

## Bodenschutz

# FALLSTUDIE SIEDLUNGSGEBIETE IN GRAUBÜNDEN

Bericht über die Bodenuntersuchungen  
im Bündner Rheintal und in der  
Landschaft Davos  
2. Teil: Organische Schadstoffe

November 1998

**Bodenschutz:**

## **FALLSTUDIE SIEDLUNGSGEBIETE IN GRAUBÜNDEN**

**Bericht über die Bodenuntersuchungen im  
Bündner Rheintal und in der  
Landschaft Davos  
2. Teil: Organische Schadstoffe**

**November 1998**

**Herausgeber und Projektleitung:**  
Amt für Umweltschutz Graubünden

**Auswertungen:**  
Ambio AG, Zürich

**Messungen und Analytik:**  
Ambio AG, Zürich  
Sulzer, Winterthur

**Gestaltung:**  
Ambio AG, Zürich

**Titelbild:**  
Die Untersuchungsgebiete in der Kartenübersicht.  
Fotos: Chur (oben); Rechte Hangflanke des Davoser Haupttales  
bei Frauenkirch (unten); Strukturformel von Benzo(a)pyren.

**Druck:**  
Staudacher AG, Chur

**Bezugsadresse:**  
Amt für Umweltschutz Graubünden  
Gürtelstrasse 89  
7001 Chur

## VORWORT

Schadstoffe belasten den Boden und beeinträchtigen seine Fruchtbarkeit. Über verschmutzte Luft, Niederschläge und Ablagerung von Partikeln, über Kunst- und Hofdünger, Klärschlamm und Pflanzenschutzmittel gelangen bedeutende Mengen an Schadstoffen auf und in den Boden. Die Auswirkungen sind oft nicht oder nur in Ansätzen bekannt. Ein Teil der Stoffe sammelt sich im Boden an, während andere ins Wasser, in die Luft oder über Pflanzen in die Nahrungskette gelangen. Im Boden können sie das Bodenleben und die Bodenfruchtbarkeit beeinträchtigen. Der Mensch belastet den Boden und über das belastete Trinkwasser und die Nahrungsmittel sich selbst.

Die Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) definiert chemische Bodenbelastungen als «Belastungen des Bodens durch natürliche oder künstliche Stoffe (Schadstoffe).» Dazu hat der Bundesrat in den Anhängen zur VBBo Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für einige nicht oder nur schwer abbaubare Substanzen festgelegt: Schwermetalle, Dioxine und Furane, Polyzyklische organische Kohlenwasserstoffe (PAK), Polychlorierte Biphenyle (PCB). Anhand dieser Werte beurteilen Bund und Kantone die Bodenbelastung. Solche Richtwerte führen zu einem Auffüldenken: Böden, die unterhalb des Richtwertes liegen sind «gesund», solche mit Überschreitung sind «geschädigt». Wurden für einen Stoff keine Werte festgelegt, müssen die zuständigen Behörden fallweise entscheiden, beispielsweise für Tenside, säurebildende Stoffe, Pflanzenschutzmittel, Nährstoffe und andere.

Solche Stoffe können sich im Boden so stark ansammeln, dass Nebenwirkungen auf das Bodenleben nicht auszuschliessen sind. Ausserdem gibt es Stoffe, die in den Boden gelangen und von diesem in andere Umweltmedien verfrachtet werden und dort ebenfalls Schäden verursachen können.

Mit den Regionalstudien «Fallstudie Siedlungsgebiete in Graubünden, Bericht über die Bodenuntersuchungen im Bündner Rheintal und in der Landschaft Davos, 2. Teil: Organische Schadstoffe» wurde für zwei wichtige Gebiete in unserem Kanton, die siedlungsbedingte Bodenbelastung gemessen. Dabei wurde für das Bündner Rheintal das Krigingverfahren eingesetzt. Diese Methode wurde in solchem Aussimme zum ersten Mal in der Schweiz angewendet. Die Arbeiten wurden deshalb wissenschaftlich vom Institut für terrestrische Ökologie der ETH Zürich begleitet. Mit den Ergebnissen der Messungen kann nun dem Leser ein Eindruck über das Ausmass der Belastung der Böden mit ausgewählten Schadstoffen vermittelt werden: Es wird aufgezeigt in welcher Grössenordnung die Schadstoffe «natürlicherweise» im Boden vorkommen, die sogenannte Hintergrundbelastung. Unterschiedlich hohe Bodenbelastungen wurden mit gezielten Spezialuntersuchungen festgestellt, andere hohe Belastungen zufällig entdeckt. Dieser Bericht behandelt die organischen Schadstoffe PAK und PCB. Im Vorjahr wurde über die Schwermetallbelastung berichtet.

Obwohl die Richtwerte selten erreicht werden, zeigen die Messungen, dass einige Böden bereits stark belastet sind, in anderen die Belastung ansteigt. Bodenbelastungen sind aber selten umkehrbar. Massnahmen bedeuten radikale Sanierungseingriffe und sind meistens äusserst kostspielig. Es gilt nun das Auffüldenken zu überwinden wonach ein Boden als quasi unbelastet gilt, solange sich der Stoffgehalt unterhalb des Richtwertes befindet. Massnahmen dürfen deshalb nicht erst ergriffen werden, wenn der Boden bereits aufgefüllt ist, d.h. die Richtwerte erreicht oder überschritten sind, sondern vorbeugend indem die Einträge in die Böden verhindert oder zumindest auf das Notwendigste beschränkt werden.

AMT FÜR UMWELTSCHUTZ  
GRAUBÜNDEN

Dr. P. Baumgartner

# INHALTSVERZEICHNIS

Abkürzungen	6
Zusammenfassung	7
Glossar	8
1 Einleitung	13
2 Siedlungsuntersuchungen	15
2.1 Zielsetzung	15
2.2 Beschreibung und Charakterisierung der beiden Siedlungsgebiete Biogene PAK und PCB im Untersuchungsgebiet ? Immissionen	15
2.3 Vorgehen und Zusammenarbeit	16
2.4 Methodik Das Bündner Rheintal Spezialuntersuchungen Davos	17
3 Ergebnisse und Interpretation	19
3.1 Das Bündner Rheintal Statistische Kenngrössen der untersuchten organischen Schadstoffe auf den Fruchtfolgeflächen Korrelationen Das Bündner Rheintal im gesamtschweizerischen Vergleich Karten zeigen die räumliche Verteilung der PAK und PCB Richt-, Prüf- und Sanierungswertüberschreitungen Regionale Unterschiede – Erhöhte PAK-Konzentrationen in der Umgebung von Chur	19
3.2 Spezialuntersuchungen Grünanlagen – markante Spitzenwerte bei den PAK Hobbygärten – hohe Belastung auf kleinem Raum Krematorium – kein Einfluss auf PAK- und PCB-Gehalt der Böden Grünanlagen und Dauerwiesen im Siedlungsgebiet weisen eine fünfmal höhere PAK-Belastung auf als die Fruchtfolgeflächen PAK und PCB im Bündner Rheintal und in Davos im gesamtschweizerischen Vergleich	28
3.3 Davos	32
Statistische Kenngrössen der untersuchten organischen Schadstoffe auf Wiesen und Weiden der Landschaft Davos Korrelationen Davos im Vergleich mit dem Rheintal Davos im gesamtschweizerischen Vergleich Räumliche Verteilung an Tal- und Hangtransekten PAK – Richtwertüberschreitungen Räumliche Verteilung der PAK PCB – Überschreitungen des Orientierungswertes Räumliche Verteilung der PCB	33

4 Schlussfolgerungen und Ausblick	46
Bündner Rheintal	46
Spezialuntersuchungen	46
Davos	46
Ausblick	47
Weiterführende Literatur	48
Anhang	49

## TABELLENVERZEICHNIS

Tab. 1 Charakterisierung der untersuchten Regionen	16
Tab. 2 Statistik der Rohdaten für PAK und der Einzelstoffe	19
Tab. 3 Statistik der Rohdaten für PCB und der Einzelstoffe	21
Tab. 4 Die Medianwerte der organischen Schadstoffe im Bündner Rheintal und in Davos	22
Tab. 5 Überschreitungen von Richt- und Prüfwerten bei den Grünanlagen im Bündner Rheintal	29
Tab. 6 Überschreitungen der Richt- und Prüfwerte in den Hobbygärten	31
Tab. 7 Überschreitungen von Richt- und Prüfwerten in der Umgebung des Krematoriums	31
Tab. 8 Die Konzentrationen von PAK, PCB und Benzo(a)pyren im Bündner Rheintal und in Davos im Vergleich mit der Schweiz	32
Tab. 9 Statistik der Rohdaten für PAK und der Einzelstoffe	34
Tab. 10 Statistik der Rohdaten für PCB und der Einzelstoffe	35
Tab. 11 Rangkorrelation zwischen dem PAK-Summenparameter und den einzelnen Schwermetallen	36
Tab. 12 Zusammenstellung der Standorte mit Richtwertüberschreitungen	38

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

Abb. 1 Eintragspfade von organischen Schadstoffen in den Boden am Beispiel von PAK	14
Abb. 2 Anzahl der Messwerte über der Nachweisgrenze der einzelnen PCB und PAK sowie der Summenparameter	19
Abb. 3 PAK-(Summen)belastung im Bündner Rheintal	23
Abb. 4 Benzo(a)pyren-Belastung im Bündner Rheintal	24
Abb. 5 PCB-(Summen)belastung im Bündner Rheintal	25
Abb. 6 Räumliche Verteilung von PAK im Bündner Rheintal	26
Abb. 7 PAK-Belastung in den Talabschnitten	27
Abb. 8 BaP-Belastung in den Talabschnitten	27
Abb. 9 Gegenüberstellung der Bodenbelastung mit der Summe der 7 PCB in den Talabschnitten	28
Abb. 10 Vergleich der PAK- Belastung in Grünanlagen	29
Abb. 11 PCB-Belastung, Vergleich der vier Nutzungsklassen im Bündner Rheintal	30
Abb. 12 PAK-Belastung, Vergleich der vier Nutzungsklassen im Bündner Rheintal	32
Abb. 13 Anzahl der Messwerte über der Nachweisgrenze der einzelnen PCB und PAK sowie der Summenparameter	33

Abb. 14	PCB-Belastung an den Standorten mit Schwermetall-Richtwertüberschreitungen	37
Abb. 15	Prozentualer Anteil der PCB-Messwerte über der Nachweisgrenze im Bündner Rheintal	37
Abb. 16	Schematisierte Darstellung der Summenwerte für PAK und PCB sowie der Schwermetallgehalte längs des Taltransektes	39
Abb. 17	Vergleich der PAK-Belastung (Summenparameter) im unteren, mittleren und oberen Abschnitt des Davoser Haupttales	40
Abb. 18	Karte der Region mit den Probenahmestellen und den Gehalten an PAK und PCB (Summenwerte) sowie Benzo(a)pyren (BaP)	41
Abb. 19	Kistendiagramme des PAK-Summenparameters	42
Abb. 20	Verteilung der PCB-Summenwerte im Verhältnis zum Orientierungswert	43
Abb. 21	Vergleich der PCB-Belastung (Summenparameter) im unteren, mittleren und oberen Abschnitt des Davoser Haupttales	44
Abb. 22	Kistendiagramme des PCB-Summenparameters	44
Abb. 23	Prozentualer Anteil der PCB-Messwerte über der Nachweisgrenze auf dem Tal- und den beiden Hangtransekten	45

## ABKÜRZUNGEN

BaP	Benzo(a)pyren
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft
GC-MS	Gaschromatograph-Massenspektroskop
KABO	Kantonales Bodenbeobachtungsnetz
NABO	Nationales Bodenbeobachtungsnetz
PAK	Polyaromatische Kohlenwasserstoffe
PCB	Polyzyklische Biphenyle
PW	Prüfwert
RW	Richtwert
SM	Schwermetall
TS	Trockensubstanz
VBBö	Verordnung über Belastungen des Boden
VSBo	Verordnung über Schadstoffe im Boden

## ZUSAMMENFASSUNG

Die Fallstudie Siedlungsgebiete in Graubünden dokumentiert die Schadstoffbelastung der Böden in zwei repräsentativen Siedlungsräumen des Kantons. Der erste Bericht vom November 1997 befasst sich mit den Schwermetallen, der vorliegende zweite Bericht mit den organischen Schadstoffen PAK und PCB. Im Talsiedlungsraum Bündner Rheintal wurde eine Untersuchungsmethode angewendet, die die Herstellung von Schadstoffverbreitungskarten für die Fruchtfolgeflächen ermöglicht. In der Landschaft Davos als Bergsiedlungsraum galt das Interesse neben der Situation im Tal auch der Höhenabhängigkeit der Schadstoffbelastung längs zwei Hangtransekten. Hier werden die Ergebnisse in Form von Diagrammen dargestellt.

Die Belastungen mit PAK und PCB des Bündner Rheintals liegen in derselben Größenordnung wie die Hintergrundwerte für unbelastete Böden der Schweiz.

Aus den Schadstoffkarten für das Rheintal wird ersichtlich, dass zwischen Domat/Ems und Chur für PCB leicht höhere Werte gemessen wurden als zwischen Chur und Landquart. Dieser regionale Unterschied wurde schon beim Kupfer beobachtet. Allerdings gibt es im nördlichen Abschnitt des Bündner Rheintals ebenfalls Standorte mit höheren PCB-Werten.

In der Umgebung der Stadt Chur ist die PAK-Belastung in den Fruchtfolgeflächen signifikant höher als im übrigen Bündner Rheintal.

In Davos liegen die Mediane der PAK und PCB trotz des Vorkommens hoher Einzelwerte unter jenen des Bündner Rheintals. Eine Anzahl Talstandorte weist zum Teil erhebliche Richtwertüberschreitungen auf, wobei an ein und demselben Standort meist mehrere Stoffgruppen richtwertüberschreitend vorkommen. Im Taltransekt der Davoser Landschaft sind z.T. enge Korrelationen zwischen organischen Schadstoffen und Schwermetallen zu verzeichnen. Dies ist im Bündner Rheintal nicht der Fall.

Obschon sich die Summen der PCB im Talboden und an den Hängen nicht voneinander abheben, wird bei den einzelnen PCB-Kongeneren folgendes beobachtet: Die leichtflüchtigen PCB 28 und 52 kommen fast ausschliesslich an den Hangstandorten vor, die höher chlorierten, schwerflüchtigen PCB 138 und 153 hingegen hauptsächlich im Taltransekt. Für diese Stoffe kann eine Höhenabhängigkeit vermutet werden. Am Hangtransekt Richtung Frauenkirch ist zudem eine höhere Belastung mit PCB 28 zu verzeichnen, was mit einer Verfrachtung talabwärts in der Hauptwindrichtung zu erklären ist. Im Taltransekt ist kein Unterschied hinsichtlich PAK- und PCB-Belastung der Böden zwischen den verschiedenen Talabschnitten festzustellen.

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

Die Hobbygärten in Chur weisen sehr hohe Belastungen mit PAK auf. Auf Grund der vorliegenden Untersuchung sind die Hobbygärten durchschnittlich 35 mal mehr belastet als die Fruchtfolgeflächen und Grünanlagen. Verglichen mit einer PAK-Untersuchung in Oltener Familiengärten sind die PAK-Belastungen in den Churer Hobbygärten in derselben Größenordnung. Die Grünanlagen in Chur und den umliegenden Gemeinden sind gesamthaft betrachtet, wie die Dauerwiesen in der Umgebung des Krematoriums 5 bis 9 mal höher durch PAK belastet als die Fruchtfolgeflächen. Es konnte kein Zusammenhang zwischen den Emissionen des Krematoriums und den PAK- und PCB-Belastungen in den umliegenden Böden nachgewiesen werden.

## GLOSSAR

### Bindung und Verlagerung von Organischen Schadstoffen im Boden

Die Bindung von organischen Schadstoffen an Bodenpartikel, insbesondere an die organische Substanz und deren Verlagerung in tiefere Horizonte hängt hauptsächlich von der Molekülgrösse (Anzahl Benzolringe) bei den PAK bzw. vom Chlorierungsgrad bei den PCB ab. Die hohe Sorptionsneigung für organische Substanz ist bei den PAK teilweise noch ausgeprägter als bei den PCB. Beide Stoffgruppen weisen eine relativ geringe Wasserlöslichkeit auf. Zur Auswaschung ins Grundwasser können jedoch folgende Konstellationen führen: Mit steigendem pH-Wert nimmt die Sorption an die organische Substanz ab. Da der Tongehalt kaum einen Einfluss auf die Bindung von PAK und PCB hat, kann es zu Auswaschungsprozessen kommen. Zudem sind die niedrigchlorierten PCB (28 und 52) und die PAK mit nur 2 Bezolringen (Naphthalin u.a.) wasserlöslicher als die grösseren Moleküle beider Stoffgruppen. Zusammen mit löslichen Huminstoffen gelangen organische Schadstoffe ins Grundwasser – ein noch wenig untersuchter Verlagerungsprozess. Bei den PCB stellt die Verflüchtigung in die Luft einen bedeutenden Eliminierungsprozess aus den Böden dar.

### Bioakkumulation

Anreicherung von Stoffen in Nahrungsketten und -pyramiden. Wegen der physikalischchemischen Eigenschaften (geringe Wasserlöslichkeit, hohe Fettlöslichkeit) tendieren PCB zu Bioakkumulation vor allem in Tieren und Menschen, jedoch kaum in Pflanzen. Die PAK werden hingegen meistens direkt in der Geosphäre akkumuliert.

### Bodenbildung

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

### Fruchfolgeflächen

Fruchfolgeflächen umfassen das ackerfähige Kulturland, vorab das Ackerland und die Kunstwiesen in Rotation sowie die ackerfähigen Naturwiesen. Sie werden mit Massnahmen der Raumplanung gesichert [1].

### Funktionen des Bodens

Unter den vier Funktionen kommt der Regelungsfunktion im Stoffaufbau und Stoffabbau heutzutage die umfassendste Bedeutung zu. Der Boden filtert, reinigt, baut ab und lagert organische und

mineralische Stoffe. Er übernimmt damit teilweise die Reinigung der Wasser- und Luftkreisläufe. Damit belastet der Boden sich jedoch selbst.

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

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

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

## **Geologie und Boden**

Das geologische Ausgangsmaterial beeinflusst in den meisten Fällen viele Bodeneigenschaften wie Körnung, Gefüge, Porosität oder Bodenreaktion. Es finden jedoch Umformungen der in den Gesteinen befindlichen Minerale statt. Hinzu kommen Auswaschungen und Anreicherungen innerhalb des Bodenprofils sowie die Humusbildung, die von der Gesteinsunterlage oft wenig oder gar nicht abhängt.

## **Geostatistik**

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

## **Gestuftes Probennahmeschema**

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

## **Grünanlagen**

Unter Grünanlagen fallen die nicht landwirtschaftlich genutzten Grünflächen in Siedlungsgebieten wie Pärke, Rasen in Hausgärten, Sport- und Turnrasen sowie Kinderspielplätze.

## **Hintergrundwerte, regionale**

Damit man von regionalen Hintergrundwerten sprechen kann, müssen drei Voraussetzungen gegeben sein: Eine grosse Anzahl Werte (1) aus einer einzigen Nutzung (2) innerhalb einer Region entnommen (3). Für die organischen Schadstoffe gibt es zum aktuellen Zeitpunkt noch relativ wenig Datenmaterial, nicht zuletzt wegen der mangelnden Vergleichbarkeit der Analysedaten. Im Hintergrundwert für PAK ist immer auch ein biogener Anteil enthalten. Mit der vorliegenden Untersuchung liegen Hintergrundwerte vor, die für vergleichbare Regionen und Nutzungstypen in der Schweiz verwendbar sind.

## Hobbygärten (Familiengärten)

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

## Humus

Der Humus, das heisst die Gesamtheit der abgestorbenen organischen Bodensubstanz, stellt als biologisch hochaktiver Bodenbestandteil die wichtigste Grundlage der Nährstoffkreisläufe dar. Der Humus ist die einzige natürliche Stickstoffquelle des Bodens. Die organischen Schadstoffe wie PAK und PCB haben eine grosse Affinität zur organischen Substanz im Boden, was sich in einer hohen → Sorptionskonstante zu dieser ausdrückt (Koc).

## Immissionen (Herkunft)

Immissionen werden vor allem über die Atmosphäre eingetragen. Sie werden von angrenzendem Strassenverkehr, von Industrie und Gewerbe sowie von der Landwirtschaft verursacht. Die über Jahre hinweg einwirkenden Immissionen führen zu einer zeitlichen Akkumulation von Schadstoffen im Boden.

## Kongenere

Kongenere sind beispielsweise Einzelstoffe der PAK (z.B. Naphthalin) mit Benzolringen unterschiedlicher Anordnung und der PCB mit unterschiedlichem Chlorierungsgrad.

## Kriging

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

## Ökosystem Boden

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

## PAK

### Entstehung

Die polycyclischen Aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAK) entstehen während sauerstoffarmer unvollständiger Verbrennung. Naphthalin entsteht beispielsweise bei der Koksherstellung und wird als wichtiger Rohstoff in der Kunststoff-, Arzneimittel- und Farbstoffindustrie verarbeitet. Benzo(a)pyren

bildet sich beim Schwelen brennbarer organischer Stoffe, z.B. im Holzkohlengrill oder beim Zigarettenrauchen und wirkt krebserzeugend. Der natürliche Anteil an PAK im Boden wird mit 10 µg/kg angegeben. Die meisten PAK werden nicht gezielt hergestellt.

#### *Abbau*

Die niedermolekularen PAK Naphthalin und Anthracen weisen bezüglich mikrobiellem Abbau im Boden eine Halbwertszeit von weniger als 6 Monaten auf. Werden hohe Naphthalingehalte an einem Standort gemessen, kann von einer aktuellen Verschmutzung ausgegangen werden. PAK werden durch Licht transformiert (Photolyse). Hochmolekulare PAK-Verbindungen werden im Boden angereichert.

## **PCB**

#### *Entstehung*

Die polychlorierten Biphenyle (PCB) wurden vor dem weltweiten Anwendungsverbot – anders als PAK – gezielt hergestellt. Gut löslich in Ölen und organischen Lösungsmitteln wurden sie beispielsweise in Kondensatoren verwendet. Diese PCB-haltigen Öle müssen bis 1999 jedoch durch andere, umweltschonende Produkte ersetzt werden.

#### *Abbau*

Auch bei hoher Strahlungsintensität sind PCB in der Atmosphäre stabil. Treten erhöhte Werte der niedrigchlorierten PCB28 und 52 im Boden auf, deutet dies ebenfalls auf eine Verschmutzung neuern Datums hin, da diese Einzelkomponenten relativ schnell mikrobiell abgebaut werden. Die PCB-Abbaurate ist in Böden mit viel organischer Substanz relativ gering, da die PCB in einer vor dem mikrobiellen Abbau geschützten Form an organische Substanz gebunden werden.

## **Pflanzenverfügbarkeit**

Pflanzen nehmen PCB nur in geringen Mengen auf. Ein Transport in die oberirdischen Organe findet kaum statt. Ebenfalls wenig pflanzenverfügbar sind die PAK.

## **Regenerierbarkeit**

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

## **Revision des USG**

In der Revision des USG wird am ursprünglichen Konzept festgehalten, dass der Schutz des Bodens durch die Begrenzung des Schadstoffeintrags zu gewährleisten ist. Neu enthält das Gesetz aber auch die Grundlage für die Sanierung von Böden, die belastet sind, und für Massnahmen gegen die physikalische Belastung. Zur Beurteilung der angemessenen Massnahmen dienen Richt-, Prüf- und Sanierungswerte, die in der am 1.10.1998 in Kraft getretenen Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) festgehalten sind [10].

## Richt-, Prüf- und Sanierungswerte

Die Richtwerte für ausgewählte organische Schadstoffe im Boden sind in der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) festgesetzt worden [10]. Sie sind gewichtsbezogen (mg/kg bzw. g/t) und gelten in der Regel nur für Mischproben der obersten 20 cm mineralischer Böden. Sie geben die Belastung an, bei deren Überschreitung die Fruchtbarkeit des Bodens langfristig nicht mehr gewährleistet ist.

Die Prüfwerte zeigen die Schwelle zu einer möglichen Gefährdung an. Sind die Prüfwerte überschritten, muss eine genauere Untersuchung aufzeigen, ob eine Gefährdung besteht oder nicht. Wichtiges Kriterium für die Festlegung von Prüfwerten ist, ob die einzelnen PAK oder PCB für die entsprechenden Nutzungsarten human- oder zootoxisch sind. Das heisst: die relevanten Wirkungspfade werden auf die jeweilige Gefährdung hin analysiert.

Die Sanierungswerte geben die Belastung an, bei deren Überschreitung bestimmte Nutzungen ohne Gefährdung von Menschen, Tieren und Pflanzen nicht möglich sind. Human- und phytotoxische Kriterien waren für die Festlegung der Sanierungswerte der verschiedenen Nutzungskategorien massgebend. Die VBBo legt fest, was bei Überschreitungen von Prüf- und Sanierungswerten unternommen werden muss.

## Sorptionskonstante

Die Sorption von Schadstoffen an Boden- und Sedimentpartikel steigt mit abnehmender Partikelgrösse und zunehmendem Gehalt an organischen Anteilen. Fettlösliche Stoffe wie PCB mit hoher Tendenz zur → Bioakkumulation sorbieren stark an die organischen Bestandteile von suspendierten Partikeln, Böden und Sedimenten. Koc: Sorptionskonstante bezogen auf den organischen Kohlenstoff. Auch PAK weisen hohe Sorptionskonstanten auf.

## Toxizität

PCB weisen eine relativ niedrige akute (Human)-Toxizität auf, doch ihre Wirkung ist kumulativ. Insbesondere wegen der hohen Fettlöslichkeit gelangen die PCB stufenweise in die Nahrungskette und werden damit im Ökosystem weit verbreitet. Bei der Beurteilung der gemessenen PCB-Belastung muss immer berücksichtigt werden, dass die in der VBBo vorgeschriebenen Leitparameter nicht zu den PCB mit der höchsten Toxizität gehören. Sie wurden aus rein analytischtechnischen und finanziellen Gründen ausgewählt. Bei den PAK stehen die kanzerogenen → Kongenere im Vordergrund (u.a Benzo(a)pyren).

## Transekts

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

## Variogramm

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

## 1 EINLEITUNG

Der Bund erwähnt im Zweckartikel des Umweltschutzgesetzes ausdrücklich die Erhaltung der Fruchtbarkeit des Bodens und hat damit die rechtliche Grundlage für einen umfassenden Bodenschutz gelegt. Dazu wurden die «Verordnung über Schadstoffe im Boden» (VSBo) und die seit dem 1.10.98 in Kraft stehende «Verordnung über Belastungen des Bodens» (VBBo) geschaffen, die die eigentliche Basis für die Bodenschutztätigkeit in den Kantonen bilden. Die Kantone sind beauftragt, den Boden bezüglich der Schadstoffgehalte zu beobachten. Mit der Zuweisung von Vollzugsaufgaben an das Amt für Umweltschutz soll der Schutz des Bodens aktiv und vorsorglich betrieben werden. Bei einer Gefährdung der Bodenfruchtbarkeit sind die Schadstoffquellen zu ermitteln und allenfalls Massnahmen zu treffen, die den weiteren Anstieg der Schadstoffgehalte verhindern. In Ergänzung zur langfristigen und vertieften Bodenbeobachtung (LBN) werden im Kanton Graubünden problembezogen weitere Untersuchungen durchgeführt. Gestützt auf den Regierungsbeschluss Nr. 1300 vom 31.5.1994 führte der Kanton Graubünden die vorliegende Bodenuntersuchung «Fallstudie Siedlungsgebiete in Graubünden» durch. Sie erlaubt dem Kanton, eine zuverlässige Beurteilung des qualitativen Zustandes der Böden in den Siedlungsräumen und deren Umgebung. Die Beurteilung erfolgt anhand von Richt-, Prüf- und Sanierungswerten für Schadstoffe, die im Hinblick auf die langfristige Erhaltung der Fruchtbarkeit des Bodens in der VBBo festgelegt worden sind. Um kleinräumige Stoffeinträge interpretieren zu können sind regionale Hintergrundwerte nötig. Mit Hilfe der grossräumigen Bodenuntersuchungen im Bündner Rheintal und in der Landschaft Davos wurden die entsprechenden Hintergrundwerte erhoben und berechnet. Der vorliegende Bericht befasst sich mit den organischen Schadstoffklassen PAK und PCB.

### Bodenschutzziele

Aus den wichtigen Funktionen des Bodens ergeben sich die Bodenschutzziele.

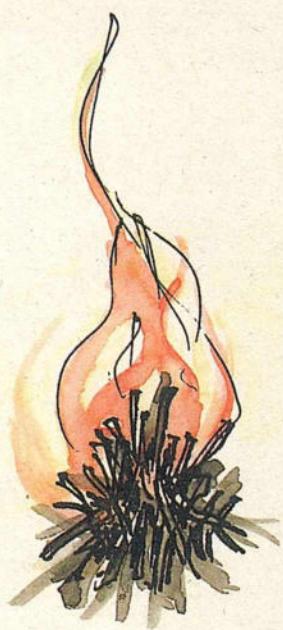
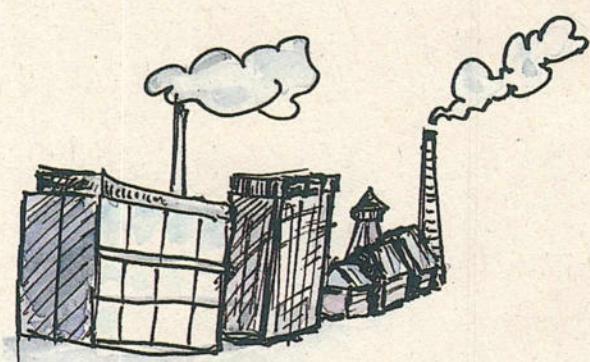
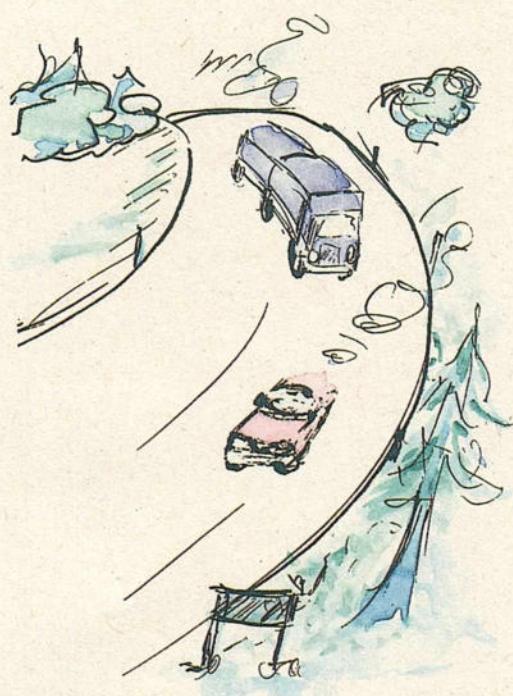
Unter den mannigfältigen Funktionen kommt der *Regelungsfunktion* im Stoffaufbau und Stoffabbau heutzutage die umfassendste Bedeutung zu. Der Boden filtert, reinigt, baut ab und lagert organische und mineralische Stoffe. Er übernimmt damit teilweise die Reinigung der Wasser- und Luftkreisläufe. Damit belastet der Boden sich aber selbst. Die Regenerierbarkeit des Bodens beansprucht sehr viel Zeit verglichen mit anderen Teilökosystemen wie Wasser und Luft. Deshalb muss der *Früherkennung* und der *Erkundung von Bodenbelastungen* grosse Bedeutung zugemessen werden.

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

### Anthropogene Einwirkungen auf die Böden

#### Herkunft der untersuchten Elemente

Die Einträge der PAK (Abb. 1) und PCB in den Boden erfolgen hauptsächlich über die Luft und indirekt über das Wasser. Beide Stoffgruppen werden an Partikel gebunden und so über mehr oder weniger grosse Distanzen transportiert. Am besten untersucht ist der Verfrachtungspfad der PAK in der Nähe von verkehrsreichen Strassen. Obschon die PCB-Produktion heute für offene und geschlossene Systeme verboten ist, gelangen diese Stoffe auch heute noch durch Lecks in die Umwelt.



**Abb. 1** Eintragspfade von organischen Schadstoffen in den Boden am Beispiel von PAK. Direkter lokaler Eintrag durch Bewirtschaftung (Klärschlamm, Asche von Holzkohlen), indirekter Eintrag durch Verfrachtung über die Luft (an Partikel gebunden) aus unvollständiger Verbrennung (Industrie, Feuerungen, Strassenverkehr, Waldbrand).

## 2 SIEDLUNGSUNTERSUCHUNGEN

### 2.1 Zielsetzung

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

Das ganze Projekt wurde in die folgenden drei Teile gegliedert:

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

Diese Untersuchungen sollten Antworten auf wichtige Fragen liefern:

- Wie hoch sind die Hintergrundwerte von Schadstoffen in beiden Siedlungsgebieten?
- Können nutzungsbedingte Einträge erfasst werden?
- Woher stammen die höchsten Schadstoffbelastungen?
- In welcher Grössenordnung unterscheidet sich der Talsiedlungsraum vom Bergsiedlungsraum bezüglich Schadstoffbelastung des Bodens?
- Unterscheiden sich die Hobbygärten in Chur von anderen Gemüsegärten der Schweiz?
- Ist eine Höhenabhängigkeit der Schadstoffverbreitung an den Hängen in der Landschaft Davos feststellbar?

### 2.2 Beschreibung und Charakterisierung der beiden Siedlungsgebiete

#### Biogene PAK und PCB im Untersuchungsgebiet ?

Natürlicherweise entstehen PAK bei Wald-, Moor-, und anderen offenen Bränden oder sie werden durch Mikroorganismen, Pflanzen und Tieren aus Huminsäuren erzeugt. In einem Moor konnte beispielsweise ein Anstieg des PAK-Gehaltes vom Oberboden bis in 2m Tiefe von 0.05 bis auf 4.4 mg/kg TS beobachtet werden. Der biogene Anteil an PAK im Boden wird mit ca. 10 µg/kg angegeben (Seite 22). Anders als bei den PAK gibt es keine PCB biogenen Ursprungs. Doch muss auch in sogenannt unbelasteten Böden mit einer anthropogenen PCB-Grundbelastung gerechnet werden. Wegen ihrer Lipidlöslichkeit und chemischen Stabilität finden sich PCB innerhalb von Nahrungsketten weltweit in den meisten Ökosystemen.

## Immissionen

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

**Tab. 1** Charakterisierung der untersuchten Regionen.

Region	Geologie	Tektonik	Petrographie	Höhenlage Klima	Topographie	beprobte Flächen	Emissionen
Bündner Rheintal (Reichenau -Landquart)	relativ einheitlich	Penninikum (rechtsrhei- nisch)  Helvetikum (linksrhei- nisch)	mergeligsan- diger Kalk, quartäre Flussablager- ungen	500 bis 600 m.ü.M.	U-Tal, begün- stigt Wind- kanalisierung	Fruchtfol- geflächen	Industrie, Verkehr, Feuerungen, Müllkompost
Landschaft Davos	Kompli- zierte Situation	Verschiedene Deckensyste- me: Silvretta, Aroser Dolomit  Davoser Dorfberg	Kristallin, Aroser Dolomit, quartäre Ablager- ungen: Moränen, Bergsturz, Alluvionen	über 1000 m.ü.M.	Inversions- lage, Talab- wind	Weiden, Wiesen	Verkehr, Feuerungen

## 2.3 Vorgehen und Zusammenarbeit

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

Bisher wurden erst wenige mit diesem Bericht vergleichbare Untersuchungen organischer Schadstoffe im Boden durchgeführt – sei es von Kantonen im Rahmen des KABO oder vom Bund (NABO). Der Stand der Forschung ist ebenfalls weniger weit fortgeschritten als bei den Schwermetallen. Bei der Erstellung dieses Berichts verzeichnete beispielsweise das Institut für Terrestrische Ökologie der ETH Zürich – als massgebendes Boden-Forschungsinstitut der Schweiz – kein einziges Forschungsprojekt zu diesem Thema<sup>1</sup>. Dies liegt nicht zuletzt in den um Grössenordnungen höheren Kosten bei der Analytik dieser Stoffe begründet. Die Tatsache, dass täglich neue, bisher unbekannte organische Substanzen bei Verbrennungsprozessen in die Umwelt freigesetzt werden, zeigt nur andeutungsweise die Komplexität des Problems. Im aktuellsten Bericht des BUWAL [2] zu diesem Thema wird einerseits die Wichtigkeit künftiger Forschungsbemühungen für gewisse Fragestellungen betont, andererseits wird eine konsequente Koordination bei Untersuchungen von organischen Schadstoffen im Boden zwischen Bund und Kanton empfohlen. Zum letzterwähnten Punkt möge der vorliegende Bericht einen Beitrag leisten, indem er die Ergebnisse dieser Untersuchung dokumentiert.

<sup>1</sup> Schulin, R. Prof., Institut für Terrestrische Ökologie ETH Zürich: Persönliche Mitteilung

## 2.4 Methodik

Zur Beantwortung der eingangs in den Zielsetzungen gestellten Fragen braucht es Informationen über die sogenannten regionalen Hintergrundwerte. Diese erlauben es, ausserordentliche Schadstoffbelastungen zu erkennen und zu bewerten. Anders als bei den Schwermetallen gibt es bei den PAK und PCB keine geogenen Grundbelastungen in den Böden. Hingegen wird ein bestimmter Anteil an biogenen PAK auch in unbelasteten Böden gefunden. Um die gesteckten Ziele zu erreichen, wurden im Bündner Rheintal und in Davos zwei verschiedene Wege beschritten, die den regionalen Gegebenheiten Rechnung trugen. Da die Analytik der organischen Schadstoffe schwierig und zum Teil uneinheitlich gehandhabt wird, müssen bei den jeweiligen Untersuchungen die erhobenen Leitparameter und die Detektionsmethode erwähnt werden, um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten. Die in der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) vorgeschriebenen 16 PAK und 7 PCB wurden in einem privaten Labor analysiert und mit GC-MS detektiert [3].

### Das Bündner Rheintal

Zur Darstellung der regionalen Hintergrundwerte ist eine flächendeckende Belastungskarte ideal, aber teuer, da dies eine lückenlose Beprobung der Region voraussetzt. Mit Hilfe geeigneter Interpolationsverfahren lässt sich allerdings die Zahl der Beprobungsstellen so weit reduzieren (160 Proben auf → Fruchtfolgeflächen), dass ein günstiges Verhältnis zwischen Aufwand und Genauigkeit der Darstellung erreicht wird. Im Fall des Bündner Rheintals wurde eine Interpolation nach dem → Kriging-Verfahren vorgenommen. Dazu müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. (Vergleiche dazu die Ausführungen im Bericht über die Schwermetalluntersuchungen, Amt für Umweltschutz Kanton Graubünden, 1997, [4]). Allerdings wurde in der vorliegenden Auswertung der PAK und PCB die Darstellung der Variationskoeffizienten als nicht sinnvoll erachtet, da keine klare räumliche Abhängigkeit (→ Variogramm) auftrat.

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

### Spezialuntersuchungen

Im Unterschied zu den Grünanlagen wird in Hobbygärten meistens intensiv gedüngt und oft werden (wurden) zusätzliche Hilfsstoffe ausgebracht. Häufig werden die in Garten und Küche anfallenden Grünabfälle kompostiert. Der reife Kompost wird später wieder auf die Gemüserabatten ausgetragen. Dabei wird der Nährstoffbedarf weitgehend gedeckt. Bei unsachgemässer Kompostierung kann der Kompost bedeutende Schadstoffgehalte aufweisen. Besonders belastend in bezug auf die organischen Schadstoffe ist der immer noch verbreitete Usus, Asche aus Cheminée und Holzgrill im Garten auszubringen..

#### Hobbygärten

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

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

### *Grünanlagen*

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

### *Krematorium*

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

### **Davos**

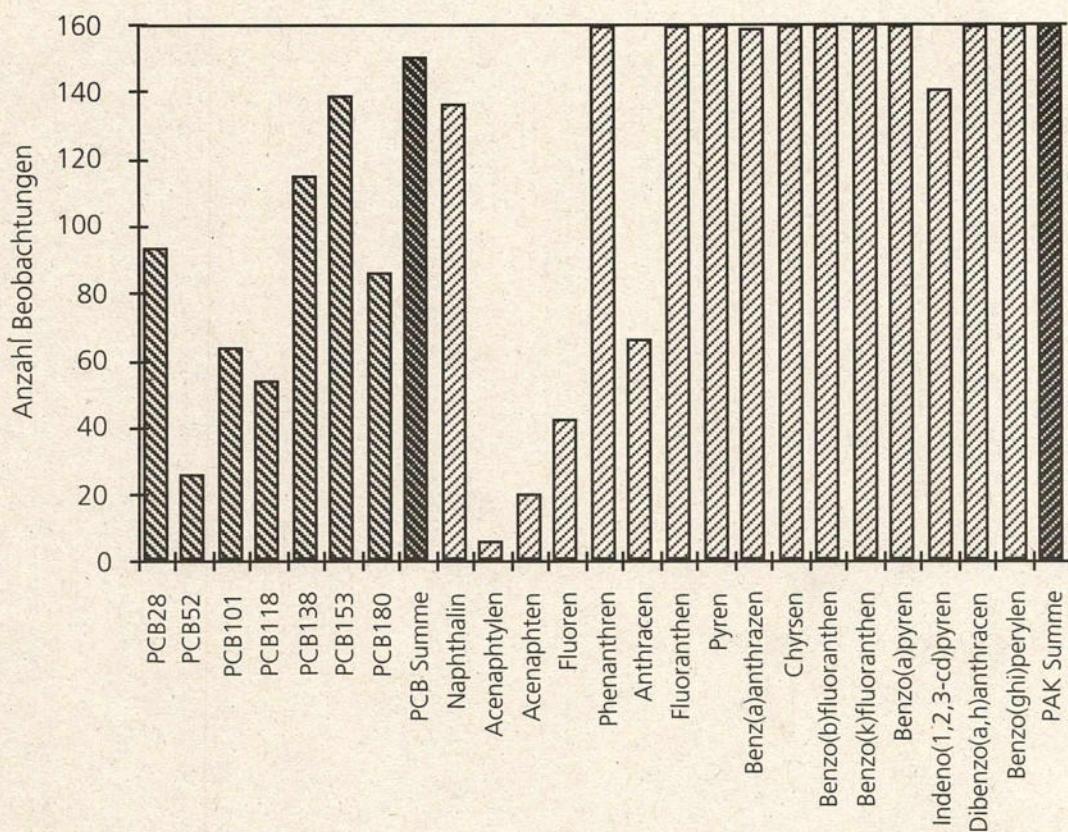
Die Vermutung, dass die Schadstoffe vor allem im Hauptsiedlungsraum Davos emittiert und mit dem Wind talabwärts verfrachtet werden, führte zu einer Beprobung auf einem Längstransekt im Talboden von Glaris bis zum Davoser See (50 Wiesenstandorte). Um die Höhenverteilung der Schadstoffe und insbesondere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

### 3 ERGEBNISSE UND INTERPRETATION

#### 3.1 Das Bündner Rheintal

##### Statistische Kenngrößen der untersuchten organischen Schadstoffe auf den Fruchtfolgeflächen

In diesem Kapitel wird anhand der Messwerte der 159 Einzelproben ein zusammenfassendes Bild der Schadstoffsituation im Bündner Rheintal gezeichnet. Dabei bleibt die räumliche Verteilung der Daten noch unberücksichtigt. Durch die Berechnung bestimmter statistischer Kenngrößen (z.B. Median) wird das umfangreiche Zahlenmaterial zusammengefasst und soweit möglich mit ähnlichen Untersuchungen in anderen Regionen verglichen.



**Abb. 2** Anzahl der Messwerte über der Nachweisgrenze der einzelnen PCB und PAK sowie der Summenparameter. Es wurden 159 Proben untersucht.

#### PAK

Von insgesamt 2703 Messwerten liegen 2158 (= 80 %) über der Nachweisgrenze (Abb. 2), d.h. gleich viel wie in der Landschaft Davos (vgl. Kp.3.3). Sowohl die Mittelwerte als auch der jeweilige Medianwert von Benzo(a)pyren und der Summe der 16 PAK unterschreiten deutlich die Richtwerte von 200 µg/kg respektive 1000 µg/kg. Fluoranthen und Pyren machen zusammen ein Viertel der PAK-Summe aus (Tab. 2).

**Tab. 2** Statistik der Rohdaten für PAK und die Einzelstoffe gemäss EPA-Liste (siehe Auszug VBBo im Anhang). Anzahl Proben: 159.  
Von insgesamt 2703 Messwerten liegen 2158 (= 80 %) über der Nachweisgrenze. Richtwert für PAK: 1000µg/kg, BaP: 200 µg/kg.

	Naphthalin	Acenaphtylen	Acenaphthen	Fluoren	Phenanthren	Anthracen	Fluoranthen	Pyren
Anzahl Beobachtungen	136	6	20	42	159	66	159	159
Minimum	1.02	1.14	1.01	1.02	1.99	1.01	3.27	2.86
Maximum	38.30	3.44	14.8	39.00	320.00	64.20	669.00	509.00
Mittelwert	2.51	1.93	2.35	2.88	11.84	3.68	27.86	25.39
Varianz	12.63	0.74	9.14	34.70	731.05	69.59	3910.27	2396.64
Standardabweichung	3.55	0.86	3.02	5.89	27.04	8.34	62.53	48.96
Standardfehler	0.31	0.31	0.68	0.91	2.14	1.03	4.96	3.88
Schiefe	7.98	0.91	3.75	5.70	9.75	6.12	8.00	7.36
Kurtosis	74.79	-0.40	12.96	32.34	105.60	40.72	73.32	63.92
Variationskoeffizient	1.42	0.44	1.29	2.04	2.28	2.27	2.24	1.93
Median	1.78	1.72	1.48	1.36	6.92	1.33	14.70	14.10

	Benzo(a) anthracen	Chrysene	Benzo(b) fluoranthen	Benzo(k) fluoranthen	Benzo(a) pyren	Indeno(1,2,3- c,d)pyren	Dibenzo(a,h) anthracen	Benzo(g,h,i) perylene	Summe (PAK)
Anzahl Beobachtungen	158	159	159	159	159	159	140	159	159
Minimum	1.31	2.12	2.07	1.75	1.45	1.27	1.01	1.65	18.60
Maximum	300.00	328.00	332.00	283	348.00	290.00	73.50	259.00	3843.00
Mittelwert	12.53	17.99	19.54	15.50	17.63	14.31	4.01	14.17	185.03
Varianz	863.87	1108.17	1194.43	874.75	1562.22	829.83	62.13	634.27	139423.72
Standardabweichung	29.39	33.29	34.56	29.58	39.53	28.81	7.88	25.19	373.40
Standardfehler	2.34	2.64	2.74	2.35	3.14	2.29	0.67	1.99	29.61
Schiefe	7.44	6.97	6.88	6.41	6.83	7.11	6.75	6.99	7.43
Kurtosis	63.70	56.06	53.78	49.00	51.61	59.12	51.41	59.38	63.81
Variationskoeffizient	2.35	1.85	1.77	1.91	2.24	2.01	1.96	1.78	2.02
Median	5.86	10.30	11.40	8.00	8.47	7.44	2.10	8.16	102.00

**PCB**

Tabelle 3 zeigt, dass für die PCB Summen der Mittelwert und der Median deutlich unter dem Hintergrundwert für unbelastete Böden in der Schweiz von 10 µg/kg liegen (Seite 22). Dieser Hintergrundwert wird auch an keinem Einzelstandort erreicht. 65 % der Messwerte liegen über der Nachweisgrenze von 0.2 µg/kg und damit deutlich mehr als in der Landschaft Davos (nur 27%, siehe Kapitel 3.3). Besonders interessant ist die Häufigkeit des leicht flüchtigen PCB 28 mit 58 % im Bündner Rheintal.

**Tab. 3** Statistik der Rohdaten für PCB und der Einzelstoffe gemäss EPA-Liste (siehe Auszug VBBBo im Anhang). Anzahl Proben: 159. Von insgesamt 1113 Messwerten liegen 727 (= 65 %) über der Nachweisgrenze. Einheit: µg/kg.

	PCB28	PCB52	PCB101	PCB118	PCB138	PCB153	PCB180	SUMME
Anzahl Beobachtungen	93	26	64	54	115	139	86	150
Minimum	0.20	0.21	0.20	0.22	0.21	0.20	0.21	0.20
Maximum	3.17	1.07	0.82	0.60	1.76	1.90	1.68	7.91
Mittelwert	0.41	0.31	0.41	0.35	0.59	0.60	0.50	1.91
Varianz	0.14	0.03	0.03	0.01	0.12	0.16	0.08	2.60
Standardabweichung	0.38	0.17	0.16	0.09	0.35	0.40	0.29	1.61
Standardfehler	0.04	0.03	0.02	0.01	0.03	0.03	0.03	0.13
Schiefe	5.10	3.74	0.89	0.66	1.11	1.11	1.62	1.08
Kurtosis	31.75	14.25	0.08	-0.01	1.00	0.45	2.95	0.74
Variationskoeffizient	0.91	0.55	0.39	0.27	0.59	0.66	0.58	0.85
Median	0.32	0.28	0.39	0.34	0.49	0.46	0.41	1.33

## Korrelationen

Die nach Spearman berechneten Rang-Korrelationen zwischen den PAK-Einzelkomponenten (ausser mit den seltener nachgewiesenen Stoffen) sind allgemein sehr eng. Unterschiedlich eng sind die Korrelationen bei den PCB. Die beste Korrelation besteht im Bündner Rheintal zwischen PCB 138 und 153. Diese Einzelkomponenten weisen ebenfalls eine gute Korrelation zu PCB 180 auf. Auch die niederchlorierten PCB 28 und 52 korrelieren im Bündner Rheintal sehr gut (über 0.9). Zwischen den einzelnen PAK und PCB und auch zwischen den jeweiligen Summen werden nur schwache Korrelationen festgestellt. Zu den Schwermetallen können im allgemeinen keine engen Korrelationen ermittelt werden, weder zu den PAK noch zu den PCB. Dies deutet darauf hin, dass die Belastungsquellen unterschiedlicher Natur sind.

## Das Bündner Rheintal im gesamtschweizerischen Vergleich

Über die gesamtschweizerische Bodenbelastung durch organische Schadstoffe gibt es noch wenig vergleichbare Daten (Tab. 4). Dies ist eine Folge der bis vor wenigen Jahren uneinheitlichen Analysemethoden. Bei Vergleichen mit früheren Untersuchungen ist deshalb Vorsicht angebracht. Insbesondere bei PCB-Summenwerten muss klar ersichtlich sein, wieviele und welche → Kongenere analysiert worden sind und – nicht minder von Bedeutung – mit welcher Analysemethode gearbeitet wurde. Für die PAK-Summen werden in der Schweiz gemäss EPA-Liste die Werte von 16 Leitparametern gemessen. Als für die Schweiz brauchbare Vergleichshintergrundwerte können folgende Angaben verwendet werden:

Für unbelastete Böden in der Schweiz <sup>2</sup>	PAK-Summen:	100 bis 200 µg/kg
	PCB-Summen:	10 µg/kg

**Tab. 4** Die Medianwerte der organischen Schadstoffe (µg/kg) im Bündner Rheintal und in Davos im Vergleich mit Hintergrundwerten für unbelastete Böden in der Schweiz.

Schadstoff	Richtwert (VBBo)	Rheintal	Davos	ganze Schweiz
PAK Summe	1000	102	93.9	100-200
Benzo(a)pyren	200	8.5	7.5	
	50 <sup>3</sup>	1.33	0.61	10

## Karten zeigen die räumliche Verteilung der PAK und PCB

Die Beprobung des Bündner Rheintals erfolgte mit dem Ziel, flächendeckende Informationen über die Hintergrundbelastung dieses Siedlungsraumes durch organische Schadstoffe zu gewinnen und in Form von Karten darzustellen. Mittels → Kriging konnten die Flächenmittelwerte der PCB, PAK und Benzo(a)pyren als Karten wiedergegeben werden.

In den Abbildungen 3, 4 und 5 sind die durch → Kriging interpolierten Schätzwerte für Fruchtfolgeflächen dargestellt. Abbildung 6 zeigt die räumliche Verteilung der PAK im Bündner Rheintal.

## Richt-, Prüf- und Sanierungswertüberschreitungen

Die einzigen zwei Richtwertüberschreitungen (Abb. 6) von insgesamt 159 Messwerten von PAK-Summen und Benzo(a)pyren wurden an Standorten neben der N13 südwestlich von Chur festgestellt. Für PCB besteht kein Richtwert. Die Prüf- und Sanierungswerte wurden weder für PAK noch für PCB überschritten.

<sup>2</sup> Berset, J. D. Dr., Institut für Umwelt und Landwirtschaft (IUL): Persönliche Mitteilung

<sup>3</sup> Für PCB ist in der VBBo kein Richtwert definiert. Der im folgenden verwendete Orientierungswert ist in der VSBo-Mitteilung 4 aufgeführt [5].

Orientierungswert = 50 µg/kg \* Humusgehalt [%] / 10; Humusgehalt = C [%] \* 1.72.

# Summe PAK

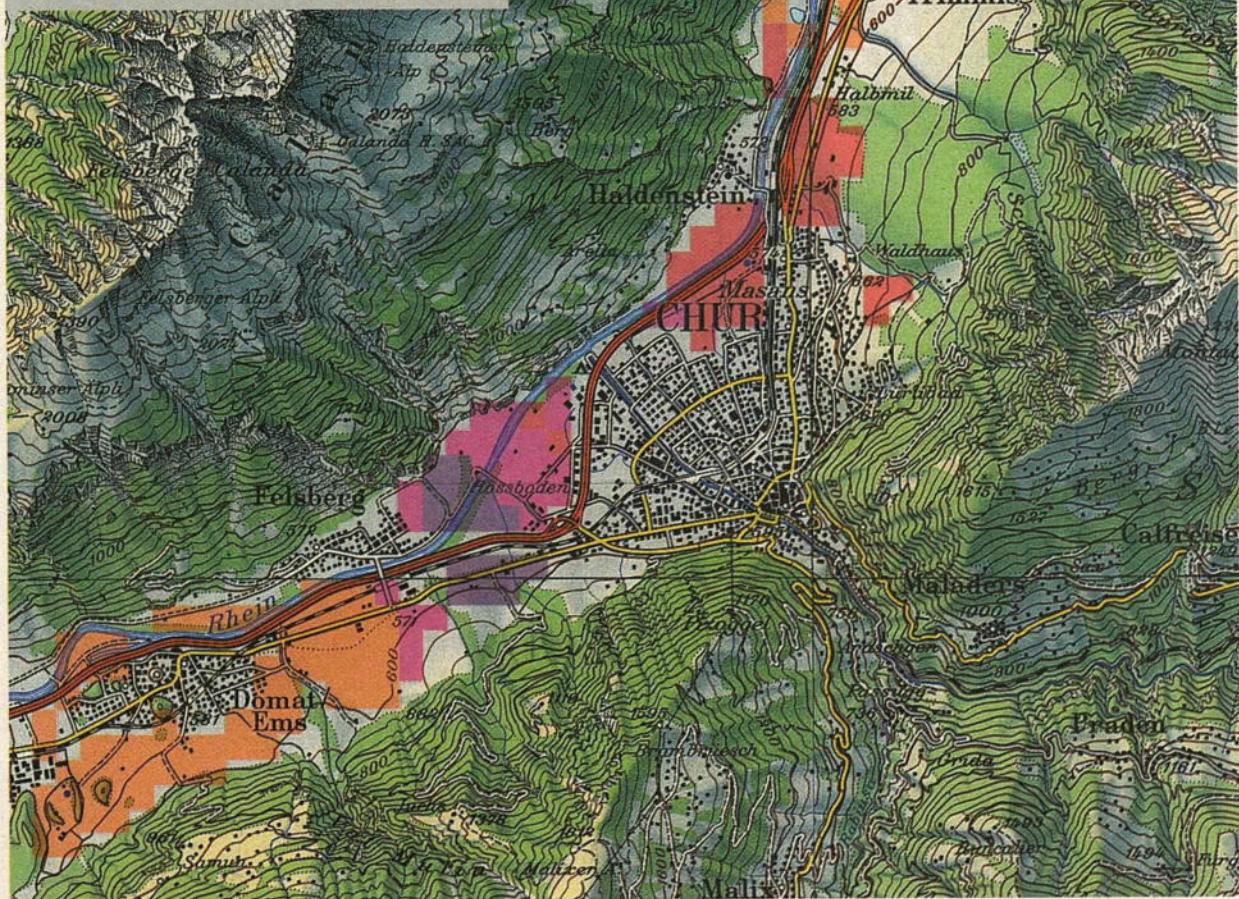
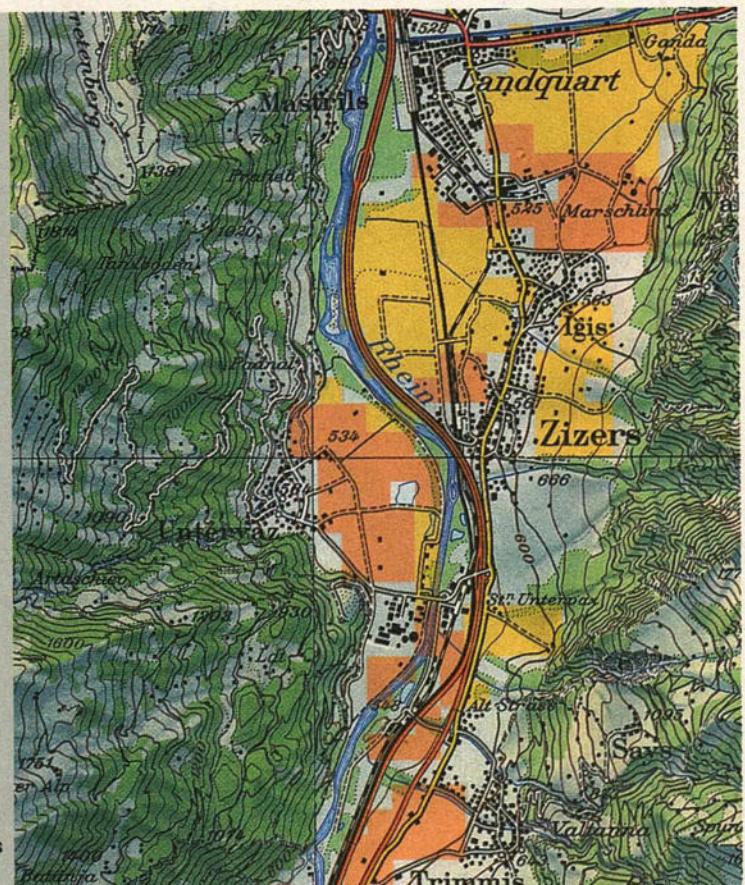
## Flächenmittelwerte geschätzt

$\mu\text{g}/\text{kg}$

- █ 50 - 100
- █ 100 - 200
- █ 200 - 500
- █ 500 - 800
- █ 800 - 1000

1:75'000

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes  
für Landestopographie vom 9. 4. 1996



**Abb. 3** PAK-(Summen)belastung im Bündner Rheintal. Die Karte basiert auf den mit dem Kriging-Verfahren geschätzten Flächenmittelwerten für PAK.

# Benzo(a)pyren

## Flächenmittelwerte geschätzt

$\mu\text{g}/\text{kg}$



1:75'000

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes  
für Landestopographie vom 9. 4. 1996



**Abb. 4** Benzo(a)pyren-Belastung im Bündner Rheintal. Die Karte basiert auf den mit dem Kriging-Verfahren geschätzten Flächenmittelwert für Benzo(a)pyren.

# Summe PCB

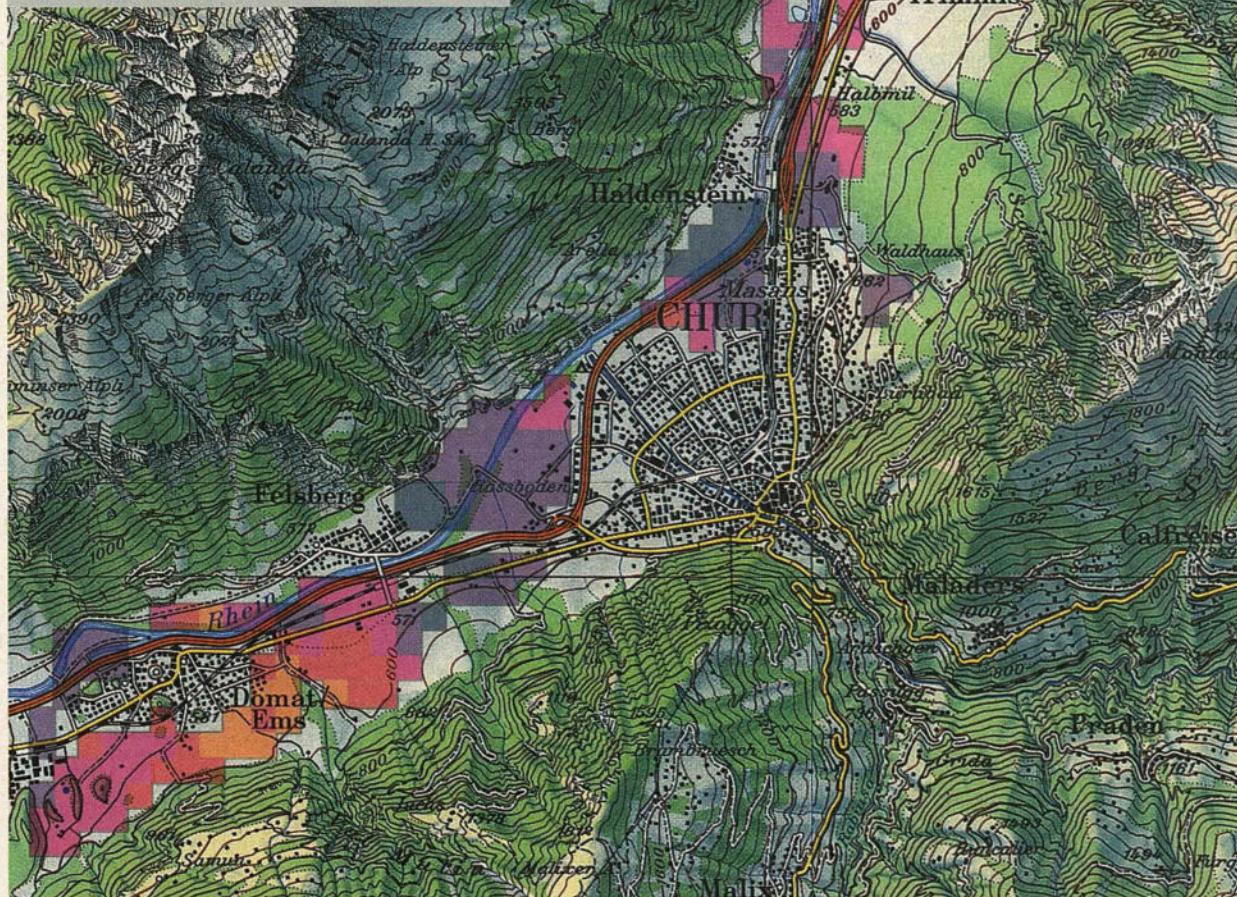
## Flächenmittelwerte geschätzt

$\mu\text{g}/\text{kg}$

- 0.0 - 1.0
- 1.0 - 2.0
- 2.0 - 2.5
- 2.5 - 3.0
- 3.0 - 3.5
- > 3.5

1:75'000

Reproduziert mit Bewilligung des Bundesamtes  
für Landestopographie vom 9. 4. 1996



**Abb. 5** PCB-(Summen)belastung im Bündner Rheintal. Die Karte basiert auf den mit dem Kriging-Verfahren geschätzten Flächenmittelwerten für PCB.

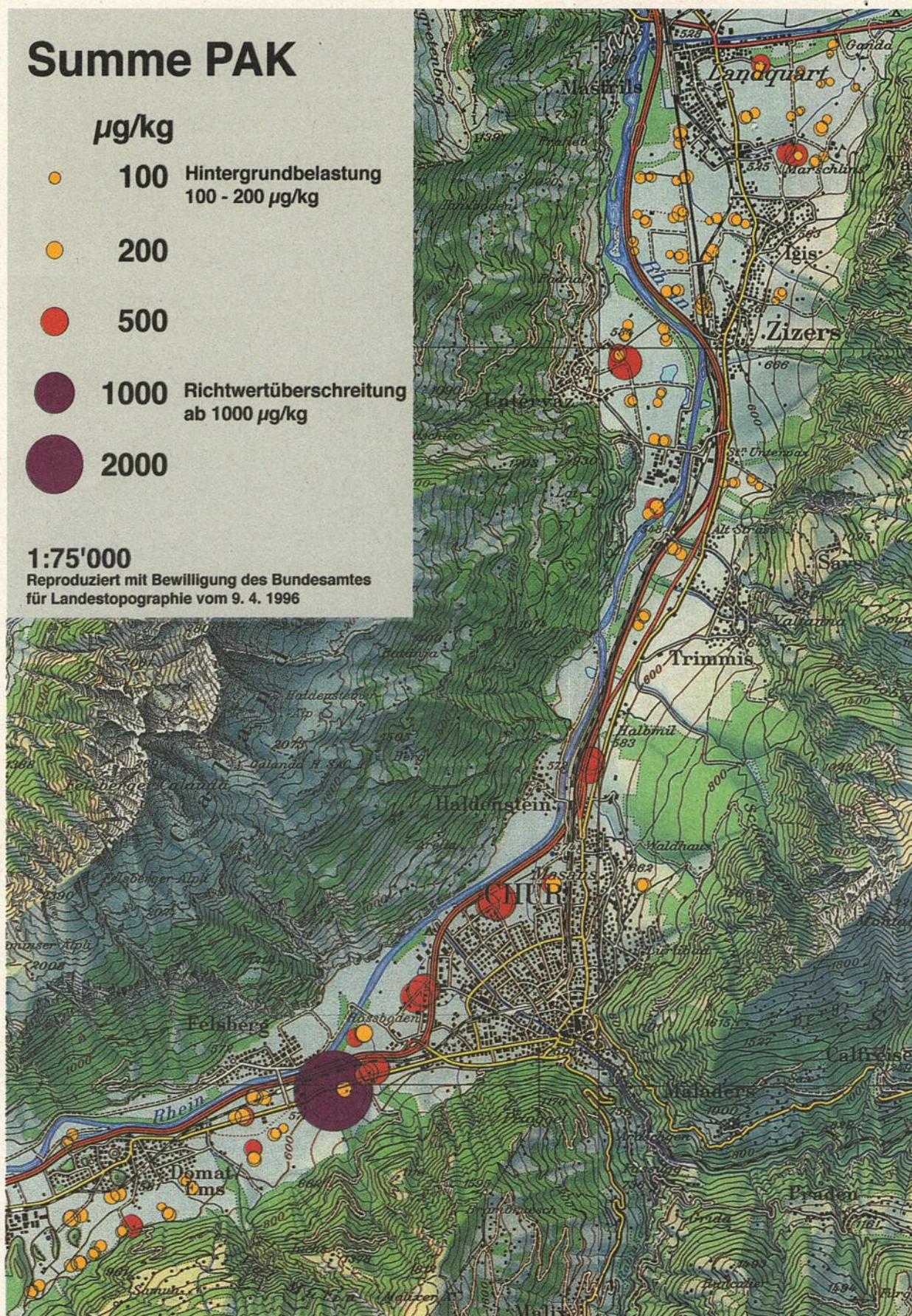
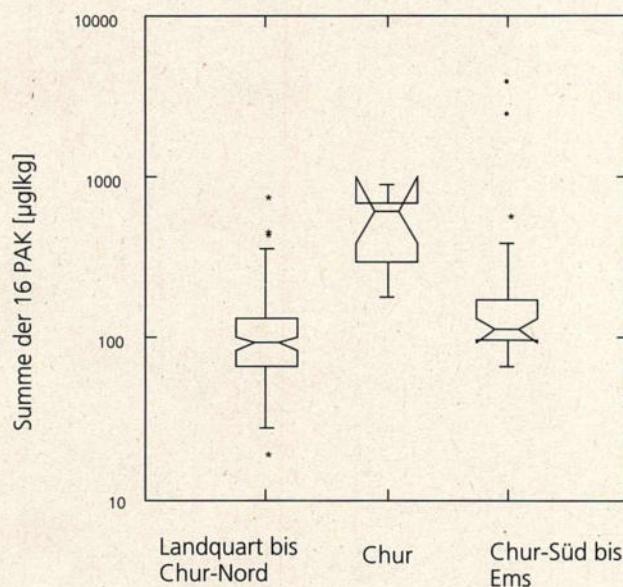


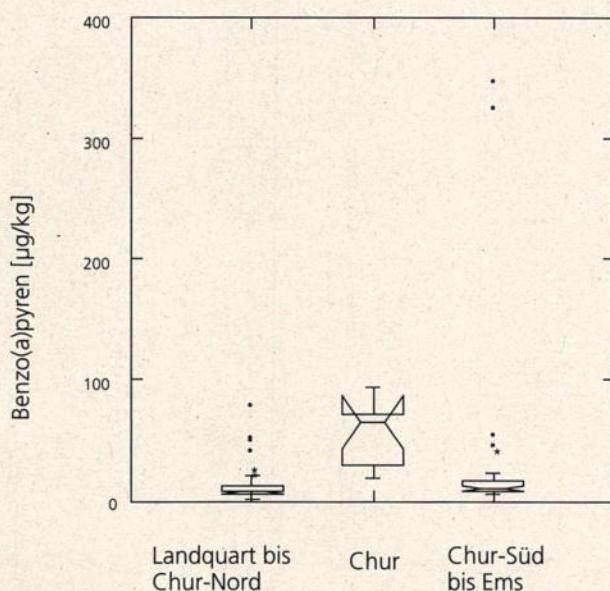
Abb. 6 Räumliche Verteilung von PAK im Bündner Rheintal.

## Regionale Unterschiede – Erhöhte PAK-Konzentrationen in der Umgebung von Chur



**Abb. 7** PAK-Belastung [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ] in den Talabschnitten Landquart bis Chur-Nord, Chur (um das Stadtzentrum herum), Chur-Süd bis Ems (logarithmische Skala).

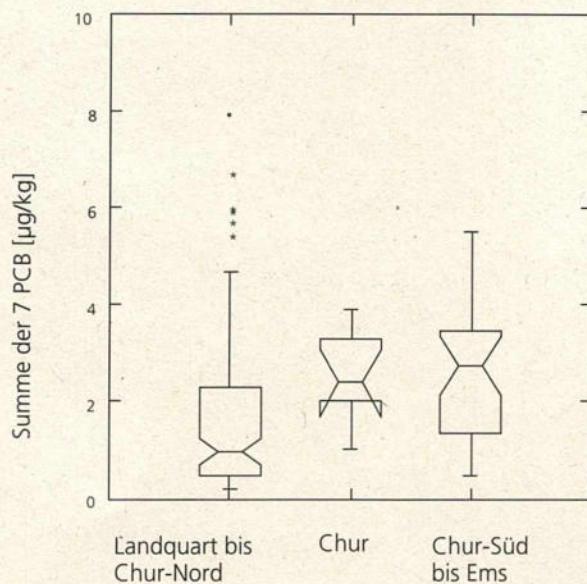
Aus der Abb. 7 wird ersichtlich, dass die PAK-Belastung in der Umgebung der Stadt Chur (Medianwert:  $622 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) signifikant höher ist als in den anderen beiden Talabschnitten (siehe auch Abb. 3, 6) und deutlich über dem Hintergrundwert für unbelastete Böden in der Schweiz von  $100\text{-}200 \mu\text{g}/\text{kg}$ . Tendenziell liegen die PAK-Werte im südwestlichen Talabschnitt zwischen Ems und Chur (Median:  $112 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) höher als zwischen Chur und Landquart (Median:  $93 \mu\text{g}/\text{kg}$ ). Die deutlich höhere Belastung bei Chur wird für alle PAK-Kongenere beobachtet. Die hohen Staubanteile und Emissionen aus Verkehr und Feuerungen in Stadtnähe können diese markanten Spitzen erklären.



**Abb. 8** Benzo(a)pyren-Belastung [ $\mu\text{g}/\text{kg}$ ] in den Talabschnitten Landquart bis Chur-Nord, Chur (um das Stadtzentrum herum), Chur-Süd bis Ems.

Die Benzo(a)pyren-Belastung (BaP) auf den Fruchtfolgeflächen ist ebenfalls signifikant höher in der Umgebung der Stadt Chur mit einem Median von  $64.9 \mu\text{g}/\text{kg}$ ; somit macht BaP 10 % der PAK Summe aus ( $622 \mu\text{g}/\text{kg}$ , s. Abb. 7). Dieses Verhältnis entspricht Angaben aus der Literatur. Die

Medianwerte für die Talabschnitte Landquart bis Chur-Nord: 6.8 µg/kg und Chur bis Domat/Ems: 9.8 µg/kg.



**Abb. 9** Gegenüberstellung der Bodenbelastung [µg/kg] mit der Summe der 7 PCB in den Talabschnitten Chur-Landquart, Umgebung von Chur und Domat/Ems-Chur.

Bei der Betrachtung der PCB ergibt sich ein weniger eindeutiges Bild für die verschiedenen Talabschnitte. Obschon im nördlichen Teil zwischen Landquart und Chur der PCB-Median tiefer als im südwestlichen Talbereich liegt, sind doch einige höhere Werte in der Umgebung von Landquart zu verzeichnen (Abb. 6). Aus der Abb. 9 erkennt man einen tendenziell höheren PCB-Median von Chur bis Ems. PCB 153 weist als einziger PCB-Leitparameter einen steigenden Trend vom nördlichen zum südlichen Talabschnitt auf. Die Medianwerte der PCB Summen liegen für alle Talabschnitte weit unter dem Hintergrundwert von 10 µg/kg für unbelastete Böden in der Schweiz.

### 3.2 Spezialuntersuchungen

Im Vergleich zu den Schwermetalluntersuchungen besteht für die organischen Schadstoffe eine viel grössere Diskrepanz zwischen den durchschnittlichen Belastungen der Fruchtfolgeflächen und denjenigen der Spezialuntersuchungen.

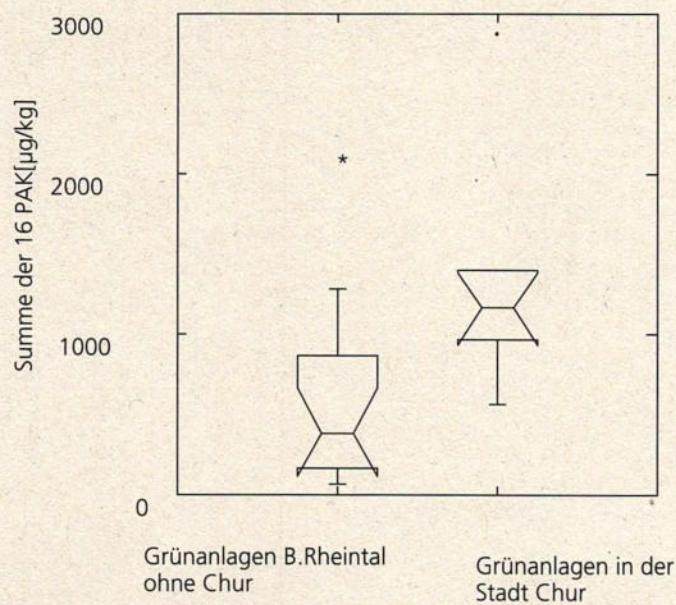
#### Grünanlagen – markante Spitzenvwerte bei den PAK

Mit 13, z. T. massiven Richtwertüberschreitungen (Tab. 5), zeigen die Grünanlagen in Bezug auf die PAK-Belastung der Böden ein sehr heterogenes Bild auf. In Landquart weisen 3 Standorte eine Prüfwertüberschreitung für direkte Bodenaufnahme (10'000 µg/kg) auf. Dazu gehört ein Kindergartenrasen.

**Tab. 5** Überschreitungen von Richt- und Prüfwerten bei den Grünanlagen im Bündner Rheintal.  
RW: Richtwert; PW: Prüfwert.

	Standort Nummer															RW	PW	
	2	4	7	8	10	13	17	18	19	21	22	24	25	26	27	28	RW	PW
SM	*	*		*		*			*		*		*	*	*	*	9	0
BaP		*	*	*									*	*		5	1	
PAK	*	*	*	*	*	*	*	*		*		*	*	*	*	*	13	3
PCB																-	0	

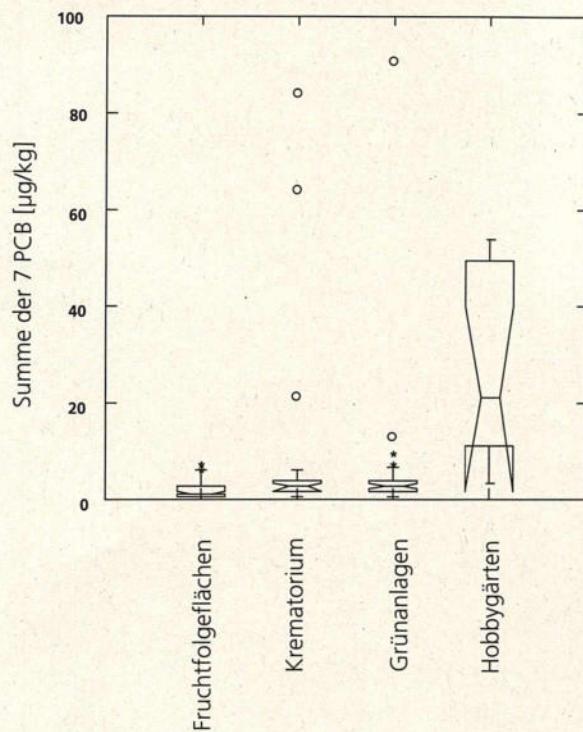
Die PCB-Konzentrationen der Grünanlagen liegen mit einer Ausnahme (Nr. 8 mit 90 µg/kg, Kindergarten Landquart) ungefähr im Bereich von 10 µg/kg, der als Hintergrundwert für die unbelasteten Böden in der Schweiz angenommen werden kann. Der Prüfwert für direkte Bodenaufnahme (100 µg/kg) wird auf keinem Standort erreicht.



**Abb. 10** Vergleich der PAK-Belastung in Grünanlagen. Zwei Gruppen: Bündner Rheintal (ohne Chur) und Stadt Chur

Eine Aufteilung der Grünanlagen (Abb. 10) in zwei Gruppen (Stadt Chur und übrige im Bündner Rheintal) zeigt, dass die Churer Grünanlagen (Median: 1'202.5 µg/kg) signifikant höher mit PAK belastet sind, verglichen mit den übrigen Grünanlagen im Bündner Rheintal (Median: 489 µg/kg).

Städtische Böden weisen kaum höhere PCB-Belastungen auf



**Abb. 11** PCB-Belastung, Vergleich der vier Nutzungsklassen im Bündner Rheintal

Aus der Abb. 11 geht hervor, dass die PCB-Belastung in den Hobbygärten wiederum am höchsten ist, bei den anderen Nutzungen jedoch kaum ein Unterschied besteht. Werden die Grünanlagen jedoch aufgeteilt in Chur (Median: 3.4 µg/kg) und übriges Bündner Rheintal (Median: 2.3 µg/kg) zeigt sich auch für die PCB eine stärkere Belastung in den Churer Grünanlagen. Doch auch bei diesen Böden liegen die meisten PCB-Gehalte unter 10 µg/kg (Hintergrundwert für unbelastete Böden in der Schweiz).

### Hobbygärten – hohe Belastung auf kleinem Raum

Im Vergleich zu einer kürzlich veröffentlichten Untersuchung von Hausgärten in Olten [4] liegen in Chur die PAK-Werte der Hobbygartenböden in derselben Größenordnung (Tab. 6). In beiden Untersuchungen wurden Gemüsebeete beprobt. Im Vergleich zu den Grünanlagen (30 Werte) weisen die Hobbygärten (10 Werte) die vierfache PAK-Belastung auf (Abb. 12). In der Umgebung des Krematoriums sind die PAK-Werte durchschnittlich sechs mal tiefer als in den Hobbygärten. Selbst Standorte an stark befahrenen Straßen (z.B. im Fontanapark in Chur oder an der Malixerstrasse) sind deutlich schwächer belastet. Bei den meisten Hobbygärten dominieren Pyren und Fluoranthen anteilmässig an den PAK-Summen. Dieses charakteristische PAK-Profil wurde auch schon in den Stadtböden von Basel [5] beobachtet. Hinsichtlich der PCB sind die Hobbygärten 7 bis 8 mal höher belastet als die anderen Spezialnutzungen.

**Tab. 6** Überschreitungen der Richt- und Prüfwerte in den Hobbygärten.

	Standort Nummer											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	RW	PW
SM	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	9	0
BaP	*	*	*		*	*	*	*	*	*	8	2
PAK	*	*	*		*	*	*	*	*	*	9	3
PCB					*						-	1

### Krematorium – kein Einfluss auf PAK- und PCB-Gehalt der Böden

Deutlich geringere PAK-Spitzen als bei den Grünanlagen sind in der Umgebung des Krematoriums zu verzeichnen (Tab. 7). Einzig der Standort Nr. 27, wo auch Richtwertüberschreitungen für Kupfer und Benzo(a)pyren gemessen wurden, ist stark mit PAK belastet. Die Prüfwerte für direkte Bodenaufnahme und für den Nutzpflanzenanbau sind mit 25'000 µg/kg klar überschritten. Bei den Standorten Nr. 4, 5 und 12 (Rebberg) wurde vermutlich Müllkompost ausgetragen. Auch Schwermetalle weisen dort hohe Werte auf.

Es konnte, wie schon beim Quecksilber, kein Zusammenhang zwischen dem Standort des Krematoriums und PAK- und PCB-Gehalten in den Böden der Umgebung festgestellt werden.

**Tab. 7** Überschreitungen von Richt- und Prüfwerten in der Umgebung des Krematoriums.

	Standort Nummer																
	2	4	5	8	10	11	12	13	14	15	16	22	26	27	28	RW	PW
SM	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	**	*	*	*	*	15	0
BaP	*	*	*		*		*							*		6	1
PAK	*	*	*		*		*		*		*			*	*	7	1
PCB																-	0

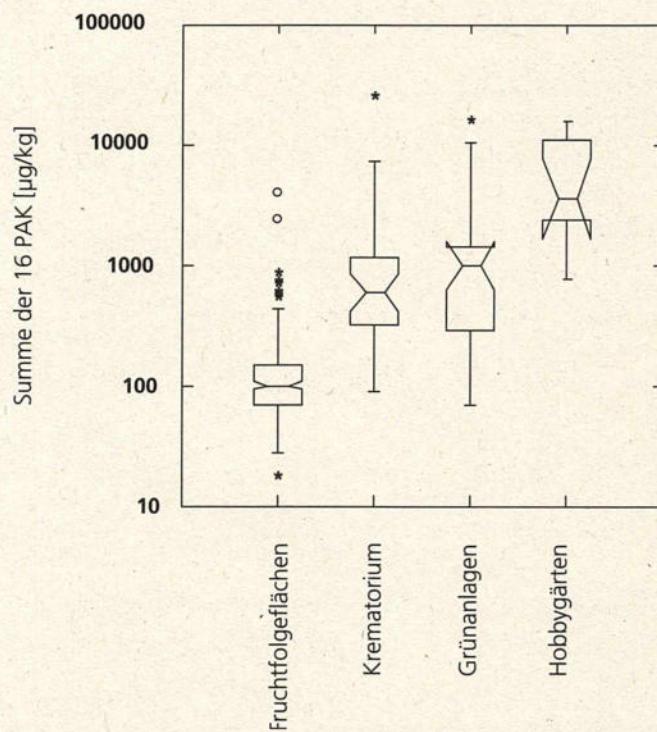
### Grünanlagen und Dauerwiesen im Siedlungsgebiet weisen eine fünfmal höhere PAK-Belastung auf als die Fruchtfolgeflächen

Die Tab. 8 zeigt, dass die PAK-Werte in der Umgebung des Krematoriums und in den Grünanlagen ungefähr 5-9 mal höher sind verglichen mit den Dauerwiesen in Davos und den Fruchtfolgefächern im Bündner Rheintal.

## PAK und PCB im Bündner Rheintal und in Davos im gesamtschweizerischen Vergleich

**Tab. 8** Die Konzentrationen von PAK, PCB und Benzo(a)pyren im Bündner Rheintal und in Davos im Vergleich mit der Schweiz.

Untersuchungen	PAK-Summe	Benzo(a)pyren	PCB-Summe
	Medianwerte in µg/kg		
Davos	93.9	7.5	0.61
Fruchtfolgeflächen	102	8.5	1.33
Krematorium (Chur)	594	59	2.55
Grünanlagen (Chur + Umgebung)	887	92.6	2.69
Grünanlagen (nur Chur)	1'202.5	135.5	3.88
Grünanlagen (nur Umgebung)	489	50.1	2.31
Hobbygärten (Chur)	3'586	359	20.9
Familiengärten (Olten) [6]	7'100		
Städteböden (Basel) [7]	11'100		
Stadtböden (Bern) [8]	4'800		
Waldböden (Kt. Aargau) [9]	300		
Hintergrundwerte Schweiz <sup>4</sup>	100-200		10
Orientierungswert VSBo Mitt. 4 [5]	-	-	50
Richtwert VBBo [10]	1000	200	-



**Abb. 12** PAK-Belastung, Vergleich der vier Nutzungsklassen im Bündner Rheintal (logarithmische Skala).

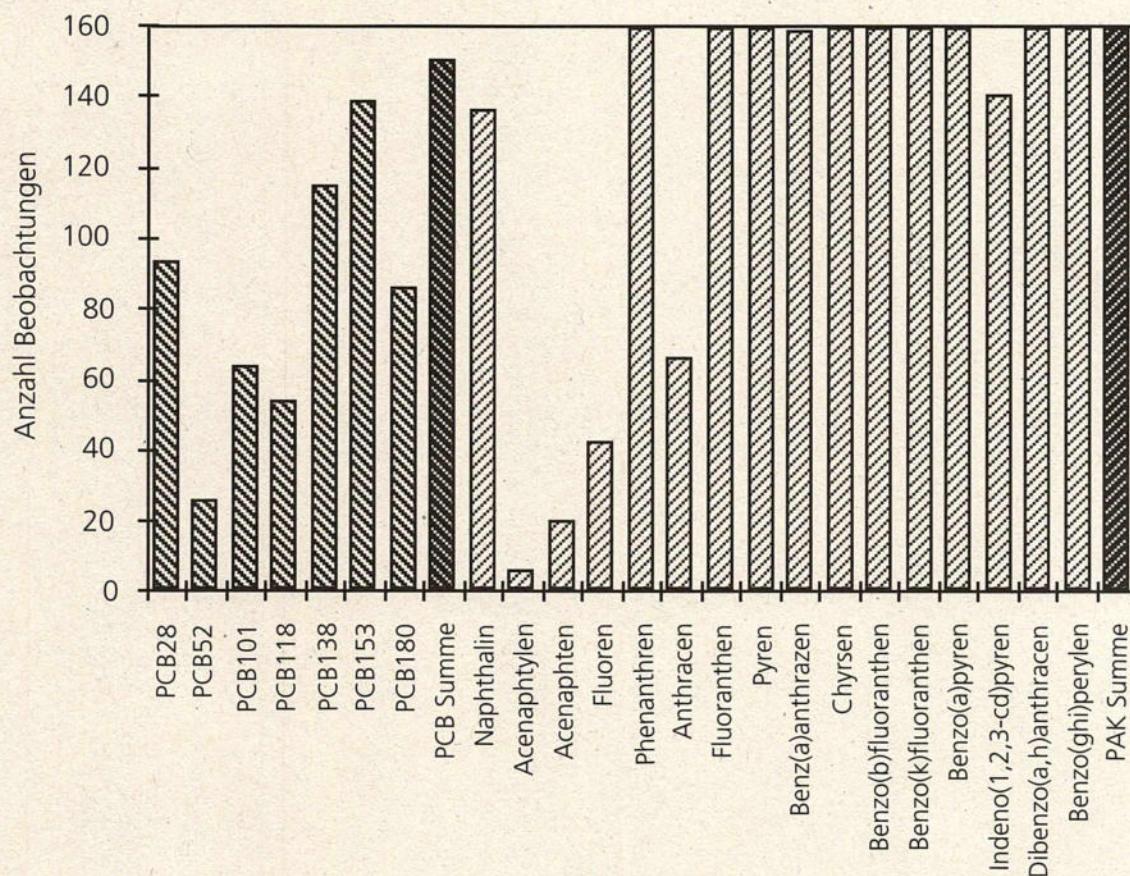
Die grossen Unterschiede zwischen der PAK-Belastung auf den Fruchtfolgeflächen und derjenigen in Grünanlagen und in der Umgebung des Krematoriums deuten auf einen Siedlungseinfluss hin. Nochmals markant höher liegen die Werte der Hobbygärten. Hier dürfte die Bewirtschaftung noch eine zusätzliche Belastung verursachen (Abb. 12).

<sup>4</sup> Berset, J.D. Dr., Institut für Umwelt und Landwirtschaft (IUL): Persönliche Mitteilung

### 3.3 Davos

#### Statistische Kenngrößen der untersuchten organischen Schadstoffe auf Wiesen und Weiden der Landschaft Davos

In Abbildung 13 wird anhand der Messwerte der 122 Einzelproben ein zusammenfassendes Bild der Schadstoffsituation in der Davoser Landschaft gezeichnet. Dabei bleibt die räumliche Verteilung der Daten noch unberücksichtigt.



**Abb. 13** Anzahl der Messwerte über der Nachweisgrenze der einzelnen PCB und PAK sowie der Summenparameter. Es wurden 122 Proben untersucht.

#### PAK

In Tab. 9 sind die wichtigsten statistischen Kennwerte der PAK für die Gesamtheit der Messdaten (Taltransekt und beide Hangtransekten) dargestellt.

In vielen Fällen (21 %) lagen die Konzentrationen einzelner PAK unter der Nachweisgrenze ( $1 \mu\text{g}/\text{kg}$ ); von den 16 verschiedenen PAK wurden lediglich 6 in sämtlichen Proben nachgewiesen (siehe auch Abb. 13).

Bei 10 PAK-Kongeneren überschreitet das Maximum den Richtwert ( $1000 \mu\text{g}/\text{kg}$ ) um ein Mehrfaches. Solche hohen Einzelwerte bewirken bei sämtlichen PAK und folglich auch beim Summenparameter eine starke positive Schiefe der Verteilung, d.h. der Mittelwert liegt immer deutlich über dem Median. Beim Fluoranthen, wo dies besonders ausgeprägt ist, beträgt der Mittelwert das 22-fache des Medians. Beim Summenparameter überschreitet der Mittelwert sogar den Richtwert, während der Median kaum 10 % desselben beträgt.

**Tab. 9** Statistik der Rohdaten für PAK und der Einzelstoffe gemäss EPA-Liste (siehe Auszug VBBG im Anhang). Anzahl Proben: 122 (50 auf dem Taltransekt, 72 an den Hängen). Von insgesamt 1952 (=16 \* 122) Messwerten liegen 1539 (= 79 %) über der Nachweisgrenze. Richtwert für PAK: 1000 µg/kg, BaP: 200 µg/kg.

	Naphtalin	Acenaphtylen	Acenaphthen	Fluoren	Phenanthren	Anthracen	Fluoranthen	Pyren
Anzahl Beobachtungen	90	19	41	60	122	59	122	122
Minimum	1.02	1.15	1.01	1.00	2.84	1.03	2.37	1.90
Maximum	147.00	28.10	172.00	168.00	3350.00	757.00	21871.00	11551.00
Mittelwert	8.54	5.76	17.84	16.02	94.21	44.86	327.49	216.45
Varianz	524	57	1351	1446	137884	15174	4165885	1252478
Standardabweichung	22.8	7.54	36.76	38.02	371.33	123.18	2041.05	1119.14
Standardfehler	2.41	1.73	5.74	4.91	33.62	16.04	184.79	101.32
Schiefe	4.52	1.87	2.60	2.94	6.53	4.06	9.84	8.88
Kurtosis	21.15	2.41	6.55	7.59	49.25	18.35	100.57	85.27
Variationskoeffizient	2.68	1.31	2.06	2.37	3.94	2.75	6.23	5.17
Median	1.86	2.13	1.94	1.76	9.36	3.15	14.90	18.25

	Benzo(a) anthracen	Chrysene	Benzo(b) fluoranthen	Benzo(k) fluoranthen	Benzo(a) pyren	Indeno(1,2,3- c,d)pyren	Dibenzo(a,h) anthracen	Benzo(g,h,i) perylene	Summe (PAK)
Anzahl Beobachtungen	105	121	122	122	120	122	75	117	122
Minimum	1.01	1.22	1.44	1.23	1.09	1.64	1.03	1.06	14.30
Maximum	6205.00	7772.00	5996.00	3570.00	3994.00	2417.00	814.00	2412.00	71136.00
Mittelwert	151.49	154.69	149.18	106.77	119.36	86.60	39.34	86.04	1531.40
Varianz	482744	630091	496452	187656	230573	104583	17380	103092	53038141
Standardabweichung	694.80	793.78	704.59	433.19	480.18	323.39	131.83	321.08	7282.73
Standardfehler	67.81	72.16	63.79	39.22	43.83	29.28	15.22	29.68	659.35
Schiefe	7.11	8.09	6.91	6.07	6.07	5.65	4.83	5.64	7.86
Kurtosis	55.34	70.94	49.57	39.63	40.15	33.51	23.43	33.43	68.54
Variationskoeffizient	4.59	5.13	4.72	4.06	4.02	3.73	3.35	3.73	4.76
Median	7.81	8.80	8.89	7.68	7.53	7.77	4.53	8.04	93.85

### PCB

Bei den PCB (Tab. 10) lagen 73 % der Messwerte unter der Nachweisgrenze (0.2 µg/kg). Keiner der sieben PCB-Kongenere liess sich in allen Bodenproben nachweisen (Abb. 13). In 14 Proben lagen die Werte sämtlicher PCB unter der Nachweisgrenze.

Sämtliche Verteilungen weisen eine positive Schiefe auf, d. h. es sind auch hier die Mittelwerte höher als die Mediane, doch sind die Unterschiede weniger ausgeprägt als bei den PAK (Tab. 9).

**Tab. 10** Statistik der Rohdaten für PCB und der Einzelstoffe. Anzahl Proben: 122 (50 auf dem Taltransekt, 72 an den Hängen). Von insgesamt 854 (= 7 \* 122) Messwerten liegen nur 230 (= 27 %) über der Nachweisgrenze. Einheit: µg/kg.

	PCB28	PCB52	PCB101	PCB118	PCB138	PCB153	PCB180	SUMME
Anzahl Beobachtungen	60	26	14	7	49	52	22	108
Minimum	0.21	0.20	0.21	0.34	0.20	0.21	0.20	0.20
Maximum	2.24	11.60	27.20	19.50	29.70	33.10	24.60	134.0
Mittelwert	0.59	0.87	3.23	3.99	1.67	1.79	2.37	3.32
Varianz	0.13	5.08	55.29	50.55	31.26	38.40	33.34	261.2
Standardabweichung	0.36	2.25	7.44	7.11	5.59	6.20	5.77	16.16
Standardfehler	0.05	0.44	1.99	2.69	0.80	0.86	1.23	1.56
Schiefe	2.09	4.42	2.72	1.77	4.60	4.74	3.18	7.23
Kurtosis	6.06	18.37	6.06	1.46	19.41	20.72	8.87	51.53
Variationskoeffizient	0.60	2.58	2.31	1.78	3.36	3.45	2.43	4.87
Median	0.48	0.33	0.49	0.65	0.31	0.32	0.53	0.61

## Korrelationen

### PAK

Die einzelnen PAK sind sowohl untereinander als auch mit dem Summenparameter sehr eng korreliert. Im schlechtesten Fall beträgt der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman 0.71. Zwischen den einzelnen PAK und dem Summenparameter liegt der Koeffizient meist über 0.9. Deshalb ist eine Beschränkung der nachfolgenden Auswertungen auf den Summenparameter ohne wesentlichen Informationsverlust möglich. Sämtliche Korrelationen sind hochsignifikant.

### PCB

Im Fall der PCB sind die Rangkorrelationen schwieriger zu beurteilen, da die Datengrundlage wegen der hohen Anzahl fehlender Werte ungenügend ist. Dennoch bestehen einzelne enge Korrelationen, nämlich zwischen PCB 138, PCB 153 und PCB 180. Diese erklären sich dadurch, dass die drei Stoffe zur Hauptsache im Taltransekt, jedoch kaum an den Hängen nachgewiesen wurden (Abb. 23). PCB 28 und PCB 52 sind hingegen vorwiegend an den Hängen vertreten und korrelieren auch gut.

Die Korrelationen zwischen dem Summenparameter und den Einzelkomponenten sind stets signifikant.

Wie bei den PAK erlauben es die guten Korrelationen auch bei den PCB, die meisten Überlegungen ohne Informationsverlust auf den Summenparameter zu beschränken. Es ist dabei allerdings zu

beachten, dass dieser wegen der zahlreichen Werte unterhalb der Nachweisgrenze, die nicht ganz korrekt als 0 (anstatt < 0.2 µg/kg) eingesetzt wurden, zu klein ist.

#### *Korrelationen zwischen PAK und Schwermetallen*

Im Taltransekt bestehen zwischen dem PAK-Summenparameter und den Schwermetallen Blei, Cadmium, Kupfer, Quecksilber, Thallium und Zink unterschiedlich starke Korrelationen, die indessen alle mindestens auf dem 0.01 Niveau signifikant sind. Am stärksten korrelieren Quecksilber und Blei mit PAK. Quecksilber neigt – wie PAK und PCB – zu starker Sorption an die organische Substanz, womit diese Korrelation erklärt werden kann (Tab. 11).

**Tab. 11** Koeffizienten der Rangkorrelation nach Spearman zwischen dem PAK-Summenparameter und den einzelnen Schwermetallen (rs = Korrelationskoeffizient, N = Anzahl Wertepaare, t = Testgrösse, α = Signifikanzniveau)

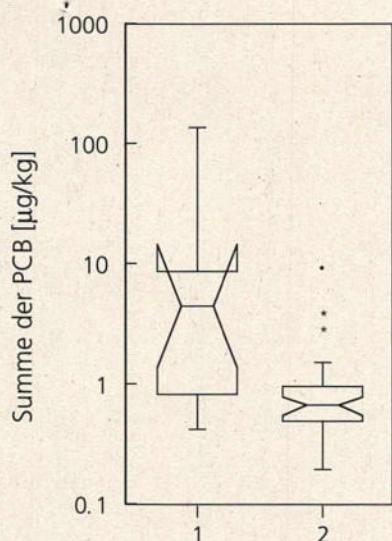
Korrelation zwischen PAK und ...	rs	N	t	α / Signifikanzniveau
Pb	<b>0.61</b>	50	5.33	<b>0.0005/ ***</b>
Cr	0.15	50	1.05	> 0.1/nicht signifikant
Ni	0.13	50	0.91	> 0.1/ nicht signifikant
Hg	<b>0.76</b>	46	7.76	<b>0.0005/ ***</b>

Enge Korrelationen bestehen bei den Richtwertüberschreitungen: So weisen 9 von 13 Standorten des Taltransektes, an denen Richtwertüberschreitungen für Schwermetalle festgestellt wurden, ebenfalls Überschreitungen des PAK-Richtwertes auf (Tab. 12). An den Standorten 50 und 51 wurden erhebliche Nickel- und Chromwerte festgestellt. Dass hier keine hohen PAK-Konzentrationen vorliegen, bestätigt den fehlenden Zusammenhang zwischen PAK und den vorwiegend geogenen Chrom/Nickel-Gehalten (Tab. 11). Abbildung 16 zeigt eine schematische Darstellung der Schwermetall-, PAK- und PCB-Belastungen längs des Taltransektes.

#### *Korrelationen zwischen PCB und Schwermetallen*

Im Taltransekt sind die Korrelationen zwischen PCB und den Schwermetallen weniger gut als dies für die PAK der Fall ist. Am besten korrelieren indessen auch hier – mit Signifikanz auf dem 0.005 Niveau – Quecksilber und Blei mit PCB. Dass im Taltransekt ein Zusammenhang zwischen PCB- und Schwermetallbelastung der Böden besteht, zeigt sich auch darin, dass die PCB-Werte an den Standorten mit Richtwertüberschreitungen durch Schwermetalle signifikant höher sind als an den übrigen Standorten (Abb. 14).

## Organische Schadstoffe (PAK/PCB)



**Abb. 14** PCB-Belastung an den Standorten mit Schwermetall-Richtwertüberschreitungen (1) im Vergleich mit den übrigen Standorten (2) des Taltransektes (logarithmische Skala). 1 umfasst die Standorte 4, 9, 22, 23, 31, 32, 34, 35, 40, 42, 43. Die Standorte 50 und 51 wurden nicht berücksichtigt, da diese Richtwertüberschreitungen der Elemente Nickel und Chrom aufweisen, die als geogen bedingt erkannt wurden. 2 umfasst die übrigen Standorte des Taltransektes (34 Standorte, 5 fehlende Werte).

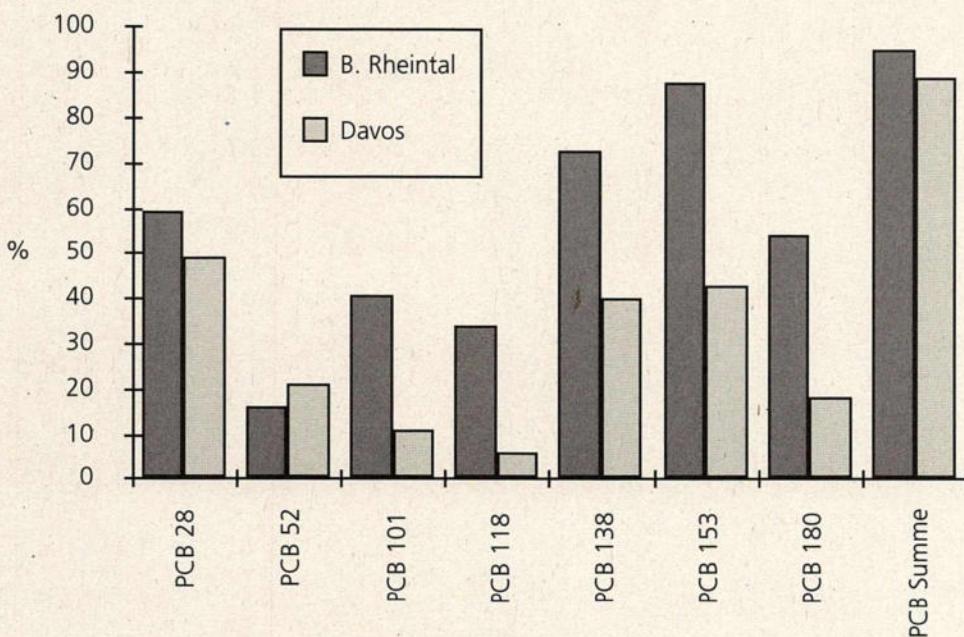
## Davos im Vergleich mit dem Rheintal

### PAK

Trotz des Vorkommens einzelner hoher Werte liegen die Mediane in Davos für die PAK und Benzo(a)pyren um 10 % unter jenen des Bündner Rheintales. In beiden Regionen machen die Gehalte der PAK-Kongenere Pyren und Fluoranthene zusammen durchschnittlich ein Drittel der PAK-Summen aus.

### PCB

Die PCB-Summen liegen in Davos rund 50 % tiefer als im Bündner Rheintal. Im letzteren sind die PCB 138 und 153 von der Anzahl Messwerte über der Nachweisgrenze her am besten vertreten. Aber auch PCB 28 kommt erstaunlich häufig vor (Abb. 15). Die drei genannten PCB sind in Davos ebenfalls am häufigsten, aber hier steht PCB 28 an der Spitze.



**Abb. 15** Prozentualer Anteil der PCB-Messwerte über der Nachweisgrenze im Bündner Rheintal (159 Standorte = 100 %) und in Davos (122 Standorte = 100 %).

## Davos im gesamtschweizerischen Vergleich

Nimmt man den Median als Vergleichsmass, so liegt die Bodenbelastung durch PAK in Davos ca. 10 % tiefer als der Hintergrundbereichswert von 100 bis 200 mg/kg, der für unbelastete Böden in der Schweiz angenommen wird. Aufgrund dieses allgemeinen Befundes ist die Region als wenig belastet zu bezeichnen (Tab. 4).

Betrachtet man aber ausschliesslich die Situation im Talboden und lässt die Hänge ausser acht, so übersteigt der Median von PAK (342 mg/kg) diesen schweizerischen Hintergrundbereich um einiges. An den Hängen hingegen liegen die Mediane deutlich darunter mit 65 µg/kg (Hang 1) und 45 µg/kg (Hang 2).

Bei den PCB beträgt der schweizerische Hintergrundwert für unbelastete Böden das 15-fache des Davoser Medianwertes.

## Räumliche Verteilung an Tal- und Hangtransekten

Ziel der Beprobung der Hänge war es, eine allfällige Höhenabhängigkeit der PAK- und PCB-Verteilungen nachzuweisen.

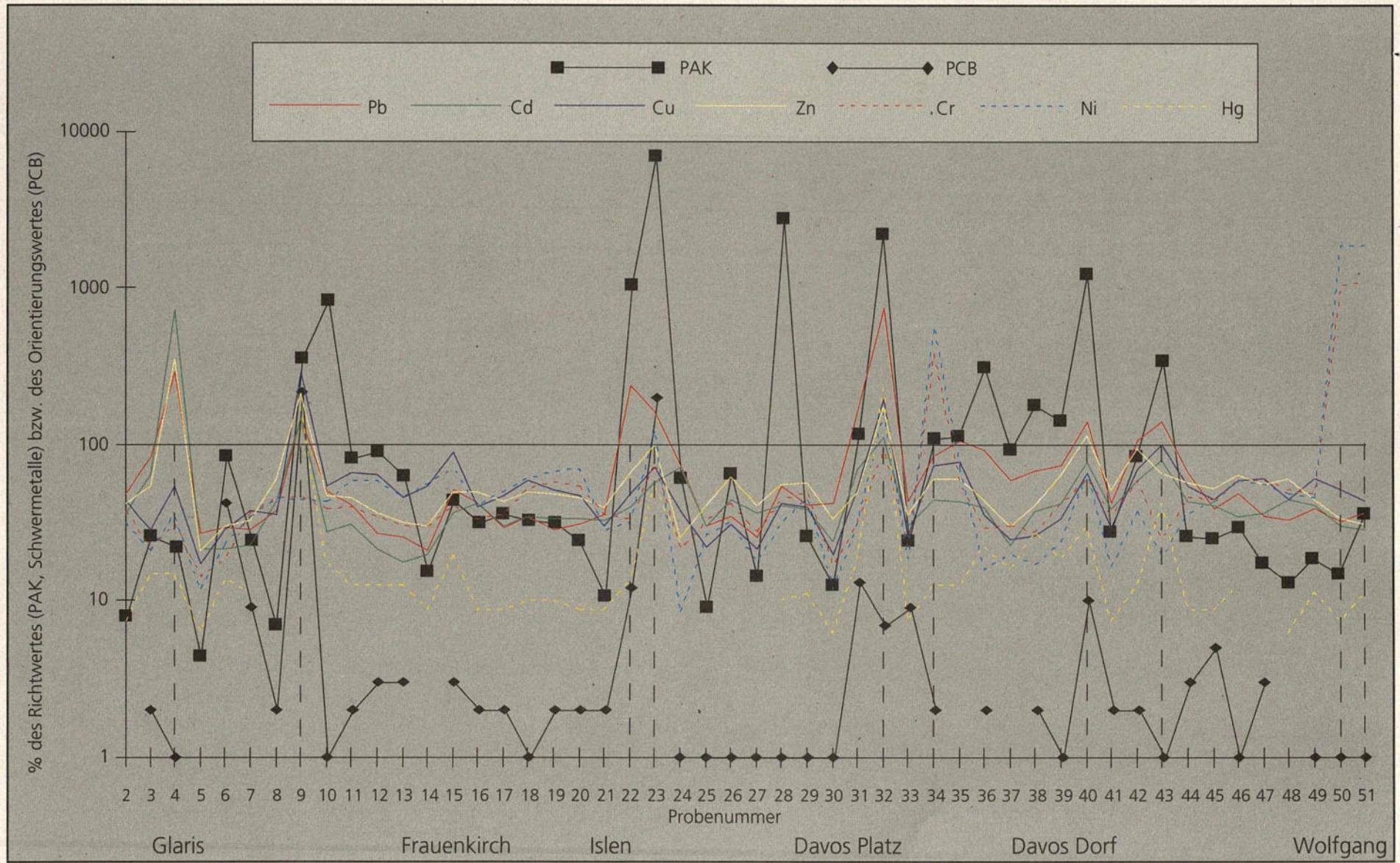
## PAK – Richtwertüberschreitungen

Abb. 18 zeigt eine Karte der Region Davos, auf der die Probenahmestellen des Taltransektes und der Hangtransekte mit den ermittelten PAK-Werten dargestellt sind. Von den 50 Standorten im Taltransekt weisen 14 eine Überschreitung des Richtwertes auf; acht weitere Standorte sind mit mehr als 50 % des Richtwertes belastet (Tab. 12).

**Tab. 12** Zusammenstellung der Standorte mit Richtwertüberschreitungen durch Schwermetalle (SM), durch Benoz(a)pyren (BaP), durch die Summe aller PAK (PAK) sowie durch die Summe aller PCB (PCB).

	Standort Nummer																Total		
	4	9	10	22	23	28	31	32	34	35	36	38	39	40	42	43	50	51	18
SM	*	*		*	*		*	*	*	*				*	*	*	*	*	13
BaP		*	*	*	*	,		*			*	*		*		*			10
PAK	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*				14
PCB	*			*															2

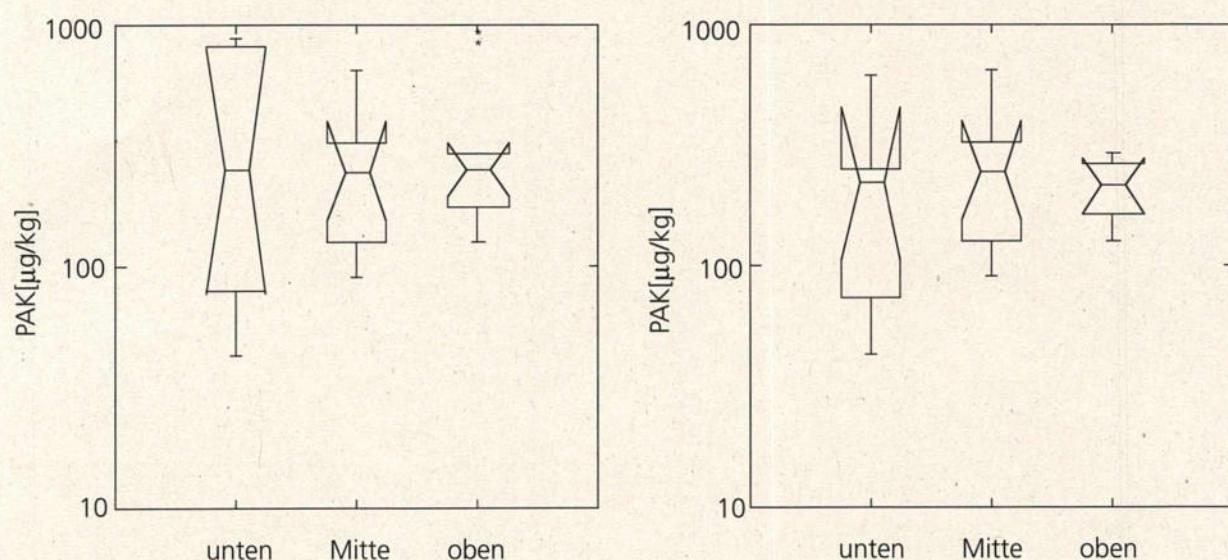
Es zeigt sich, dass alle in der Region Davos gefundenen Richtwertüberschreitungen aus dem Talboden stammen, während an den Hängen die höchste ermittelte PAK-Belastung den halben Richtwert nur knapp überschreitet (Hang 1: 553 µg/kg, Hang 2: 527 µg/kg; siehe Abb. 19).



**Abb. 16** Schematisierte Darstellung der Summenwerte für PAK und PCB sowie der Schwermetallgehalte längs des Taltransektes

## Räumliche Verteilung der PAK

Die Beprobung des Talbodens in regelmässigen Abständen längs eines Transektes bezweckte, allfällige Unterschiede zwischen dem oberen Talabschnitt mit dem Hauptsiedlungsgebiet und dem unteren, weniger dicht besiedelten Abschnitt aufzuzeigen (Abb. 16). Deshalb wurde der Transekt für die folgende Auswertung in je 10 Proben aus dem unteren, mittleren und oberen Talbereich aufgeteilt. Dabei wurden die Standorte mit Werten über 1000 µg/kg (Abb. 17, links) bzw. über 800 µg/kg (Abb. 17, rechts) ausgelassen, so dass die übrigbleibenden Proben eine Art «Grundbelastung» repräsentieren. Anhand gekerbter Kistendiagramme können die Mediane des Summenparameters für die drei Talabschnitte verglichen werden. Wie Abbildung 17 zeigt, unterscheiden sich diese nicht und liegen bei 250 µg/kg. Auffallend ist die Abnahme der Streuung von unten nach oben. Es wurden also die absolut tiefsten Werte im unteren Talabschnitt festgestellt.



**Abb. 17** Vergleich der PAK-Belastung (Summenparameter) im unteren, mittleren und oberen Abschnitt des Davoser Haupttales (logarithmische Skala).

links:

nur Standorte mit Werten < 1000 µg/kg

Proben Nr.

unten: 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 11, 12, 13

Mitte: 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 29, 30

oben: 37, 41, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50

rechts:

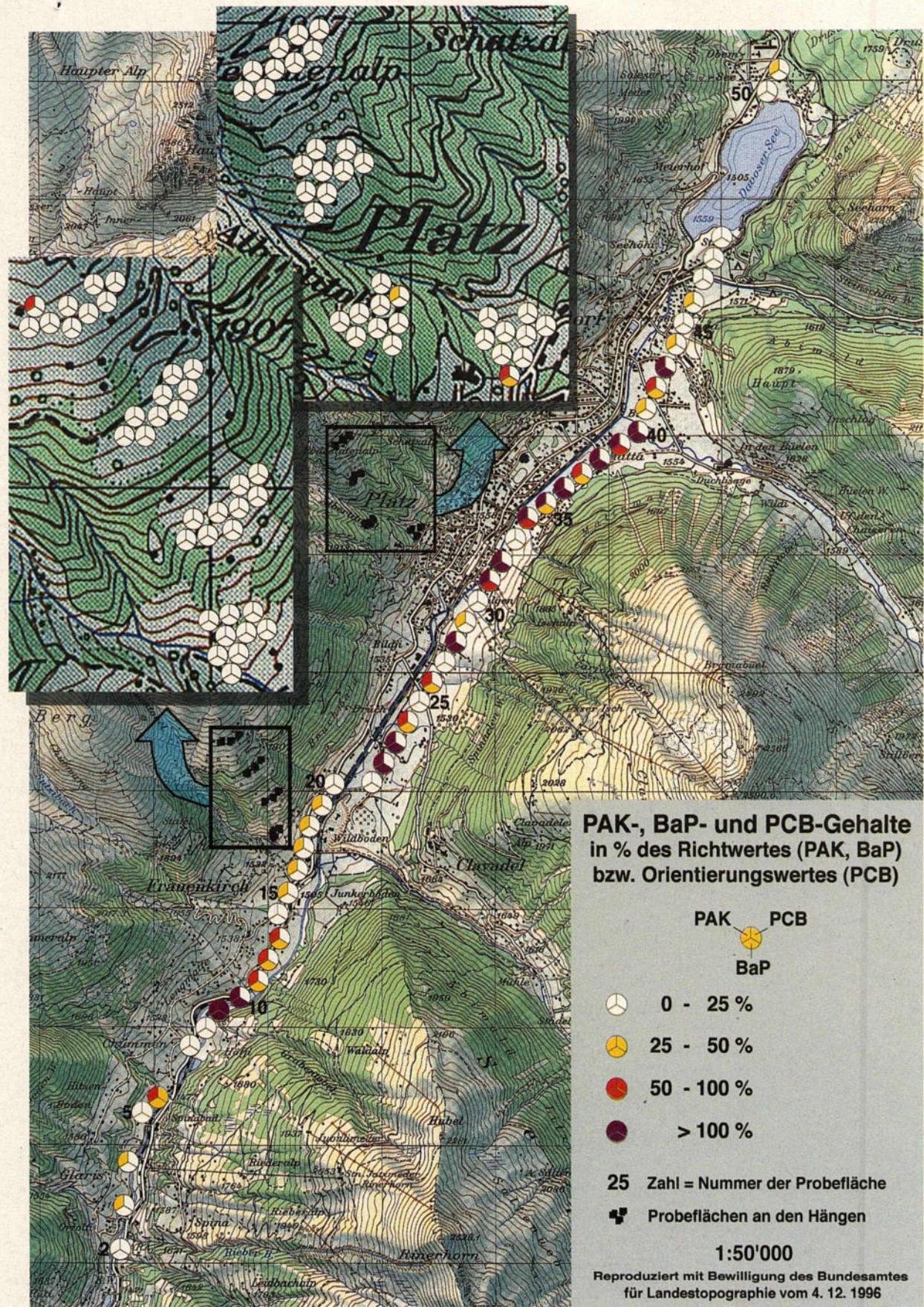
nur Standorte mit Werten < 800 µg/kg

Proben Nr.

unten: 2, 3, 4, 6, 7, 8, 12, 13

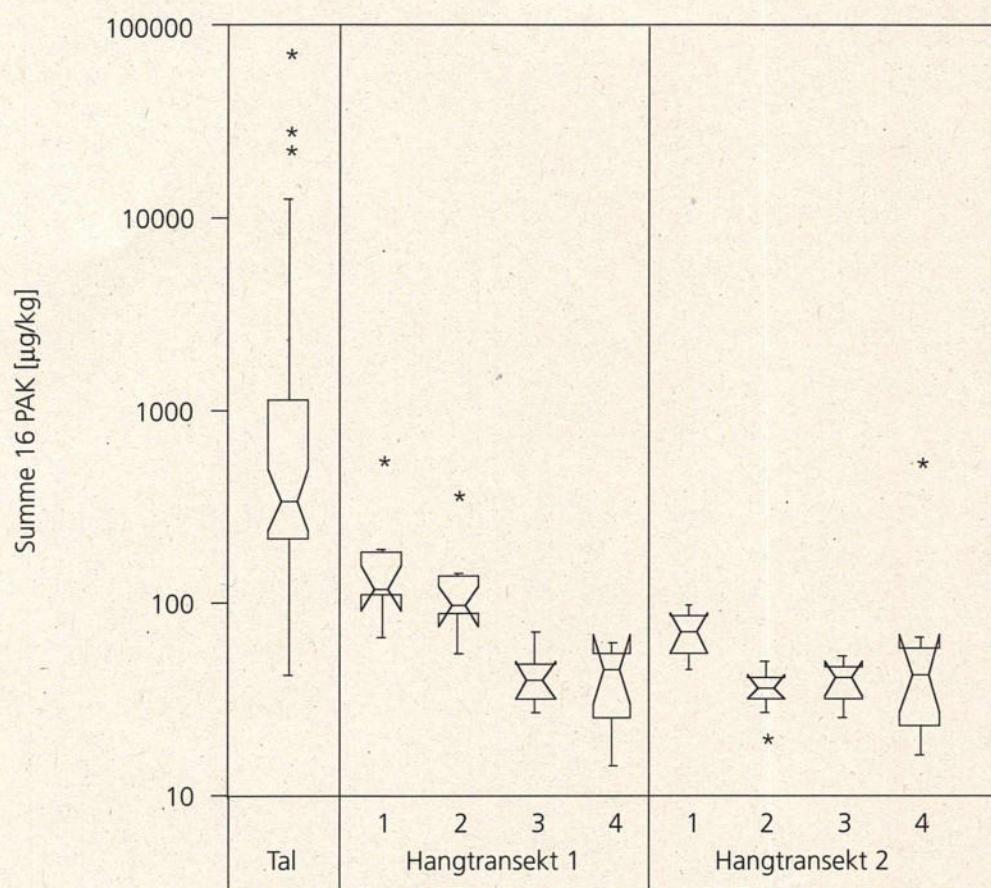
Mitte: 18, 19, 20, 21, 24, 25, 26, 27, 29, 30

oben: 37, 42, 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50



**Abb. 18** Karte der Region mit den Probenahmestellen und den Gehalten an PAK und PCB (Summenwerte) sowie Benzo(a)pyren (BaP).

Abbildung 19 zeigt, dass der Median des PAK-Summenparameters im Talboden signifikant höher ist als an den Hängen. Zudem ist am Hangtransekt 1 (oberhalb Davos) eine Abnahme des Medians mit steigender Meereshöhe festzustellen: Die Mediane sind auf den Höhenstufen 3 (1860 m.ü.M.) und 4 (2000 m.ü.M.) signifikant tiefer als auf den Stufen 1 (1610 m.ü.M.) und 2 (1725 m.ü.M.). Hingegen weist der Hangtransekt 2 (oberhalb Frauenkirch) nur zwischen den Höhenstufen 1 (1580 m.ü.M.) und 2 (1720 m.ü.M.) eine signifikante Konzentrationsabnahme auf. Auf Stufe 3 (1860 m.ü.M.) ist der Median zwar auch signifikant tiefer als auf Stufe 1, unterscheidet sich jedoch nicht von Stufe 2. Auch auf Stufe 4 (1990 m.ü.M.) ist der Median tiefer als auf Stufe 1, doch ist der Unterschied nicht signifikant.

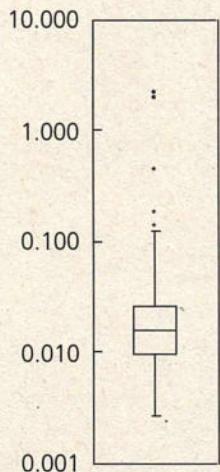


**Abb. 19** Kistendiagramme des PAK-Summenparameters. Das Diagramm «Tal» umfasst sämtliche 50 Messwerte des Taltransektes. Bei den Hangtransekten bezeichnen die Zahlen 1 bis 4 die Höhenstufen (9 Messwerte pro Höhenstufe). Richtwert: 1000 µg/kg (logarithmische Skala).

Die PAK-Verteilungen an den Hängen zeigen somit ein ähnliches Verteilungsmuster wie bei den Schwermetallen:

- tiefere Werte an den Hängen als im Talboden
- generelle Abnahme der Belastung mit steigender Meerehöhe am Hang oberhalb Davos
- Abnahme der Belastung zwischen Höhenstufe 1 und 2 am Hang oberhalb Frauenkirch, unklare Verhältnisse auf den Stufen 3 und 4
- Deutlicher als bei den Schwermetallen ist die höhere PAK-Belastung der Stufen 1 und 2 über Davos gegenüber den gleichen Höhenstufen über Frauenkirch

## PCB-Überschreitungen des Orientierungswertes



**Abb. 20** Verteilung der PCB-Summenwerte im Verhältnis zum Orientierungswert ( $OW = 1.000$ ) für alle Standorte im Tal und an den Hängen (logarithmische Skala).

Die zwei Orientierungswertüberschreitungen [5] stammen aus dem Taltransekt. Im Taltransekt wurden PCB nur auf 44 Probeflächen nachgewiesen. In den Proben Nr. 2, 5, 14, 35, 37 und 48 lagen die PCB-Gehalte unter der Nachweisgrenze. Orientierungswertüberschreitungen<sup>5</sup> des Summenparameters konnten für die Proben 9 ( $134 \mu\text{g}/\text{kg} = 2.16 * \text{Orientierungswert}$ ) und 23 ( $104 \mu\text{g}/\text{kg} = 1.98 * \text{Orientierungswert}$ ) berechnet werden (Tab. 12). Alle übrigen PCB-Konzentrationen lagen deutlich unter dem Orientierungswert, die meisten sogar unter 10 % desselben (Abb. 20).

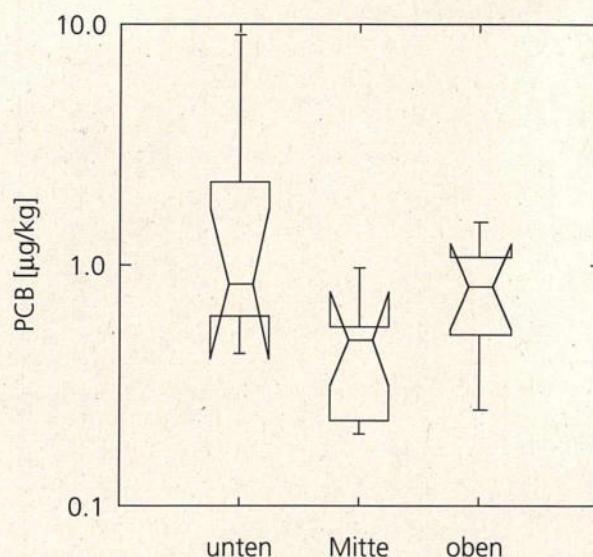
## Räumliche Verteilung der PCB

Wie bei den PAK werden in Abb. 21 je 10 Proben aus dem unteren, mittleren und oberen Talabschnitt miteinander verglichen. Es zeigt sich auch hier, dass die Werte im unteren Talabschnitt etwas stärker streuen als im mittleren und oberen Abschnitt. Die Unterschiede zwischen den Medianen sind nicht signifikant.

<sup>5</sup> Für PCB ist in der VBBo kein Richtwert definiert. Der im folgenden verwendete Orientierungswert ist in der VSBo-Mitteilung 4 aufgeführt [5].

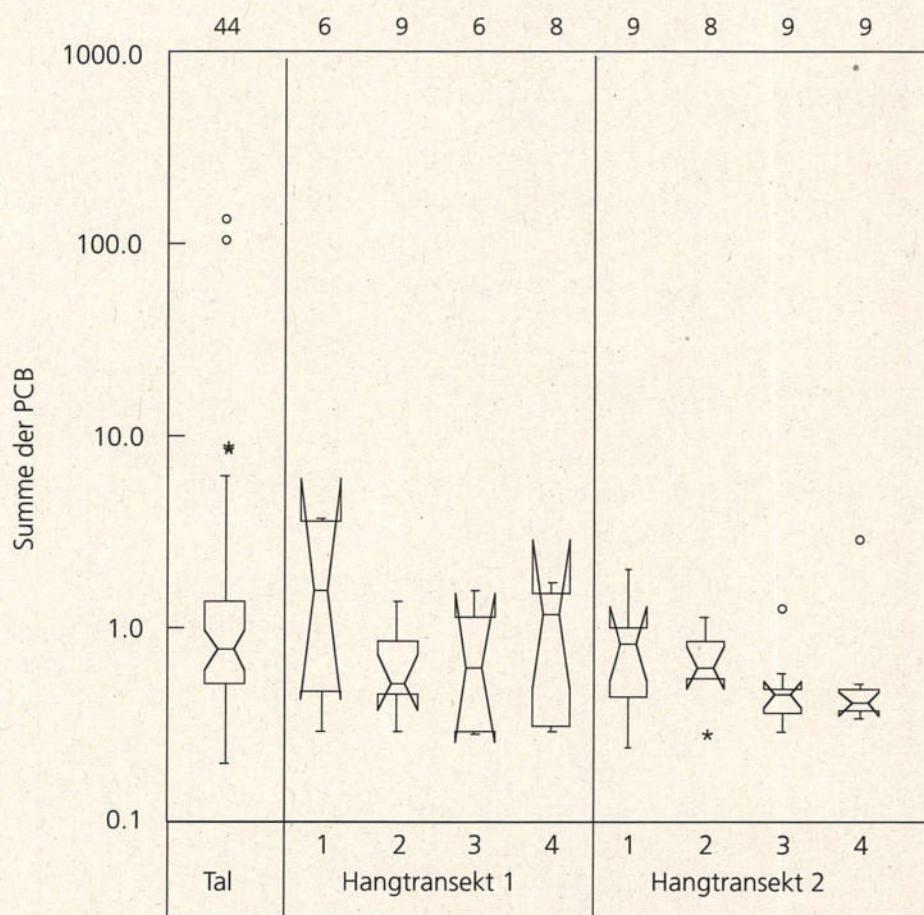
Orientierungswert =  $50 \mu\text{g}/\text{kg} * \text{Humusgehalt [\%]} / 10$ ; Humusgehalt =  $C [\%] * 1.72$ .

## Organische Schadstoffe (PAK/PCB)



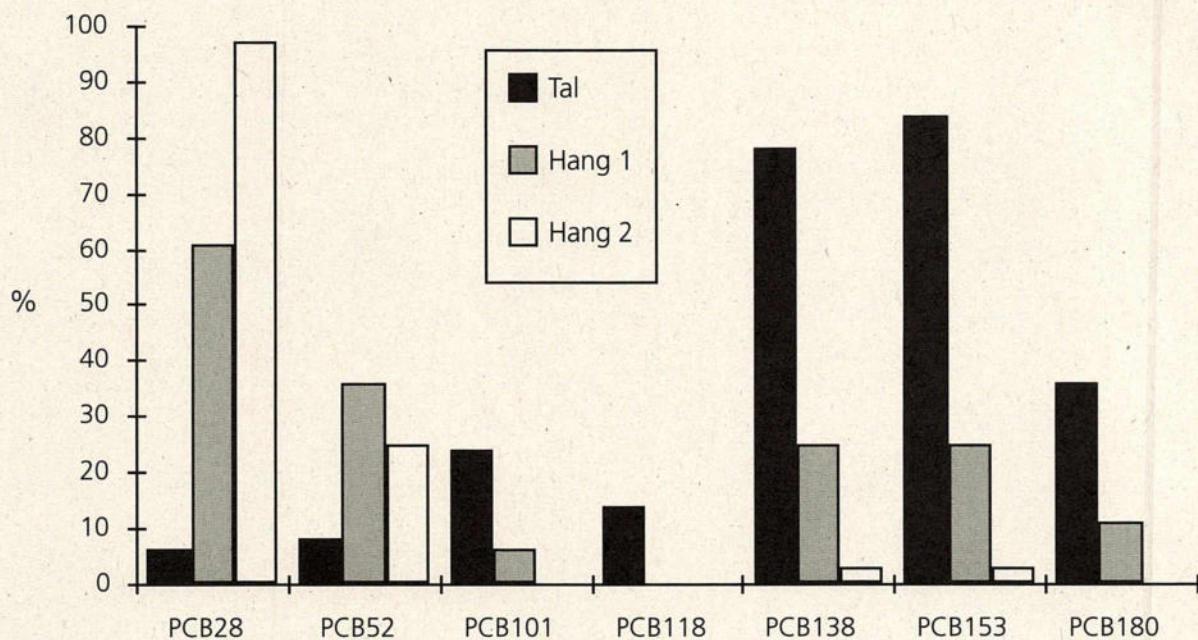
**Abb. 21** Vergleich der PCB-Belastung (Summenparameter) im unteren, mittleren und oberen Abschnitt des Davoser Haupttales (logarithmische Skala). Es werden dieselben Standorte verglichen wie in Abb. 17 links.

Die PCB-Verteilungen streuen am Hang 1 derart stark, dass sich die Mediane weder im Vergleich zum Taltransekt, noch zwischen den einzelnen Höhenstufen signifikant unterscheiden. Am Hang 2 weisen die Höhenstufen 3 und 4 signifikant tiefere Mediane als die Stufen 1 und 2 sowie der Taltransekt auf (Abb. 22).



**Abb. 22** Kistendiagramme des PCB-Summenparameters (logarithmische Skala). Die Zahlen am oberen Rand geben die Anzahl Proben pro Diagramm an.

Auffällend ist in Davos die verhältnismässig hohe Anzahl über der Nachweisgrenze liegender Messwerte des leicht flüchtigen PCB 28. Dieses wurde hauptsächlich an den Hangstandorten gefunden. Wie aus Abb. 23 hervorgeht, wurde PCB 28 (wie auch PCB 52) im Taltransekt kaum nachgewiesen, dagegen am Hang 1 über Davos an 61 % der Standorte und noch häufiger, nämlich an 97 % der Standorte am Hang 2 bei Frauenkirch. Warum wurden PCB 28 und 52 kaum im Talboden nachgewiesen? Haben sich diese niederchlorierten, leichtflüchtigen PCB 28 und 52 aus dem Boden verflüchtigt oder sind sie gar nie in den Talboden gelangt? Möglicherweise sind diese PCB auf einer bestimmten Höhe an Partikel in der Luft adsorbiert, kondensiert und an den Hängen in den Boden gelangt. Diese Beobachtung lässt auf eine Höhenabhängigkeit schliessen, im Unterschied zu den Schwermetallen. Zudem findet vermutlich eine Verfrachtung talabwärts (Richtung Frauenkirch) statt, wie aus Abb. 23 hervorgeht. PCB 52 zeigt ein ähnliches Bild mit einer hohen Anzahl Messwerte über der Nachweisgrenze an den Hängen. Die hochchlorierten PCB 138 und 153 wurden hingegen hauptsächlich im Taltransekt nachgewiesen. Am Hang oberhalb Davos kommen diese beiden Kongenere mit 25 % der Messwerte deutlich seltener als im Tal vor, oberhalb Frauenkirch nur noch vereinzelt (< 5 %).



**Abb. 23** Prozentualer Anteil der PCB-Messwerte über der Nachweisgrenze auf dem Tal- und den beiden Hangtransekten.

## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND AUSBLICK

### Bündner Rheintal

1. Der PAK-Medianwert der Fruchfolgeflächen liegt im Bündner Rheintal im Bereich der unbelasteten Böden der Schweiz.
2. Werden die Standorte in der Umgebung der Stadt Chur separat betrachtet, wird jedoch eine signifikant höhere PAK-Belastung beobachtet im Vergleich mit den übrigen Fruchfolgeflächen im Bündner Rheintal.
3. Die städtischen Standorte (Grünanlagen und Dauerwiesen in der Umgebung des Krematoriums) weisen durchschnittlich signifikant höhere PAK-Gehalte im Boden auf als die Fruchfolgeflächen. Beim Vergleich der verschiedenen Spezialuntersuchungen mit den Fruchfolgeflächen zeigt sich im Bündner Rheintal ein Nutzungs- und siedlungsbedingter (städtischer) Einfluss hinsichtlich der PAK-Belastung der Böden.
4. Bei den PCB kann kein signifikanter Unterschied zwischen städtischen und ländlichen Standorten festgestellt werden.
5. Die Einzelstoffe Pyren und Fluoranthen machen zusammen ca. einen Dritt der PAK Summen in den Böden der Fruchfolgeflächen aus. Dieses Muster zeigt sich auch für die Böden in der Landschaft Davos.

### Spezialuntersuchungen

6. Bei den PCB lassen sich die Hobbygärten mit hohen Werten markant von den anderen Nutzungen abgrenzen, die ihrerseits mehr oder weniger auf gleich tiefem Niveau belastet sind. Hier kann von einem reinen Nutzungs- bzw. Bewirtschaftungseinfluss bei Hobbygärten ausgegangen werden.
7. Ein Vergleich mit einer ähnlichen Untersuchung in Gemüsebeeten von Oltener Hausgärten zeigt, dass die PAK-Werte in den Churer Hobbygärten in derselben Größenordnung liegen wie in Olten.
8. Wie schon beim Quecksilber konnte auch hinsichtlich PAK und PCB kein Einfluss des Krematoriums auf die Böden in der näheren Umgebung nachgewiesen werden.

### Davos

9. Im Vergleich mit dem schweizerischen Hintergrundwert für unbelastete Böden gilt die Region Davos, wenn nur der Median betrachtet wird – als unbelastet. Es sind aber einzelne hohe Werte bei den PAK und PCB festgestellt worden, die z.T. sogar über den Prüfwerten liegen.
10. Der Talboden ist bezüglich PAK stärker belastet als die Hänge.
11. Für die PCB zeigt sich ein uneinheitliches Bild: Es zeigen sich keine Unterschiede zwischen den Medianwerten der PCB-Summen im Tal und an den Hangtransekten. Bei separater Betrachtung der Einzelstoffe kann folgende Beobachtung gemacht werden: PCB 28 (und etwas weniger deutlich PCB 52) kommen fast ausschliesslich an den Hängen vor, PCB 138 und 153 hauptsächlich im Talboden. Dies lässt auf eine Höhenabhängigkeit schliessen – anders als bei den Schwermetallen. Zudem findet vermutlich eine Verfrachtung talabwärts (Richtung Frau-enkirch) statt.

## Ausblick

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

Zur näheren Abklärung der Ursachen der vorgefundenen erhöhten Schadstoffgehalte im Boden sind weitere Spezialuntersuchungen durchzuführen. Dabei können folgende Fragestellungen behandelt werden:

- Was ist die Ursache für die erhöhten PAK-Werte in der Umgebung von Chur?  
(Waffenplatz, N13 ?)
- Welches sind die Ursachen der höheren PCB-Konzentrationen zwischen Chur und Domat/Ems?
- Was ist die Ursache für erhöhte Schadstoffgehalte im Boden von Kinderspielplätzen? Sind Auswirkungen auf spielende Kinder zu befürchten?
- Wie kann man der erhöhten Belastung von Hausgärten begegnen? Der Kompost in einem Hausgarten setzt sich nicht nur aus Gemüseabfällen, sondern auch aus Rasenschnitt und Laub zusammen, was in der Nähe von verkehrsreichen Strassen zu einer schnelleren Aufkonzentrierung von Schadstoffen insbesondere von PAK führen könnte.
- Kommt PCB 28 an Hanglagen im Bündner Rheintal auch häufiger vor als im Talboden? Kann PCB 28 allgemein als Leitparameter für Luftverfrachtung betrachtet werden?
- Kann Naphthalin als Leitparameter für eine aktuelle PAK-Belastung verwendet werden?
- Welches sind die Ursachen der zahlreichen Richtwertüberschreitungen im Talboden von Davos?

Oft können Umfragen über Bewirtschaftungsmethoden, Deponien und Aufschüttungen mit Fremdmaterial Erklärungen liefern, bevor neue Beprobungen vorgenommen werden. Leitparameter für aktuelle Verschmutzung wie Naphthalin und PCB 28 sollten dabei in Betracht gezogen werden.

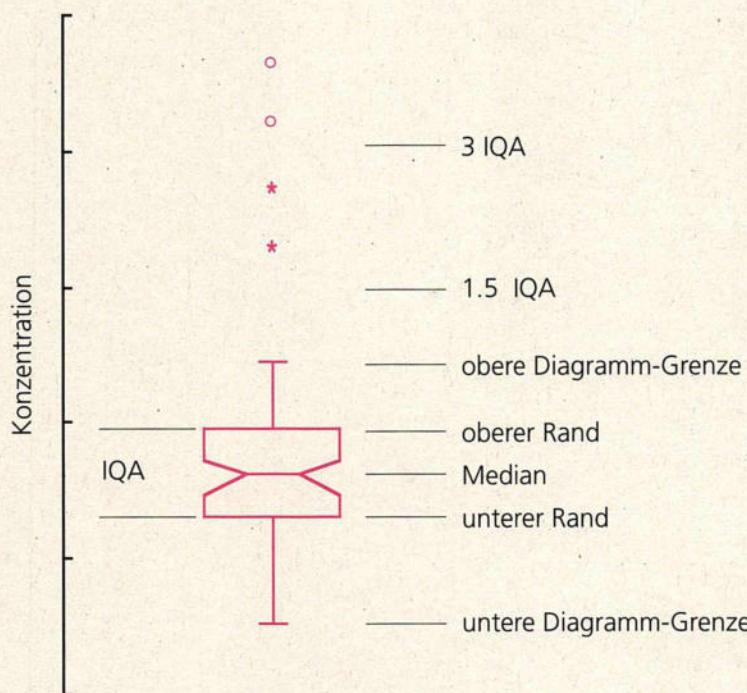
Aus der vorliegenden Untersuchung lassen sich somit dank der breit abgestützten Hintergrundwerte von organischen Schadstoffen im Boden die konkreten Fragestellungen bearbeiten, welche dann zu den geeigneten Massnahmen zur Erhaltung, allenfalls zur Verbesserung der Bodenqualität führen. Die Komplexität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

## WEITERFÜHRENDE LITERATUR

- [1] Verordnung über Raumplanung (RPV) vom 2. Oktober 1989 SR 700.1, Art.16 Abs. 1.
- [2] Hämmann M., S.K. Gupta, K.Häberli, 1998: Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für organische Schadstoffe im Boden. Fallbeispiel PAK, Umweltmaterialien Nr. 96, BUWAL, Bern.
- [3] Kantonale Bodenschutzfachstellen und Institut für Umweltschutz und Landwirtschaft (IUL), 1997: Organische Schadstoffe im Boden (OSBO), Untersuchung zur Standardisierung des Vorgehens bei der Bestimmung von polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffen im Boden. Winterthur.
- [4] Amt für Umweltschutz Graubünden, 1997: Fallstudie Siedlungsgebiete Graubünden, Bericht über die Bodenuntersuchungen im Bündner Rheintal und in der Landschaft Davos.
- [5] Mitteilungen zum qualitativen Bodenschutz und zur Verordnung über Schadstoffe im Boden (VSBo), 1993 Nr. 4.
- [6] Amt für Umweltschutz Kanton Solothurn, 1998: Schadstoffbelastung von Hausgärten in der Stadt Olten. Bericht Nr. 20.
- [7] Niederer M., A. Maschka-Selig, C.Hohl, 1995: Monitoring Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) and heavy metals in urban soil, compost and vegetation, Environ. Sci. Pollut. Res. 2,83-89.
- [8] GSA, 1994: Stoffbelastung in der Agglomeration Ausserholligen – Stöckacker/ Bern. Untersuchungsbericht des Amtes für Gewässerschutz und Abfallwirtschaft des Kantons Bern.
- [9] Käenzig A., M. Werfeli, 1990: Untersuchung von Waldböden im Kanton Aargau auf die Belastung mit organischen Schadstoffen. Schlussbericht des Kantonalen Laboratoriums Aargau.
- [10] Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo) vom 1. Juli 1998.

## ANHANG

### Interpretation eines Kistendiagramms



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

## Richt-, Prüf- und Sanierungswerte für PAK und PCB

(inkl. EPA-Liste)

Auszug aus der Verordnung über Belastungen des Bodens (VBBo):

### 12 Werte für polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)

Werte	PAK		Probenahmetiefe (in cm)
	(mg/kg TS für Böden bis 15% Humus, mg/dm <sup>3</sup> für Böden über 15% Humus)	Summe der PAK*)	
<b>Richtwert</b>	1	0.2	0 - 20
<b>Prüfwerte</b>			
Nutzungen mit möglicher direkter**) Bodenaufnahme	10	1	0 - 5
Nahrungspflanzenanbau	20	2	0 - 20
<b>Sanierungswerte</b>			
Kinderspielplätze	100	10	0 - 5
Haus- und Familiengärten	100	10	0 - 20

TS = Trockensubstanz

\*) Die Regelungswerte gelten für die Summe der folgenden 16 PAK-Verbindungen der EPA (Priority pollutants list): Naphthalin, Acenaphthylen, Acenaphthen, Fluoren, Phenanthren, Anthracen, Fluoranthren, Pyren, Benzo(a)anthracen, Chrysene, Benzo(b)fluoranthren, Benzo(k)fluoranthren, Benzo(a)pyren, Indeno(1,2,3-c,d)pyren, Dibenz(a,h)anthracen und Benzo(g,h,i)perylene

\*\*) oral, inhalativ, dermal

### 13 Werte für polychlorierte Biphenyle (PCB)

Werte	PCB-Gehalte*)	Probenahmetiefe (in cm)
	(mg/kg TS für Böden bis 15% Humus, mg/dm <sup>3</sup> für Böden über 15% Humus)	
<b>Prüfwerte</b>		
Nutzungen mit möglicher direkter**) Bodenaufnahme	0.1	0 - 5
Nahrungspflanzenanbau	0.2	0 - 20
Futterpflanzenanbau	0.2	0 - 20
<b>Sanierungswerte</b>		
Kinderspielplätze	1	0 - 5
Haus- und Familiengärten	1	0 - 20
Landwirtschaft und Gartenbau	3	0 - 20

TS = Trockensubstanz

\*) Summe der 7 Kongeneren gemäss IRMM (Institute for Reference Materials and Measurements), IUPAC-Nr. 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180

\*\*) oral, inhalativ, dermal