

# **Chemische Untersuchungen zur Kennzeichnung der Filterwirksamkeit von Böden in der nördlichen Freiburger Bucht (Teninger Allmend, Kreis Emmendingen)**

**Peter Trüby, Freiburg i. Br.**

	Seite
1. Einführung	106
2. Auswahl der Bodentypen	107
3. Filtersystem des Bodens	107
3.1 Kationenaustauschkapazität	107
3.2 Modellversuche	108
3.2.1 Gleichgewichtsversuche	109
3.2.2 Perkulationsversuch	109
3.2.3 Schadstoffbelastung	109
3.2.4 Auswertung der Gleichgewichtsversuche	110
3.2.5 Auswertung des Perkulationsversuches	112
3.2.6 Zusammenfassung der Modellversuchsergebnisse	114
3.3 Filterkapazität des Gesamtbodens und deren Verteilung auf die Horizonte	115
3.3.1 Filter- und Kationenaustauschkapazität	116
3.3.2 Verteilung auf die Horizonte	116
Schriftenverzeichnis	118

## **Zusammenfassung**

An Feinbodenmaterial aus einer Profilsreihe eines Bewässerungsgebietes der nördlichen Freiburger Bucht wurden zur Bestimmung der Filterwirksamkeit Austauschkapazitäten bestimmt und nach zwei unterschiedlichen Verfahren das Sorptionsverhalten gegenüber Natrium, Ammonium, Cadmium, Zink und Blei überprüft. Zur Ermittlung der Sorptionsleistung bei Zugabe von Testlösungen zur Simulierung von Schadstoffbelastungen wurde ein Gleichgewichtsverfahren und ein Perkulationsverfahren angewandt. Es wurden sowohl Einzelelemente als auch Ele-

**Anschrift des Verfassers:**

Dipl.-Forstw. PETER TRÜBY, Institut für Bodenkunde und Waldernährungslehre der Universität, Bertholdstraße 17, D-7800 Freiburg i. Br.

mentmischungen verwendet. Die getesteten Elemente (Ionen) zeigten entsprechend den angewandten Simulationsverfahren ein unterschiedliches Sorptionsverhalten. Innerhalb eines Verfahrens ergab sich jeweils eine klare Abstufung der Sorptionsintensität der getesteten Elemente.

Auf der Basis der Ergebnisse der Austauschkapazitätsbestimmungen und der mit dem Perkolationsverfahren ermittelten Sorptionsleistungen wurden Orientierungswerte zur Abschätzung der Filterkapazität der untersuchten Böden berechnet.

## 1. Einführung

Für einen Bewässerungsversuch in der Teninger Allmend, Landkreis Emmendingen, sollte die Belastbarkeit des Bodens mit Schadstoffen und seine Speicherkapazität für Nährelemente ermittelt werden. Im Rahmen einer kleineren Meßreihe wurde an charakteristischen Bodentypen des Untersuchungsgebietes das Austauschverhalten von ausgewählten Schad- und Nährstoffen, sowie von einigen umweltrelevanten Spurenelementen im Laborversuch modellhaft untersucht. Die ermittelten Belastbarkeitswerte sollten eine Entscheidungshilfe für die Planung der Bewässerung nach Art und Umfang liefern (TRÜBY 1976).

In der folgenden Abhandlung werden einige für die Praxis wichtige Teilergebnisse dargestellt.

## 2. Auswahl der Bodentypen

Auf der Basis vorhandener Boden- und Standortkarten sowie von Geländebegehungen wurden 4 für das Untersuchungsgebiet repräsentative Leitprofile ausgewählt.

### Profil 1 Pseudogley-Braunerde aus Lößlehm

Tab. 1

Horizont	Tiefe (cm)	%Humus	T- Wert	V- Wert	%Sand	%Schluff	%Ton	%Skelett
Ah	0-10	3.9	12.5	4.9	17.2	56.4	25.4	1.0
Ah/Bv	10-24	2.6	11.8	2.8		55.9	25.7	1.0
Bv	24-52			10.7		52.1	26.0	1.0
Bv/Sw	52-67					48.0	24.3	1.0
	67-90 <sup>+</sup>						26.4	1.0

T- Werte in mval/100 g Feinerde

### Profil 2 Schotterbraunerde mit geringer Entwicklungstiefe

Tab. 2

Horizont	Tiefe (cm)	%Humus	T- Wert	V- Wert	%Sand	%Schluff	%Ton	%Skelett
Ah	0-10	6.2	15.0	3.1	29.4	33.4	20.6	16.6
Bv <sub>1</sub>	10-40		9.8				19.5	
Bv <sub>2</sub> /Sw	40-70 <sup>+</sup>						8.5	

T- Werte in mval/100 g Feinerde

**Profil 3** Naßgley, inzwischen trockengefallen

Tab. 3

Horizont	Tiefe (cm)	%Humus	Wert	V- Wert	%Sand	%Schluff	%Ton	%Skelett
Ah	0-15	8.1	22.4	2.3	22.1	46.3	25.2	6.4
Ah/Gr	15-30				20.3	41.8	24.8	
	30-50					32.0		
	50-80 <sup>+</sup>							

T- Werte in mval/100 g Feinerde

**Profil 4** Schotterbraunerde mit tiefgründiger Entwicklung

Tab. 4

Horizont	Tiefe (cm)	%Humus	T- Wert	V- Wert	%Sand	%Schluff	%Ton	%Skelett
Ah	0- 9	7.6	21.1	1.5	23.9	31.2	16.8	28.1
Ah/Bv	9-18					30.1	18.9	29.6
Bv <sub>1</sub>	18-53					26.7	18.2	
Bv <sub>2</sub>	53-70					5.5	9.3	
Bv <sub>3</sub> /Cv								

T- Werte in mval/100 g Feinerde

**3. Filtersystem des Bodens**

Eine erschöpfende Untersuchung des komplexen Filtersystems Boden konnte im Rahmen dieser Arbeit nicht durchgeführt werden. Sie beschränkt sich auf die Erfassung der Kationenaustauschkapazität und auf Modellversuche zur Aufklärung wichtiger Zusammenhänge bei Fixierung und Austausch ausgewählter Kat- und Anionen. Sie kann daher nur Trends aufzeigen und Größenordnungen der Belastbarkeit angeben.

**3.1 Kationenaustauschkapazität (KAK), T-Wert**

Die Kationenaustauschkapazität wurde im Perkolationsverfahren nach MEHLICH bei pH 8.1 durch Eintausch von Bariumionen ermittelt. Die T-Werte der Bodenhorizonte, Tab. 1 bis 4, variieren je nach Materialzusammensetzung und Bodentyp zwischen 2.3 und 22.4 mval/100 g Feinerde (FE) und sind mit dem Ton- und Humusgehalt eng korreliert.

### *Basensättigung, V-Wert*

In der Perkolationslösung wurde die Summe der ausgetauschten Kationen  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$  bestimmt. Auf der Basis dieses Summenwertes wurde der Basensättigungsgrad (V-Wert) errechnet. Der V-Wert kennzeichnet prozentual den Anteil der KAK der bereits durch Alkali- und Erdalkalitionen belegt ist. Daraus läßt sich abschätzen, welcher durch  $\text{Al}^{3+}$  und  $\text{H}^+$  belegte Rest der KAK für die Aufnahme von imitierten Schadstoffkationen, abgesehen von einem Austausch der Alkali- bzw. der Erdalkalitionen potentiell zur Verfügung stehen sollte.

Bei allen 4 Leitprofilen konnte eine relativ geringe Basensättigung festgestellt werden, deren Höchstwerte nur wenig mehr als 20% erreichen. Ihr Maximum liegt jeweils in den untersten Horizonten. Bei den austauschbaren Basen überwog das Calcium mit Werten bis zu 2.19 mval/100 g FE gegenüber dem Magnesium mit maximal 0.22 mval bei weitem. Die ausgetauschten Natrium- und Kaliummengen lagen an der unteren Meßbereichsgrenze und wurden daher bei der Berechnung des Basensättigungsgrades vernachlässigt.

### *Diskussion*

Die T- und V-Werte lassen vor allem in den Oberböden hohe Austausch- und nicht durch Basen abgesättigte Restsorptionskapazitäten erkennen. Es erscheint jedoch zweifelhaft, diese im Verfahren nach MEHLICH ermittelten Werte generell zur Beurteilung der Filterkapazität von Böden und insbesondere von Waldböden heranzuziehen, da einmal ein eingestellter pH-Wert von 8.1 nicht annähernd den natürlichen Verhältnissen entspricht und zum anderen das Austauschverhalten des Bariumions nur mit Einschränkung auf andere Ionen übertragen werden kann. Aus diesem Grund wurden zusätzlich Modellversuche zur Quantifizierung der Filterkapazität gegenüber ausgewählten Kationen durchgeführt. Verwendet wurden die Elemente Cadmium, Blei und Zink, die als Leitelemente für die Schwermetalle dienen sollen, die heute in zunehmendem Maße den Stoffkreislauf belasten, sowie die Kationen  $\text{Na}^+$  und  $\text{NH}_4^+$ , die für das Untersuchungsgebiet im Hinblick auf eine Belastung mit Flußwasser besonders relevant erschienen.

### **3.2 Modellversuche**

Die Kationenfestlegung im Boden wird von einer Vielzahl von Einflußgrößen, die meist auch untereinander Interdependenzen aufweisen, gesteuert. So spielen Temperatur, pH-Wert, Anzahl der Austauschplätze, Kontaktdauer mit den Austauschkörpern, Ionenkonzentration der Zugabelösung und vor allem die bereits erfolgte Absättigung des Kationenspeichers nach Zusammensetzung und Umfang eine wesentliche Rolle. Hinzu kommen elementspezifische Einflüsse wie z. B. die Wertigkeit oder die Ionenbeweglichkeit, die ihrerseits unter anderem vom Ionendurchmesser, der Hydratationshülle und der Viskosität der Flüssigkeit abhängig ist.

Diese Vielfalt der beeinflussenden Faktoren und deren Dynamik sind in der Gesamtheit fast unüberschaubar und legen es nahe mit Modellen zu arbeiten. Die so gewonnenen Ergebnisse können als Richtwerte die Abschätzung der Filterwirksamkeit der Böden unterstützen.

### 3.2.1 Gleichgewichtsversuche

Ziel der Gleichgewichtsversuche war die Erfassung der elementspezifischen Sorption ausgewählter Kationen unter gleichen Bedingungen. Außerdem sollten Vergleichswerte für die einzelnen Bodentypen und deren Horizonte ermittelt werden.

#### *Methode*

Jeweils 10.0 g luftgetrocknete FE wurden im 100 ml Erlenmeyer-Kolben mit 100 ml einer nur ein Test-Element enthaltenden Lösung (vgl. 3.2.3) versetzt. Die Suspension wurde, gegen Verdunstung geschützt, bei pH-Werten, die dem pH der Bodenlösung entsprachen, alle 48 Std. geschüttelt und insgesamt 10 Tage stehengelassen. Anschließend wurde bis zur Klare zentrifugiert und die Metallionenkonzentration der Lösung am Flammen-AAS gemessen. Die Ammoniumionenkonzentration wurde titrimetrisch ermittelt. Anhand der Konzentrationsänderung gegenüber der Zugabelösung wurde die sorbierte Ionenmenge errechnet.

Der Begriff Sorption wird in dieser Arbeit für die Summe des Ioneneintausches in austauschbarer und nicht austauschbarer Bindungsintensität verwendet.

### 3.2.2 Perkolationsversuch

Der Perkolationsversuch sollte Aufschluß über eine eventuelle Änderung der Menge sorbierter Kationen geben, wenn die Lösung durch den Boden perkoliert und Kationen verschiedener Elemente gleichzeitig in einander äquivalenter Menge zugeführt werden.

#### *Methode*

Analog dem Verfahren MEHLICH wurden 10.0 g FE in ein Filterröhrchen über Glaswolle und Quarzsand geschichtet. Danach wurden 25 ml der Mischlösung aus Cd, Pb und Zn bei geschlossenem Abfluß zugegeben und zugedeckt. Nach 12 Std. wurden 3 weitere Portionen à 25 ml aufgebracht, die dann in etwa 6 Std. perkolierten. Der pH-Wert entsprach wie bei den Gleichgewichtsversuchen dem pH der Bodenlösung. Die Menge der sorbierten Schwermetallionen wurde wie oben ermittelt.

### 3.2.3 Schadstoffbelastung

Als Richtgröße für die Schadstoffbelastung im Modellversuch diente die Kationenaustauschkapazität. Für beide Versuche wurden die Konzentrationen der Zugabelösungen so gewählt, daß die mit 100 Millilitern zugegebene Kationenmenge von 2.2 mval/10 g FE etwa der für den Ah-Horizont von Profil 3 ermittelten maximalen KAK von ca. 22 mval/100 g FE entsprach. Für die Gleichgewichtsversuche wurden dazu fünf 0.02 normale Lösungen eingesetzt, die jeweils nur Kationen eines Elements enthielten. Die im Perkolationsversuch verwendete Mischlösung enthielt einander äquivalente Mengen Cd, Pb und Zn. Deren Summe betrug 2.2 mval/100 ml Lösung.

Das Arbeiten mit nur einer bzw. 2 Zugabekonzentrationen stellt eine starke Vereinfachung der wirklichen Verhältnisse dar, da das Eintauschverhalten in erheblichem Maße konzentrationsabhängig ist (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1976).

Außerdem führt die konstante Zugabe von jeweils 20 mval/100 g FE für die unteren Horizonte mit wesentlich geringerer KAK zu einer Überbelastung, wobei im Extremfall das Ionenangebot den T-Wert um das 10fache übersteigt. Die Beurteilung der

Ausnutzung des Kationenspeichers muß daher immer unter Berücksichtigung der jeweiligen Belastung erfolgen.

### 3.2.4 Auswertung der Gleichgewichtsversuche

Die Ergebnisse sind in Abb. 1 dargestellt.

#### Cadmium

Das Cadmium, das auf Grund seiner Ioneneigenschaften den mobilen Elementen zuzurechnen ist, wird im Vergleich zum Blei und Zink in geringem Umfang sorbiert. Die höchste Cd-Sorption mit 4.1 mval/100 g FE konnte für den tonreichen Sw-Horizont der Pseudogley-Braunerde festgestellt werden. Dabei wird aber trotz einer Belastung in ca. doppelter Höhe der KAK diese nur zu etwa 40% ausgenutzt. Erst bei einer Belastung in ca. 10facher Höhe kann für den Bv<sub>3</sub>/Cv-Horizont von Profil 4 eine Ausnutzung von über 50% der KAK festgestellt werden. Die Größenordnung der Cd-Sorption entsprach maximal nur etwa 2/3 der Restsorption.

#### Blei

Bei allen 4 Profilen zeigte sich eine im Vergleich zu den anderen Elementen sehr hohe Bleisorption, die jeweils in den Ah-Horizonten mit Werten zwischen 7.3 und 8.4 mval/100 g FE ihr Maximum erreicht. Mit zunehmender Bodentiefe nimmt die Bleisorption absolut gesehen ab und weist mit einer Ausnahme (höherer Tongehalt) in den untersten Horizonten die niedrigsten Werte auf. Es bestätigt sich damit, daß die Humussubstanz bei weitem den größten Beitrag zur Bleisorption im Boden leistet (HILDEBRAND 1974). Dennoch wird in den humusreichen Oberböden die KAK selbst bei Belastung in gleicher Höhe nur zu etwa 60% ausgenutzt. Im Gegensatz zum Cadmium kann jedoch für den Bv<sub>3</sub>/Cv-Horizont bei einer Überbelastung um etwa das 10fache eine Bleisorption beobachtet werden, die deutlich über der KAK liegt.

#### Zink

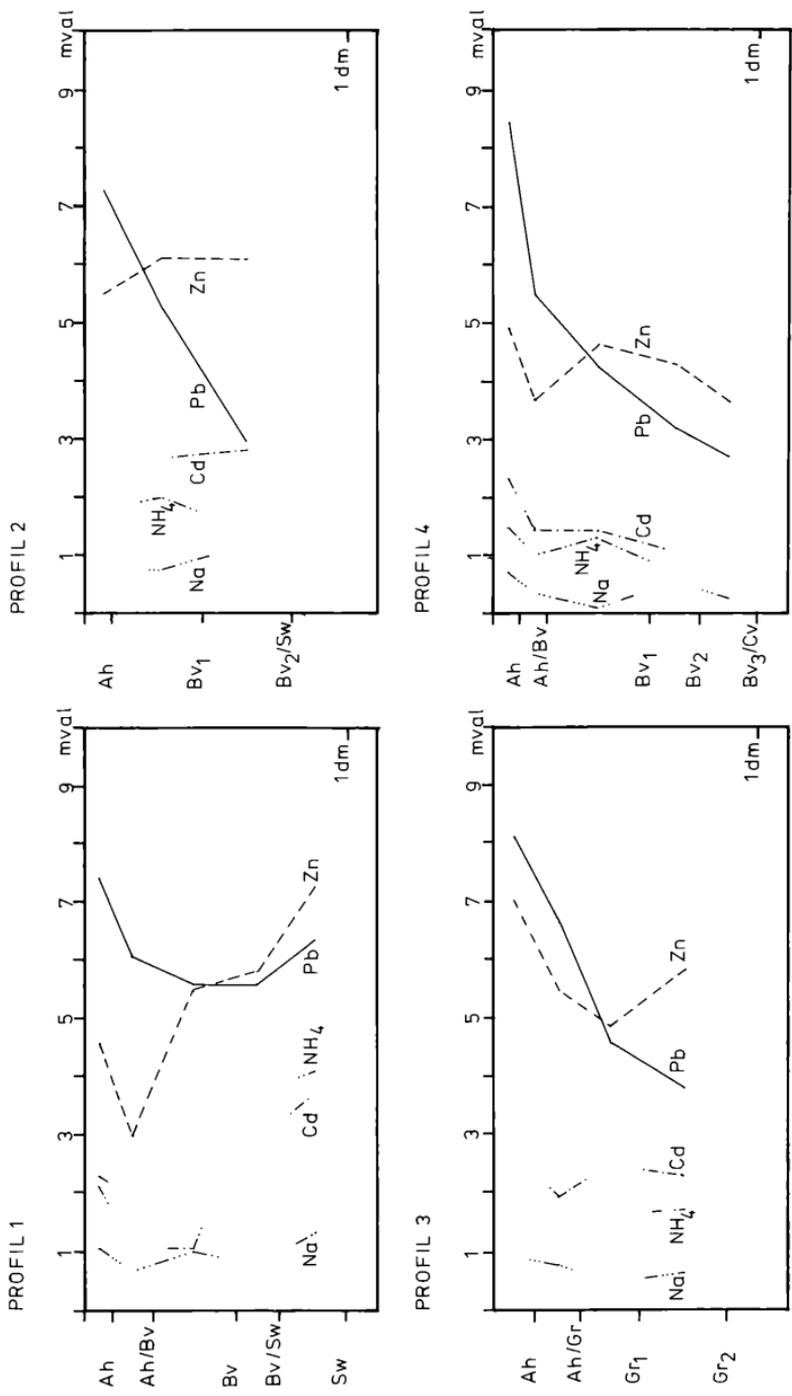
Das Zink nimmt bezüglich seiner sorbierten Menge in den humusbeeinflussten Oberböden eine Mittelstellung zwischen Cadmium und Blei ein. In den tieferliegenden Horizonten wurde jedoch mit Werten bis zu 8.0 mval/100 g FE eine hohe Sorption ermittelt und die des Bleis und Cadmiums wurde vom Zink deutlich überschritten.

BUNZL, SCHMIDT und SANSONI (1976) zeigten anhand ähnlicher Versuche, das an reinem Humusmaterial die Cd- und Zn-Sorption in etwa gleichem Umfang erfolgt. Bei den von uns untersuchten Böden läßt im Unterschied zu den Versuchen mit reinem Humusmaterial der ähnliche, zum Teil fast parallele Sorptionsisothermenverlauf des Zinks und des Cadmiums, sowie die wesentlich höhere Zn-Festlegung in allen Horizonten, eine vorrangige Bedeutung der mineralischen Bodenkomponente für dessen Sorption erkennen.

#### Natrium

Die beim Blei beschriebene Überschreitung des T-Wertes beim Eintauschvorgang konnte für das Zink noch weitaus deutlicher festgestellt werden. Bei einer Belastung

Abb.1 SORPTION von Na, NH<sub>4</sub>, Cd, Pb und Zn (Gleichgewichtsversuche)



des Bodens mit Zink in etwa 6- bis 8facher Höhe der KAK werden maximale Ein-tauschwerte von annähernd 160 % der KAK erreicht. Dieses Ergebnis steht im Ein-klang mit Untersuchungen von KABATA-PENDIAS (1968), der ebenfalls eine die KAK überschreitende, ähnlich hohe Zn-Sorption feststellte.

Es liegt daher der Schluß nahe, daß mit der Methode MEHLICH selbst bei pH 8.1 nicht alle potentiell zur Verfügung stehenden Austauschplätze erfaßt werden und/oder zumindest für das Blei und das Zink andere Bindungsformen mit der minerali-schen Bodenkomponente eine erhebliche Rolle spielen.

Von den untersuchten Kationen erwies sich das Natrium erwartungsgemäß als das bei weitem mobilste Element, das in den untersuchten Böden offensichtlich weder durch den Humus noch durch den Mineralboden in größerem Umfang sorbiert wer-den kann. So erreicht der maximale Natriumeintausch mit 1.3 mval/100 g FE im Sw-Horizont der Pseudogley-Braunerde gerade 16 % desjenigen des Zinks im selben Horizont.

Das Natrium ist gegenüber den Schwer- und Erdalkalimetallen bezüglich seiner Bindungsfähigkeit an die Bodenaustauschkörper durch seine einfach positive Ionen-ladung, die geringe Polarisierbarkeit der Elektronenhülle und die verhältnismäßig hohe Hydratationsenergie von vorneherein unterlegen.

### **Ammonium**

Die Ammoniumsorption erfolgt bei den untersuchten Böden etwa im selben Um-fang wie die des Cadmiums. Im Gegensatz zu den Elementen Blei und Cadmium, für die im humusreichen Oberboden eine erhöhte Sorption zu erkennen war, konnte dies für das Ammonium nicht in gleichem Maße festgestellt werden. Dies ist wahrschein-lich auf die für das Ammonium bekannten Austausch anomalies in Bezug auf be-stimmte Tonminerale wie Illit und Vermikulit zurückzuführen, die zu einer erhöhten Sorption im Mineralboden führen können.

### **3.2.5 Auswertung des Perkulationsversuches**

Die Ergebnisse sind in Abb. 2 dargestellt.

### **Cadmium**

Das Cadmium zeigt wie bei den Gleichgewichtsversuchen nur geringe Sorption. Sie liegt in der Regel unter der des Zinks und die Sorptionsisothermen zeigen auf-fällige Parallelität.

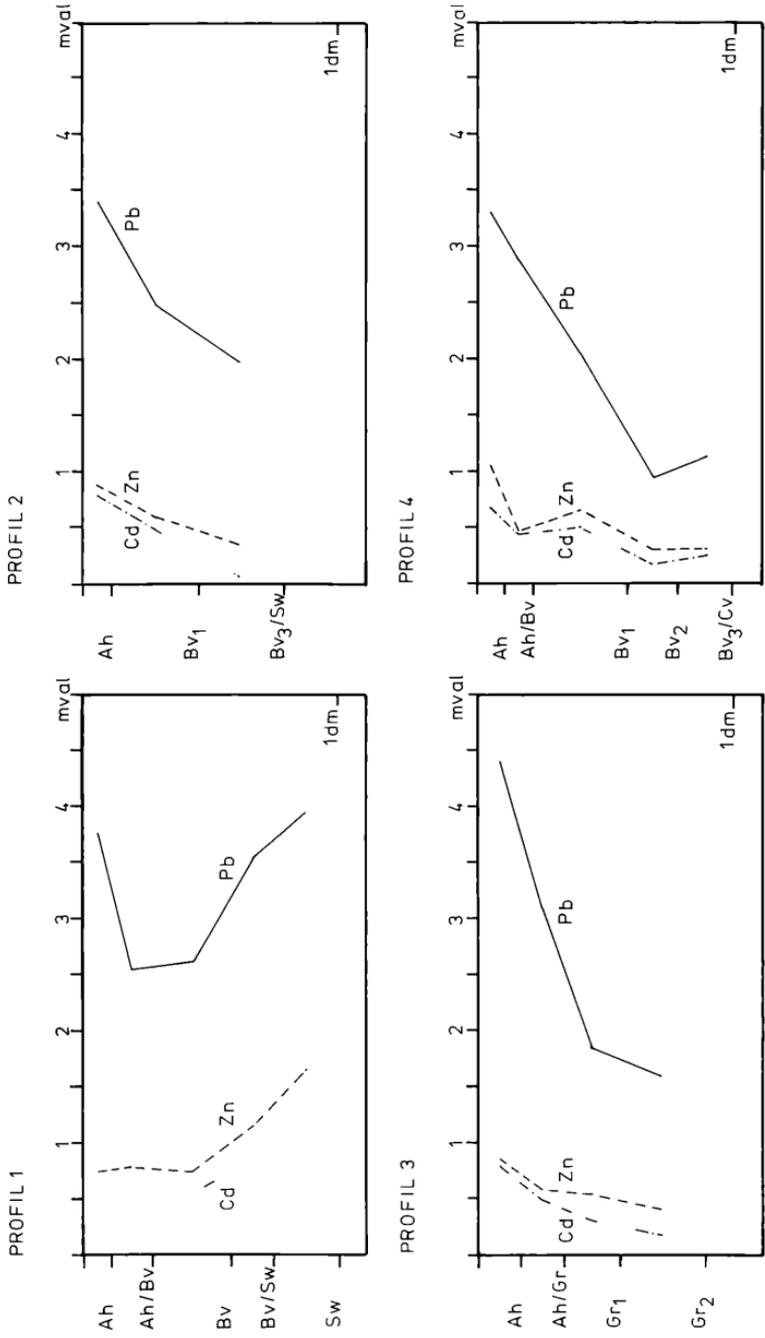
Aus der Ionenmischlösung erfolgt der Cd-Eintausch in den humosen Oberböden unter Berücksichtigung der geringeren Konzentration der Einzelelemente noch in einem mit dem Gleichgewichtsversuch vergleichbaren Umfang.

In den Mineralbodenhorizonten war die Cd-Sorption deutlich geringer als es die Ergebnisse der Gleichgewichtsversuche erwarten ließen.

### **Blei**

Bei allen 4 Bodentypen ist über deren gesamte Mächtigkeit eine hervorragende Bleisorption zu erkennen, deren Maximum jeweils im Bereich der humusbeeinflussten

Abb 2 SORPTION von Cd, Pb und Zn. (Perkolationsversuch)



Oberböden liegt. Aber auch im Mineralboden zeigt das Blei im Vergleich zu den anderen Elementen hohe Sorption und wird in etwa 2- bis 4facher Menge festgelegt.

Bei einer Zugabe von 6.7 mval Blei/100 g FE, was etwa einem Drittel der Zugabe bei den Gleichgewichtsversuchen entspricht, werden in den Ah-Horizonten je nach Profil zwischen 3.3 und 4.4 mval/100 g FE sorbiert. Das entspricht ca. 52 bis 68 % der zugegebenen Bleimenge. Bei den Gleichgewichtsversuchen lag die Sorption in den selben Horizonten bei 36 bis 42 % und damit *relativ* erheblich niedriger. Im tonreichen Bv<sub>3</sub>/Sw-Horizont beträgt die Sorption 56 und 62 % der Zugabe gegenüber 27 und 31 % bei den Gleichgewichtsversuchen. Es ist daher anzunehmen, daß die durch die Perkolation der Zugabelösung verursachte Verkürzung der Kontaktdauer mit den Austauschkörpern für die Bleisorption von untergeordneter Bedeutung ist. Die gleichzeitige Zugabe von Kationen verschiedener Elemente, die durch die Verdünnung gesteigerte Ionenaktivität und vor allem die Störung der Austauschgleichgewichte durch ständige Wegfuhr der ausgetauschten Kationen sowie die permanente Regeneration der Zugabelösung scheinen dessen Sorption in wesentlich größerem Umfang zu beeinflussen.

### Zink

Die bei den Gleichgewichtsversuchen festgestellte hohe Eintauschrate des Zinks konnte beim Perkolationsversuch nicht bestätigt werden. Vielmehr wird das Zink nur noch geringfügig stärker als das Cadmium sorbiert. Ähnlich dem Cadmium können vor allem im Mineralboden die für das Zink potentiell zur Verfügung stehenden Austauschplätze nur noch in geringem Umfang genutzt werden.

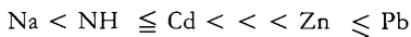
Die im Mineralboden stark erhöhte Bleisorption deutet darauf hin, daß das austauschbar an Tonminerale gebundene Zink und auch das Cadmium vom Blei substituiert werden kann. Außerdem scheint das Blei auch eine Sorption des Zinks in nicht austauschbarer Form (vgl. Abschn. 3.2.4 Zink) an den dafür geeigneten Mineraloberflächen zu verhindern. Bei der Beurteilung der Filterwirksamkeit des Bodens für Zink ist die gegebene Bleikonzentration als ein wesentliches Korrektiv zu berücksichtigen.

Eine vollständige Ausnutzung der KAK erfolgte auch bei diesem Versuch nicht. Selbst bei einer Belastung in 10facher Höhe der KAK wird nach Summierung der jeweiligen Elementanteile nur 73 % Absättigung erreicht. Als bezüglich der Ausnutzung des Kationenspeichers und der Schwermetallsorption besonders effektiv erwiesen sich der Bv/Sw- und der Sw-Horizont der Pseudogley-Braunerde. Hier konnte bei einer Belastung in etwa doppelter Höhe der KAK eine Auslastung von 56 bzw. 62 % der gesamten Speicherkapazität ermittelt werden. Auch die absolute Sorption erreichte dort mit 5.5 und 6.7 mval/100 g FE Cd, Pb und Zn das Maximum.

### 3.2.6 Zusammenfassung der Modellversuchsergebnisse

Die Gleichgewichtsversuche ließen zunächst beträchtliche Unterschiede in der Fixierbarkeit der einzelnen Kationen erkennen und für jedes Element konnte ein spezifisches individuell ausgeprägtes Sorptionsverhalten beobachtet werden. Die immobilisierte Kationenmenge, wie auch deren Verteilung auf die einzelnen Boden-

horizonte variieren stark (vgl. Abb. 1). Die Elemente zeigen eine zunehmende Sorptionsleistung in folgender Reihe:



Beim Perkolationsversuch, wo 3 Elemente gleichzeitig zugegeben wurden, zeigten sich stark veränderte Verhältnisse. So konnte das Zink nur noch in vergleichsweise geringer Menge sorbiert werden. Besonders schwach war die Sorption im Bereich des Mineralbodens, wo beim Gleichgewichtsversuch das Maximum der Sorption lag. Das Zink wurde nur noch in etwa gleichem Umfang wie das Cadmium immobilisiert, für das ebenfalls eine erniedrigte Sorption ermittelt wurde. Das Blei zeigte einen deutlichen Zugewinn über alle Horizonte, der offensichtlich zu Lasten des Zinks und Cadmiums ging. Nach dem Perkolationsversuch ergab sich eine steigende Sorption des Cadmiums, Bleis und des Zinks in folgender Reihe:



Die Ergebnisse der beiden Modellversuche zeigen die Problematik der Erfassung der Filterkapazität von Böden voll auf. Die Unterschiede in der Sorption der einzelnen Elemente sind erheblich. Das gleichzeitige Auftreten von verschiedenen Kationen, wie auch die angewandte Untersuchungsmethodik beeinflussen die Resultate stark. Es ist daher nicht möglich eine generelle Filterkapazität gegenüber allen Kationen über einen größeren Konzentrationsbereich zu ermitteln. Die Filterkapazität des Bodens ist eine dynamische Größe, die sich nach der Art des filterwirksamen Bodens und *wesentlich* nach der Belastung richtet. Die nach MEHLICH oder einem anderen Verfahren ermittelte potentielle KAK stellt damit eine grobe Vereinfachung dar, so daß ihr bei der Beurteilung der aktuellen Filterkapazität nur eine eingeschränkte Bedeutung zukommt. Die korrekte Ermittlung der Filterkapazität kann daher nur von einer bekannten Fremdstoffzufuhr für einen bestimmten Boden ausgehen.

Wenn in folgendem Abschnitt dennoch für die untersuchten Böden Filterkapazitäten errechnet werden, so können sie lediglich als Orientierungsrahmen dienen. Den Berechnungen liegen die Ergebnisse des Perkolationsversuches zugrunde. Sie ermöglichen unter Berücksichtigung der erwähnten Einschränkungen den Vergleich der Filterleistungen der verschiedenen Bodentypen untereinander und geben für die einzelnen Horizonte die relativen Anteile an der Filterkapazität des Gesamtbodens an.

### 3.3 Die Filterkapazität des Gesamtbodens und deren Verteilung auf die Horizonte

Für die Ermittlung der Filterkapazität der 4 Bodentypen und deren Vergleich untereinander wurden die Analysendaten auf den Gesamtboden umgerechnet und entsprechend der jeweiligen Horizontmächtigkeit gewichtet. Zur Kennzeichnung der Filterleistung wurden die summierten umgerechneten Werte in  $\text{val/m}^2$  und Profiltiefe angegeben.

### 3.3.1 Filter- und Kationenaustauschkapazität

Die Filter- und Kationenaustauschkapazitäten für die einzelnen Bodentypen in  $\text{val/m}^2$  und Profiltiefe:

	Profil 1	Profil 2	Profil 3	Profil 4
KAK nach MEHLICH			78	
Sorption Cd, Pb und Zn				

Erwartungsgemäß konnte für die Pseudogley-Braunerde aus feinem Lößlehm mit  $117 \text{ val/m}^2$  und Profiltiefe bei weitem der höchste Wert festgestellt werden. Die zum Teil sehr hohen Skeletthalte der Schotterprofile führen bei annähernd gleicher Effektivität des filterwirksamen Bodenmaterials zu einer drastischen Reduzierung der Filterleistung des Gesamtbodens. Trotz etwa gleicher Entwicklungstiefe erreicht die Schotterbraunerde (Profil 4) nur annähernd  $1/3$  der Filterleistung der Pseudogley-Braunerde.

### 3.3.2 Verteilung auf die Horizonte

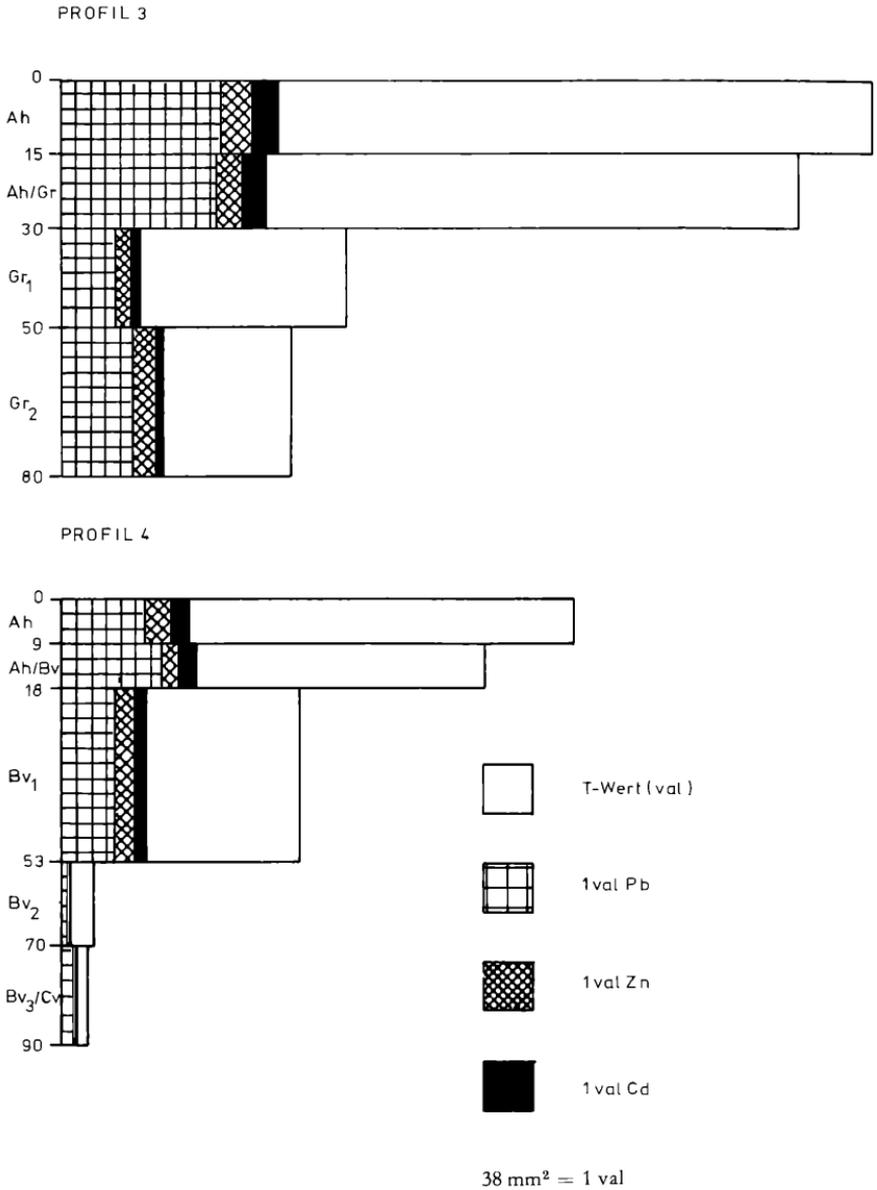
Die Verteilung der Filter- und Kationenaustauschkapazität auf die einzelnen Horizonte wurde in Abb. 3 auszugsweise für die Profile 3 und 4 dargestellt. Dabei repräsentiert die Gesamtfläche der Säulendiagramme die potentielle KAK in  $\text{val/m}^2$  und Horizontmächtigkeit. Die Anteile der von den Schwermetallen Cd, Pb und Zn bei gleichzeitigem Auftreten und bei Perkolations der Zugabelösung nutzbare Filterkapazität sind schraffiert dargestellt.

Die Unvollständigkeit der Ausnutzung des Kationenspeichers durch die immitierten Schwermetalle wird in den Diagrammen deutlich aufgezeigt. Insgesamt wird je nach Profil allenfalls die Hälfte der KAK beansprucht. Besonders gering ist die Ausnutzung in den humusbeeinflussten Oberböden, was auf die im Vergleich zum Mineralboden geringere Belastung zurückzuführen ist (vgl. Abschn. 3.2.3).

Die Ah-Horizonte, die durch die Humussubstanz in hohem Maße filteraktiv sind, leisten auf Grund ihres geringen Raumgewichts und ihrer geringen Mächtigkeit nur einen relativ kleinen Beitrag zur Gesamtfilterkapazität. Der größte Anteil wird von den Ah/Bv- und den oberen Bv-Horizonten gestellt. Diese sind ähnlich filteraktiv aber von größerer Mächtigkeit und enthalten nur geringe Skelettanteile. Die hohen Skelettanteile der unteren, schon im eigentlichen Schotterkörper liegenden Horizonte machen bis zu 95 % des gesamten Materials aus und reduzieren dadurch die Filterkapazität auf ein Minimum.

# Abb. 3

## Verteilung der Sorptionskapazität



### Schriftenverzeichnis

- BLÜCHER, E. v.; SCHÖNLIEBEN, E. (1975): Schwermetalle in Lebewesen und Böden. – ANS-Mitteilungen Sonderheft Nr. 2.
- BRÜMMER, G.; SCHRÖDER, D. (1976): Funktion von Böden und Sedimenten als Filter- und Puffersysteme. – Sonderdruck aus der Schriftenreihe des Agrarwissenschaftlichen Fachbereichs der Universität Kiel Heft 53.
- BUNZL, K. (1974): Kinetics of ion exchange in soil organic matter. III Differential ion exchange reactions of  $Pb^{2+}$  ions in humic acids and peat. – J. Soil Sci. **25**, 517–532.
- BUNZL, K.; SCHMIDT, W. und SANSONI, B. (1976): Kinetics of ion exchange in soil organic matter. IV Adsorption and desorption of  $Pb^{2+}$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  and  $Cu^{2+}$  by peat. – J. Soil Sci. **27**, 32–41.
- FASSBENDER, A. W.; SEEKAMP, G. (1975): Zur Erfassung der leichtlöslichen Bindungsformen der Schwermetalle (Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb) im Boden. – Mitt. Dtsch. Bodenk. Ges. **22**, 427–432.
- FÖRSTNER, U.; MÜLLER, G. (1974): Schwermetalle in Flüssen und Seen. – Berlin (Springer).
- HILDEBRAND, E. E. (1974): Die Bindung von Immisionsblei in Böden. – Freiburger Bodenkundl. Abh. **4**.
- KABATA-PENDIAS, A. (1968): The sorption of trace elements by soil forming minerals. – Roczniki gleboznawcze XIX 55–72.
- MATT, K. J. (1972): Cadmium adsorption maxima of soils as measured by the Langmuir isotherm. – Can. J. Soil Sci. **52**, 343–350.
- MOLL, W. (1959): Die wichtigsten Böden des Breisgaus. – Diss. Univ. Freiburg.
- SCHEFFER, F.; SCHACHTSCHABEL, P. (1976): Lehrbuch der Bodenkunde. – Stuttgart (Enke).
- SCHLICHTING, E.; BLUME, H. P. (1966): Bodenkundliches Praktikum. – Hamburg (Parey).
- SCHUFFELEN, A. C. (1972): The cation exchange system of the soil. – Proceeding of the 9th colloquium of the International Potash Institute Berne Switzerland.
- TRÜBY, P. (1976): Bodenphysikalische und -chemische Untersuchungen zur Kennzeichnung der Bewässerungsmöglichkeiten im Teninger Allmend (Kreis Emmendingen). – Dipl.-Arb. Univ. Freiburg.

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Berichte der naturforschenden Gesellschaft zu Freiburg im Breisgau](#)

Jahr/Year: 1978

Band/Volume: [68](#)

Autor(en)/Author(s): Trüby Peter

Artikel/Article: [Chemische Untersuchungen zur Kennzeichnung der Filterwirksamkeit von Böden in der nördlichen Freiburger Bucht \(Teningen Allmend, Kreis Emmendingen\) 105-118](#)