	26
	15	0.013	17	15	0.029	17	15	0.390	17	15	0.353	3	15	0.005	24	15	1.25	27
	16	0.013	18	16	0.049	8	16	0.160	24	16	0.151	8	16	0.005	25	16	8.10	3
	17	0.013	19	17	0.013	29	17	0.114	27	17	0.156	7	17	0.005	26	17	1.25	28
	18	0.013	20	18	0.013	30	18	0.782	10	18	0.110	13	18	0.005	27	18	1.25	29
	19	0.013	21	19	0.098	3	19	0.013	42	19	0.050	23	19	0.005	28	19	5.00	8
	20	0.013	22	20	0.013	31	20	0.395	16	20	0.652	2	20	0.012	9	20	1.25	30
	21	0.013	23	21	0.013	32	21	0.346	18	21	0.060	22	21	0.005	29	21	1.25	31
	22	0.013	24	22	0.013	33	22	0.164	23	22	0.036	31	22	0.005	30	22	1.25	32
	23	0.013	25	23	0.013	34	23	0.908	8	23	0.122	11	23	0.013	6	23	1.25	33
	24	0.013	26	24	0.013	35	24	0.103	29	24	0.026	36	24	0.005	31	24	1.25	34
	25	0.013	27	25	0.098	4	25	0.013	43	25	0.081	17	25	0.005	32	25	1.25	35
	26	0.013	28	26	0.013	36	26	0.013	44	26	0.034	32	26	0.005	33	26	4.00	10
	27	0.013	29	27	0.025	21	27	0.059	32	27	0.314	4	27	0.005	34	27	3.40	15
	28	0.013	30	28	0.034	15	28	0.052	34	28	0.013	40	28	0.005	35	28	3.50	13
	29	0.013	31	29	0.013	37	29	0.013	45	29	0.013	41	29	0.005	36	29	3.30	16
	30	0.013	32	30	0.013	38	30	1.598	3	30	0.039	28	30	0.011	10	30	1.25	36
	31	0.013	33	31	0.040	11	31	0.056	33	31	0.013	42	31	0.005	37	31	3.80	11
	32	0.013	34	32	0.013	39	32	0.048	35	32	0.013	43	32	0.005	38	32	3.00	18
	33	0.013	35	33	0.013	40	33	0.195	21	33	0.013	44	33	0.005	39	33	1.25	37
	34	0.013	36	34	0.028	19	34	1.086	6	34	0.048	24	34	0.005	40	34	3.49	14
	35	0.013	37	35	0.013	41	35	0.761	11	35	0.063	20	35	0.016	3	35	1.25	38
	36	0.013	38	36	0.055	7	36	0.333	19	36	0.712	1	36	0.005	41	36	1.25	39
	37	0.013	39	37	0.041	9	37	0.106	28	37	0.013	45	37	0.005	42	37	7.20	4
	38	0.040	3	38	0.013	42	38	1.110	5	38	0.112	12	38	0.016	4	38	1.25	40
	39	0.013	40	39	0.013	43	39	0.788	9	39	0.043	27	39	0.005	43	39	1.25	41
	40	0.013	41	40	0.040	12	40	0.524	15	40	0.066	19	40	0.005	44	40	5.90	5
	41	0.043	2	41	0.025	22	41	2.068	1	41	0.163	6	41	0.018	1	41	1.25	42
	42	0.013	42	42	0.013	44	42	0.597	12	42	0.062	21	42	0.005	45	42	1.25	43
	43	0.013	43	43	0.037	14	43	1.963	2	43	0.087	16	43	0.014	5	43	3.80	12
	44	0.013	44	44	0.013	45	44	0.939	7	44	0.088	15	44	0.018	2	44	1.25	44
	45	0.013	45	45	0.041	10	45	1.249	4	45	0.254	5	45	0.013	7	45	1.25	45
Median		0.013			0.013			0.164			0.050			0.005			1.25	
Median Alp		0.013			0.013			0.346			0.060			0.005			1.25	
Median Tal		0.013			0.041			0.052			0.036			0.005			4.80	
Median Wald		0.013			0.013			0.184			0.088			0.005			1.25	
I-DUS	Nr.	Pb		Nr.	Cu		Nr.	Zn		Nr.	Ni		Nr.	Cd		Nr.	F	
	46	0.013		46	0.094		46	0.013		46	0.013		46	0.005		46	7.57	
	47	0.013		47	0.156		47	0.013		47	0.013		47	0.005		47	5.62	
	48	0.013		48	1.096		48	0.013		48	0.013		48	0.005		48	3.43	
	49	0.013		49	0.291		49	0.013		49	0.051		49	0.005		49	5.25	
	50	0.013		50	0.089		50	0.013		50	0.013		50	0.005		50	1.25	
Mediane		0.013			0.156			0.013			0.013			0.005			5.25	

fett = Richwertüberschreitungen nach VBBo



# Anhang 4 Erst- und Zweitbeprobung im Vergleich, relative Änderungen der totalen und löslichen Elementgehalte

DUS Nr.	Totalgehalte, % <sup>2</sup>											Lösliche Gehalte, % <sup>2</sup>					
	Pb	Cr	Co	Cu	Zn	Ni	Cd	Hg	Mo	Tl	F	Pb	Cd	Cu	Zn	Ni	F
1	1.2	12.7	13.1	-10.5	-11.1	11.2	-15.3	-18.1	-37.5	23.3	-22.1	0.0	0.0	66.9	0.0	252.0	24.5
2	14.5	1.1	0.0	7.0	5.2	3.0	20.0	160.0	87.5	9.0	-15.8	0.0	0.0	0.0	121.7	-4.3	0.0
3	7.4	11.4	14.7	4.6	8.0	12.4	14.9	1.8	15.4	5.6	-12.5	0.0	0.0	-67.9	-25.9	-6.1	-7.2
4	8.7	4.0	4.3	1.1	-0.1	4.0	11.5	-5.6	7.1	-6.7	-9.3	0.0	0.0	-25.0	0.0	108.0	-33.6
5	10.5	-6.9	-12.8	-10.4	-10.7	-3.0	13.3	0.0	-4.8	-1.1	-11.8	2.2	9.1	0.0	-16.6	10.0	0.0
6	5.9	-2.2	5.3	11.1	-3.3	-3.1	-11.8	0.0	-2.6	-31.4	-8.1	0.0	0.0	0.0	-45.4	-43.2	-50.0
7	3.3	21.9	19.7	20.6	22.8	26.5	12.1	-1.8	66.7	20.0	-10.7	0.0	0.0	-36.0	0.0	0.0	-36.8
8	9.1	8.3	5.8	1.0	3.9	-2.5	-19.7	2.1	-9.1	6.7	2.2	0.0	0.0	-44.3	-20.5	-5.9	-60.9
9	12.2	6.1	16.9	-4.4	2.7	-1.1	6.3	0.0	15.4	-15.7	-5.4	0.0	0.0	-10.0	-18.7	-12.2	0.0
10	4.3	1.5	4.2	1.1	3.0	1.4	9.7	10.6	14.3	1.1	7.0	0.0	0.0	-47.7	-63.2	0.0	-20.1
11	3.3	-9.5	-1.7	-7.4	-8.9	-6.9	0.8	0.8	-3.8	-3.3	3.2	0.0	0.0	-24.3	-26.2	-19.4	-25.3
12	-6.1	1.5	-11.7	-18.9	-6.3	-8.8	-11.5	-56.1	-23.1	-25.5	-0.6	0.0	0.0	0.0	-31.4	8.8	0.0
13	6.7	-3.9	4.3	16.0	3.8	2.2	10.5	-51.9	-2.0	-1.1	-9.6	0.0	0.0	17.9	-7.1	0.0	-11.9
14	-2.6	6.0	-11.8	6.6	1.5	-7.0	6.0	0.0	33.3	13.0	-10.6	0.0	0.0	0.0	151.6	148.0	-65.8
15	-1.5	-4.0	4.8	-2.0	-9.3	-1.1	-3.6	-23.4	-6.8	-10.0	-7.2	0.0	0.0	-9.4	-26.1	0.9	0.0
16	4.1	20.9	14.3	9.7	-0.3	15.4	24.4	7.4	-4.8	5.7	-20.2	0.0	0.0	8.9	52.4	75.6	-10.5
17	19.2	14.0	10.2	13.2	4.1	4.8	25.9	32.3	20.0	23.3	-11.1	0.0	0.0	0.0	-11.6	4.7	0.0
18	4.9	15.0	5.6	10.5	-8.9	11.8	-10.1	0.0	-25.9	0.0	-7.1	0.0	0.0	-64.3	0.0	-8.9	15.8
19	6.8	18.7	10.9	5.6	13.0	8.5	31.7	92.5	27.0	-2.0	14.8	0.0	0.0	30.7	-63.2	61.3	-22.2
20	20.3	-0.4	-3.2	-1.2	-3.1	-15.5	7.9	5.1	9.1	1.4	-16.7	0.0	9.1	0.0	-14.1	-17.0	-52.1
21	6.0	9.5	12.3	9.4	14.8	10.5	11.2	136.0	21.2	3.3	19.6	0.0	-58.3	0.0	-8.0	-6.3	0.0
22	3.2	9.6	14.3	-3.9	0.5	4.5	-1.0	4.2	-3.6	-3.6	-5.2	0.0	0.0	-63.2	-38.6	-25.0	-63.5
23	7.0	-2.6	-4.8	-5.2	-2.5	-2.3	0.0	-18.8	-6.3	-8.0	-4.2	-50.0	-27.8	0.0	-19.9	-20.3	0.0
24	-6.6	0.7	3.6	-18.9	-11.5	-13.3	-21.0	-1.1	-13.0	6.3	-9.9	0.0	0.0	0.0	-57.8	-35.0	0.0
25	49.4	5.2	5.8	1.5	4.2	2.2	14.1	9.2	30.4	2.5	-5.1	0.0	0.0	22.5	-50.0	62.0	0.0
26	18.0	2.1	6.3	13.6	-19.2	4.0	42.1	77.0	47.1	4.1	-12.2	0.0	0.0	0.0	-50.0	-10.5	16.3
27	-1.0	-11.2	-5.4	-10.8	-3.9	-5.8	-7.1	7.7	11.1	-12.5	-7.2	0.0	0.0	100.0	-43.3	28.7	30.3
28	3.2	-9.9	1.3	-5.2	-9.6	-4.4	-1.0	-54.5	-5.1	-23.3	-2.5	0.0	0.0	21.4	-22.4	-56.9	-28.0
29	5.5	-9.0	-12.1	-18.2	-11.4	-7.8	-14.6	-59.0	-12.8	-22.5	-10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-23.9
30	-3.4	2.4	9.3	-9.6	-3.0	0.0	1.9	-56.9	-0.5	-20.0	-15.5	0.0	-31.3	0.0	-28.3	-42.6	-52.3
31	6.1	-5.3	4.2	-1.0	-0.3	-4.3	2.0	-8.5	8.1	-14.4	-6.9	0.0	0.0	-23.1	-23.3	0.0	50.2
32	9.2	1.8	6.5	-12.9	-5.4	-6.3	0.0	-8.9	1.7	-9.2	-6.7	0.0	0.0	0.0	45.5	0.0	140.0
33	12.8	-1.2	5.9	-7.4	-2.5	-7.2	5.5	-8.6	7.5	-17.0	-1.9	0.0	0.0	-66.2	-26.4	-64.3	0.0
34	0.4	-3.5	0.0	-2.9	-11.8	-4.2	4.7	-62.1	2.6	-15.7	-16.0	0.0	0.0	-9.7	-15.8	-25.0	-28.4
35	-19.2	12.5	16.1	25.0	5.5	11.5	-21.3	-55.4	0.0	-6.9	12.2	-70.9	-27.3	0.0	-38.6	-12.5	0.0
36	-6.6	-0.4	6.7	2.4	-10.3	-3.2	-21.6	0.0	-5.6	-20.0	3.3	0.0	0.0	0.0	-38.3	18.7	0.0
37	9.7	2.8	9.1	0.0	4.9	-2.7	10.8	0.0	23.9	5.2	-2.7	0.0	0.0	-39.7	-48.3	0.0	33.3
38	22.8	5.4	-6.9	-8.8	7.7	-11.5	18.2	17.7	37.9	10.7	7.8	60.0	-11.1	0.0	17.2	-8.9	0.0
39	6.3	-7.4	11.4	-15.2	6.0	-10.4	19.8	-11.8	19.4	-3.6	-9.8	0.0	0.0	-50.0	-38.4	-34.8	0.0
40	9.4	9.8	10.6	9.1	14.6	8.1	17.5	0.0	22.0	15.0	15.1	0.0	-58.3	11.1	-13.4	-17.5	-2.3
41	2.0	-3.6	-1.3	-4.3	2.2	-1.3	6.5	33.9	20.0	2.4	-1.7	-25.9	-41.9	-7.4	-23.2	-9.9	0.0
42	1.8	8.3	10.3	8.9	7.3	5.0	-8.5	-3.2	25.0	26.5	6.0	-62.1	-77.3	0.0	-38.4	-18.4	0.0
43	-9.7	13.9	15.1	1.8	3.7	2.5	0.9	0.0	14.3	9.0	-7.2	0.0	-6.7	-21.3	-31.9	8.7	16.2
44	0.0	6.5	0.0	-2.5	-3.8	-12.5	-8.9	5.6	-12.3	-4.4	-7.3	0.0	-14.3	0.0	-14.4	-18.5	0.0
45	3.5	-1.9	-4.5	1.9	-8.2	-10.1	3.9	-35.1	20.4	-0.8	-9.3	0.0	-40.9	-26.8	-55.0	-13.0	0.0
46	6.6	-5.0	-2.5	-4.7	-9.8	-8.5	19.7	0.0	21.4	22.5	-8.7	0.0	0.0	-10.5	0.0	0.0	-15.7
47	3.0	-6.1	-1.2	-2.7	-7.0	-8.5	8.8	0.0	7.9	-7.1	-0.1	0.0	0.0	18.2	-58.3	0.0	-27.6
48	240.3	108.3	11.7	-87.3	-11.6	87.7	-40.4	-54.3	40.7	6.7	-17.6	0.0	0.0	-65.7	0.0	308.0	-23.8
49	-70.4	-57.3	-14.9	743.9	4.8	-52.6	83.0	161.8	-23.5	-3.3	20.2	0.0	0.0	270.3	-76.9	-79.5	-43.8
50	0.0	5.0	10.1	5.2	0.6	-1.0	0.0	18.8	3.7	0.0	-7.9	0.0	0.0	612.0	0.0	0.0	0.0
Beschreibende statistische Angaben																	
% <sup>2</sup> , Mittelwert	8.8	3.9	4.2	13.1	-1.0	0.2	5.0	3.8	9.6	-1.3	-4.9	-2.9	-8.8	10.6	-17.0	10.1	-7.9
% <sup>2</sup> , Median	5.2	2.0	5.4	-0.5	-0.3	-1.8	5.1	0.0	7.7	-1.0	-7.2	0.0	0.0	0.0	-22.8	-2.1	0.0
% <sup>-2</sup> , Maximum	-70.4	-57.3	-14.9	-87.3	-19.2	-52.6	-40.4	-62.1	-37.5	-31.4	-22.1	-70.9	-77.3	-67.9	-76.9	-79.5	-65.8
% <sup>+2</sup> , Maximum	240.3	108.3	19.7	743.9	22.8	87.7	83.0	161.8	87.5	26.5	20.2	60.0	9.1	612.0	151.6	308.0	140.0
% <sup>2</sup> , Minimum	0.0	-0.4	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

Daten

LBN GR I: Mediane von 3 Mischproben

LBN GR II: 1 Mischprobe

Beprobungstiefe: 0-20 cm

Legende

	relative Abweichung < 10 %
14.3	relative Zunahme > 10 % < 20 %
21.4	relative Zunahme > 20 %
-12.3	relative Abnahme > 10 % < 20 %
-40.9	relative Abnahme > 20 %



# Anhang 5 Absolutgehalte der Schwermetalle in der Zweitbeobachtung

IS-DUS Nr.	Pb	Cr	Co	Cu	Zn	Al [%]	Mo	Ni	NI	V	Ti	Cd	As	Se	K [%]	Rang	Nr.	P						
1	26.8	27	13	1	102.6	20	1	44.4	13	1	103.8	9	1	0.66	19	1	0.19	1	2.13	13	1	866	24	
2	25.8	27	2	8.5	35	2	6.4	25	2	24.8	23	2	0.27	30	1	0.34	1	0.34	1	2.13	13	1	866	24
3	34.6	10	3	94.3	3	3	6.9	18	3	38.7	16	3	0.39	12	3	0.16	33	2	1.15	41	2	204	42	
4	29.6	16	4	57.5	32	4	5.6	34	4	47.0	12	4	0.21	38	4	0.45	8	4	1.47	34	4	1405	9	
5	23.6	34	5	51.7	34	5	8.3	43	5	32.7	42	5	0.07	45	5	0.12	38	5	2.09	17	5	402	33	
6	26.6	25	6	65.6	26	6	7.1	15	6	95.0	17	6	0.17	43	6	0.35	13	6	2.00	31	6	647	27	
7	28.2	21	7	113.6	4	7	8.4	5	7	72.1	6	7	0.48	7	7	0.60	2	7	2.40	8	7	1048	18	
8	27.9	22	8	73.8	20	8	6.2	28	8	86.8	18	8	0.57	11	8	0.24	19	8	1.42	35	8	316	37	
9	23.9	31	9	65.8	25	9	5.5	35	9	71.3	24	9	0.47	35	9	0.19	27	9	1.38	37	9	1280	10	
10	24.9	30	10	61.2	29	10	11.2	29	10	71.3	29	10	0.26	31	10	0.10	31	10	1.21	10	10	1483	6	
11	23.5	20	11	81.3	18	11	15.4	7	11	101.1	11	11	0.29	27	11	0.33	15	11	2.12	14	11	357	35	
12	23.5	17	12	93.1	14	12	14.6	12	12	117.1	12	12	0.37	16	12	0.57	3	12	2.38	9	12	998	19	
13	51.7	2	13	30.8	42	13	6.3	39	13	55.9	33	13	0.52	6	13	0.56	4	13	2.44	7	13	891	22	
14	32.6	12	14	43.9	38	14	8.5	33	14	83.9	21	14	0.69	17	14	0.12	39	14	1.88	23	14	176	44	
15	32.4	14	15	85.0	16	15	27.2	2	15	141.3	3	15	0.57	28	15	0.29	17	15	1.40	36	15	1084	17	
16	23.0	35	16	140.2	5	16	12.2	18	16	136.2	6	16	0.43	44	16	0.28	16	16	0.99	43	16	1412	8	
17	23.9	32	17	110.8	10	17	11.7	19	17	48.5	39	17	0.40	45	17	0.30	25	17	0.92	45	17	248	41	
18	19.5	41	18	63.2	27	18	5.2	42	18	78.8	25	18	0.45	37	18	0.19	41	18	0.84	34	18	490	29	
19	23.7	33	19	185.4	4	19	19.0	5	19	70.9	30	19	0.45	39	19	0.37	4	19	1.65	30	19	1161	14	
20	19.8	40	20	240.8	3	20	11.1	24	20	33.8	44	20	0.47	36	20	0.20	24	20	0.98	44	20	263	39	
21	28.9	19	21	113.1	9	21	8.5	34	21	151.6	1	21	0.82	9	21	0.35	20	21	1.14	28	21	884	23	
22	19.1	42	22	63.1	28	22	13.2	17	22	85.7	19	22	0.64	20	22	0.16	34	22	2.26	10	22	815	25	
23	26.1	26	23	67.8	24	23	8.7	31	23	108.1	8	23	0.67	18	23	0.19	28	23	2.18	11	23	424	32	
24	17.3	44	24	40.4	39	24	7.4	36	24	73.3	28	24	0.55	2	24	0.33	22	24	1.38	25	24	464	30	
25	18.2	43	25	135.1	6	25	14.9	9	25	48.8	38	25	0.42	42	25	0.22	36	25	1.36	38	25	944	20	
26	25.3	29	26	92.1	15	26	8.4	35	26	43.0	42	26	0.69	8	26	0.20	39	26	1.21	12	26	293	38	
27	21.8	37	27	395.4	1	27	25.6	3	27	165.1	2	27	0.40	45	27	0.17	17	27	2.22	40	27	936	21	
28	26.9	23	28	45.0	36	28	9.5	29	28	76.7	26	28	0.91	6	28	0.33	23	28	2.42	11	28	699	26	
29	36.4	9	29	22.7	45	29	4.4	43	29	54.5	34	29	0.91	7	29	0.28	28	29	2.08	43	29	178	43	
30	25.4	28	30	73.7	21	30	13.4	16	30	119.3	6	30	0.65	2	30	0.47	10	30	2.73	6	30	197	3	
31	22.2	36	31	34.0	41	31	9.1	30	31	18.4	33	31	0.48	33	31	0.14	36	31	1.78	26	31	1253	12	
32	20.0	39	32	30.4	43	32	6.5	37	32	50.5	37	32	0.63	23	32	0.26	32	32	2.05	20	32	174	45	
33	17.1	45	33	44.9	37	33	10.2	25	33	66.2	31	33	0.47	34	33	0.38	15	33	1.77	27	33	1881	5	
34	34	52.6	1	34	46.4	35	34	6.2	34	37.5	43	34	0.75	13	34	0.28	29	34	3.4	45	34	1720	4	
35	39.7	1	35	24.2	44	35	4.2	45	35	45.6	40	35	0.93	5	35	0.19	42	35	3.02	3	35	397	34	
36	21.6	38	36	319.7	2	36	28.2	1	36	64.7	32	36	0.58	27	36	0.22	37	36	1.41	24	36	549	28	
37	50.1	3	37	39.8	40	37	9.9	27	37	51.0	36	37	1.37	3	37	0.69	1	37	2.11	3	37	1143	16	
38	31.1	15	38	82.5	17	38	11.2	23	38	87.4	17	38	0.74	12	38	0.17	32	38	1.82	24	38	321	36	
39	38.8	7	39	69.3	22	39	11.5	21	39	98.0	12	39	0.77	12	39	0.31	24	39	2.73	5	39	1457	7	
40	33.8	11	40	79.6	19	40	14.1	13	40	92.7	14	40	0.63	25	40	0.35	21	40	2.07	18	40	178	13	
41	40.7	5	41	123.2	7	41	15.0	8	41	103.8	10	41	0.44	40	41	0.26	33	41	1.24	39	41	461	31	
42	37.3	8	42	105.1	11	42	17.2	6	42	43.2	15	42	0.43	41	42	0.24	35	42	1.51	33	42	1155	15	
43	43.1	4	43	60.5	31	43	11.6	20	43	84.4	20	43	0.61	26	43	0.40	41	43	1.11	40	43	1258	11	
44	28.9	18	44	55.3	33	44	6.5	38	44	91.2	16	44	0.40	44	44	0.37	18	44	1.53	32	44	282	40	
45	32.4	13	45	69.0	23	45	10.2	26	45	92.6	15	45	0.63	22	45	0.57	5	45	1.69	29	45	3141	1	
Median	26.9			69.0			11.2			82.2			0.63			0.33			1.88			884		
Median Alp	35.6			22.6			7.45			75.3			0.62			0.30			1.98			1149		
Median Tal	26.9			30.7			7.0			71.3			0.63			0.40			2.13			1161		
Median Wald	27.9			13.4			6.4			82.2			0.63			0.27			1.88			293		
IS-DUS Nr.	Pb	Cr	Co	Cu	Zn	Al [%]	Mo	Ni	NI	V	Ti	Cd	As	Se	K [%]	Rang	Nr.	P						
46	18.5	46	46	69.1	46	46	4.7	46	46	71.6	46	46	0.37	46	46	0.31	46	46	1.28	46	46	628		
47	23.6	47	47	55.9	47	47	5.4	47	47	60.1	47	47	0.56	47	47	0.26	47	47	1.58	47	47	987		
48	51.4	48	48	94.8	48	48	5.6	48	48	102.1	48	48	0.61	48	48	0.41	48	48	1.84	48	48	1780		
49	108.7	49	49	142.3	49	49	12.6	49	49	143.5	49	49	0.43	49	49	0.44	49	49	1.26	49	49	1573		
50	19.4	50	50	90.2	50	50	19.2	50	50	102.8	50	50	0.56	50	50	0.51	50	50	1.99	50	50	537		
Median	23.6			62.5			0.77			71.6			0.37			0.41			1.58			987		



Anhang 6 Bodenkennwerte der Zweitbeprobung

R-DUS		pH <sub>H2O</sub>	pH <sub>CaCl2</sub>	CaCO <sub>3</sub>	S <sub>tot</sub> [%]	C <sub>tot</sub> [%]	N <sub>tot</sub> [%]	C <sub>org</sub> [%]	Fe <sub>am</sub> [ppm]	Al <sub>am</sub> [ppm]	Mn <sub>am</sub> [ppm]	Fe <sub>rest</sub> [ppm]	Al <sub>rest</sub> [ppm]	Mn <sub>rest</sub> [ppm]	KAK <sub>pot</sub>	KAK <sub>eff</sub>	Ca <sub>KAK_E</sub>	Mg <sub>KAK_E</sub> [mmol/2/100g]	Na <sub>KAK_E</sub>	K <sub>KAK_E</sub>	Al <sub>KAK_E</sub>	V [%]	TON [%]	Silt [%]
Nr.																								
1		7.5	7.2	13.9	0.05	4.80	0.34	3.13	2713	803	237	9975	1964	277	20.0	19.1	25.1	0.76	0.13	0.26	0.13	131	24.8	48.5
2		5.3	4.5	0.3	0.02	4.45	0.18	4.30	3987	1914	110	12008	3842	171	28.5	13.8	10.5	2.64	0.13	0.15	0.13	3.97	47	18.7
3		5.7	5.1	0.3	0.05	3.90	0.41	3.90	11239	3332	1250	27417	6771	1968	27.9	10.5	9.9	0.78	0.13	0.36	0.59	40	32.0	48.1
4		7.4	7.1	0.6	0.07	3.40	0.39	3.40	4132	764	612	26837	2051	1706	24.5	22.2	27.2	1.03	0.13	0.18	0.13	116	21.0	39.8
5		4.2	3.5	0.3	0.02	2.60	0.15	2.60	6296	2318	259	10975	2997	414	26.3	11.8	1.4	0.30	0.13	0.09	11.81	7	13.6	45.5
6		5.6	4.9	0.3	0.03	2.20	0.21	2.19	5510	845	61	14198	1654	126	5.0	2.5	2.3	0.37	0.13	0.12	0.64	64	14.8	56.0
7		7.4	7.1	4.9	0.07	4.25	0.48	3.71	2753	743	898	10255	1726	1105	27.0	26.7	35.1	1.40	0.13	0.27	0.13	137	20.1	37.6
8		5.5	5.0	0.3	0.03	3.20	0.21	3.20	5902	1784	1080	14872	3280	1374	22.8	10.9	11.5	0.58	0.13	0.12	1.04	54	16.2	38.8
9		5.6	5.0	0.3	0.05	3.60	0.41	3.60	6399	1765	791	13553	2913	1159	21.6	10.6	10.7	0.75	0.13	0.47	0.44	55	22.6	47.0
10		7.5	7.1	8.8	0.11	6.90	0.66	5.84	3274	930	854	9303	1812	948	39.1	38.3	38.8	4.45	0.13	0.48	0.13	112	24.5	40.2
11		5.0	4.2	0.3	0.04	4.30	0.32	4.30	5195	1972	996	12498	3471	1216	30.6	13.2	8.4	1.12	0.13	0.15	3.41	32	23.3	36.3
12		5.7	4.9	0.3	0.07	3.90	0.42	3.90	7212	2217	1044	17348	3681	1528	24.7	13.5	13.5	1.05	0.13	0.19	0.55	60	20.0	35.5
13		6.9	6.6	0.3	0.08	4.20	0.49	4.20	2710	1907	564	7919	3770	718	34.3	31.2	31.5	7.91	0.13	0.20	0.13	116	22.8	26.1
14		5.7	4.9	0.3	0.01	2.60	0.11	2.60	2241	2104	426	12085	4790	622	23.8	11.9	8.2	2.66	0.13	0.16	2.57	47	21.3	40.1
15		5.2	4.5	0.3	0.07	4.60	0.46	4.59	8799	3930	3049	20871	6893	4070	29.0	9.7	4.3	0.98	0.13	0.32	2.03	20	8.2	40.2
16		5.8	5.3	0.3	0.07	4.20	0.48	4.20	6031	2035	1126	15297	4110	1338	33.4	22.0	22.0	2.08	0.13	0.20	0.13	73	23.3	37.5
17		4.7	4.0	0.3	0.03	4.70	0.27	4.70	4044	1615	531	16018	4037	704	29.1	14.4	13.1	1.22	0.13	0.17	1.80	50	25.7	37.4
18		4.9	4.1	0.3	0.03	3.50	0.29	3.50	7882	2062	353	15380	2969	694	21.0	7.5	2.8	0.46	0.13	0.40	4.73	18	21.9	46.8
19		7.2	6.9	13.0	0.10	9.05	0.75	7.44	5462	2465	860	20234	4476	388	43.3	42.5	47.1	9.39	0.13	0.27	0.13	131	25.3	35.4
20		4.8	3.9	0.3	0.02	3.30	0.18	3.29	8052	3214	304	29285	6167	718	36.8	13.5	9.0	1.16	0.13	0.97	4.10	31	38.4	31.2
21		5.0	4.4	0.3	0.05	6.30	0.56	6.30	6436	1772	510	14466	3471	630	28.1	15.8	13.5	9.0	0.13	0.19	1.09	56	20.7	27.1
22		5.5	4.8	0.3	0.05	3.40	0.36	3.40	9623	3293	187	16448	4606	320	43.8	18.8	4.9	1.08	0.13	0.24	12.70	14	22.2	28.7
23		4.5	3.7	0.3	0.04	5.50	0.30	5.50	4754	2589	429	14399	5194	569	25.3	10.2	7.4	2.60	0.13	0.41	2.01	42	24.7	22.5
24		5.4	4.7	0.3	0.04	3.80	0.35	4.00	4754	2589	429	14399	5194	569	25.3	10.2	7.4	2.60	0.13	0.41	2.01	42	24.7	22.5
25		7.2	7.1	11.5	0.11	7.10	0.63	5.72	2272	885	267	14405	1888	307	36.8	34.0	41.7	7.04	0.13	0.38	0.13	122	20.8	32.2
26		6.4	6.0	0.3	0.03	5.40	0.22	5.40	2072	2045	1031	20759	4611	1475	31.7	22.9	19.6	7.04	0.13	0.25	0.13	82	18.7	27.0
27		5.9	5.5	0.3	0.06	5.10	0.52	5.10	6022	2045	1031	20759	4611	1475	31.7	21.0	18.8	3.91	0.13	0.65	0.13	74	31.1	34.1
28		6.1	5.6	0.3	0.08	5.20	0.56	5.19	3450	689	287	8173	1512	338	31.6	25.4	21.1	3.83	0.13	0.24	0.13	80	15.5	41.1
29		6.8	6.1	0.3	0.02	2.60	0.09	2.59	1276	727	249	5689	2019	321	19.8	15.6	10.9	4.68	0.13	0.14	0.13	80	11.9	28.6
30		5.3	4.4	0.3	0.08	6.00	0.58	5.99	7518	2759	2311	16927	5649	4070	33.8	11.8	5.0	1.27	0.13	0.99	2.62	22	13.2	29.8
31		6.4	6.1	0.3	0.12	6.20	0.68	6.20	3985	1507	608	9649	2870	693	37.6	32.1	33.3	5.73	0.13	0.19	0.13	105	14.0	20.4
32		5.8	5.0	0.3	0.02	1.80	0.08	1.80	2264	1140	386	8772	3017	533	16.7	9.5	8.5	1.78	0.13	0.17	0.74	63	11.7	31.7
33		5.6	4.8	0.3	0.07	4.90	0.59	4.90	5617	2634	918	14666	5263	1133	32.4	16.9	14.9	2.39	0.13	1.47	0.55	58	23.5	33.7
34		5.4	4.7	0.3	0.04	2.60	0.27	2.59	2509	982	594	5944	3314	761	18.1	8.4	5.4	0.66	0.13	0.11	0.79	34	8.3	14.5
35		4.7	3.9	0.3	0.02	2.40	0.11	2.39	4108	2939	17	8885	5631	60	21.6	5.9	0.5	0.17	0.13	0.09	3.88	3	7.6	26.9
36		5.5	4.6	0.3	0.05	3.10	0.30	3.09	5936	1496	920	14495	3079	1250	17.4	7.2	4.0	0.47	0.13	0.15	0.98	27	11.1	37.1
37		6.2	5.5	0.3	0.06	3.10	0.34	3.10	4282	1108	912	13083	2578	530	24.8	18.7	17.4	3.92	0.13	0.25	0.13	88	17.9	40.2
38		4.5	3.7	0.3	0.02	3.00	0.14	3.00	6807	2990	1046	11904	4053	1563	27.9	13.2	1.5	0.39	0.13	0.47	13.79	9	16.1	34.6
39		5.1	4.4	0.3	0.05	3.40	0.30	3.40	9801	2226	1202	16884	3513	1417	27.1	9.8	5.2	1.45	0.13	0.33	3.30	26	13.7	31.2
40		5.5	4.6	0.3	0.05	2.15	0.22	2.20	3632	1753	346	7545	3512	454	18.4	8.3	7.3	0.97	0.13	0.26	1.41	46	11.0	29.1
41		4.6	4.0	0.3	0.07	9.70	0.37	9.70	8609	7982	94	15852	11210	183	38.9	9.7	1.7	0.35	0.13	0.13	8.60	6	18.0	26.5
42		5.0	4.4	0.3	0.09	4.80	0.41	4.80	4252	8815	38	8542	16825	63	28.6	2.5	1.1	0.28	0.13	0.14	4.57	6	10.2	34.9
43		5.4	4.4	0.3	0.04	1.55	0.16	1.70	3807	1278	405	6388	2331	483	14.9	6.6	4.4	0.93	0.13	0.21	1.76	38	8.3	22.7
44		4.8	4.1	0.3	0.05	4.50	0.22	4.50	9615	5136	121	14353	6462	41	29.6	8.5	1.1	0.39	0.13	0.15	7.16	6	10.4	21.0
45		5.1	4.3	0.3	0.13	6.70	0.65	6.70	9153	5218	942	10939	6381	1115	37.2	7.5	2.6	0.50	0.13	0.22	3.82	9	15.7	37.9
Beschreibende Statistik																								
Anzahl		45	45	45	45	45																		