

# scriptum

Arbeitsergebnisse aus dem  
Geologischen Dienst  
Nordrhein-Westfalen

10



Alle Rechte vorbehalten

**scriptum**

Arbeitsergebnisse aus dem  
Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen

© 2003 Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb –  
De-Greif-Straße 195 · 47803 Krefeld · Postfach 10 07 63 · D-47707 Krefeld  
Fon (0 21 51) 897 0 · Fax (0 21 51) 89 75 05  
poststelle@gd.nrw.de  
<http://www.gd.nrw.de>

Satz und Gestaltung: Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen

Druck: Meinke GmbH, Neuss

Für den Inhalt der Beiträge sind die Autoren allein verantwortlich.

**scriptum** erscheint in unregelmäßigen Abständen.  
Bezug über den Buchhandel oder  
den Geoshop des Geologischen Dienstes NRW  
(Fon 0 21 51/897-210 oder -212 · Fax 0 21 51/89 74 28)

ISSN 1430-5267

Umschlagbild:

Rutschgefüge – sogenannter Bärenhorizont – in den Beckum-Schichten in einem Steinbruch bei Beckum

## **Inhalt**

Enrico Bauch & Christian Hecht & Christof Lempp & Volker Wrede:

**Transpressive Tektonik im Campan von Beckum,  
Zentrales Münsterland, Nordrhein-Westfalen**

Seite 5

Burkhard Lüer & Udo Wolf:

**Methodenvergleiche zur Bestimmung  
von Schwermetallgehalten in natürlichen Böden**

Seite 19

Ronald Steudte-Gaudich & Margarete Schneider:

**Einfluss der Vorbereitung von Bodenproben  
auf Analysenergebnisse**

Seite 37

<b>scriptum</b>	<b>10</b>	113 S., 10 Abb., 9 Tab., 13 Anl.	Krefeld 2003
-----------------	-----------	----------------------------------	--------------



<b>scriptum</b>	<b>10</b>	5 – 17, 8 Abb.	Krefeld 2003
-----------------	-----------	----------------	--------------

## **Transpressive Tektonik im Campan von Beckum, Zentrales Münsterland, Nordrhein-Westfalen**

Von Enrico Bauch<sup>1</sup> & Christian Hecht<sup>1</sup> & Christof Lempp<sup>1</sup> & Volker Wrede<sup>2</sup>

### **Inhalt**

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	6
<b>2</b>	<b>Beschreibung des struktureologischen Inventars</b> .....	7
<b>3</b>	<b>Zur Deutung des struktureologischen Inventars</b> .....	11
	3.1 Die Auf- und Abschiebungen in den Vorhelm-Schichten .....	11
	3.2 Die Störungen in den Beckum-Schichten .....	11
	3.3 Interpretation des Störungsinventars .....	12
	3.4 Zeitliche Deutung .....	14
<b>4</b>	<b>Verzeichnis der Schriften</b> .....	15

---

\* Anschriften der Autoren:

<sup>1</sup> Dipl.-Geol. Enrico Bauch, Dr. Christian Hecht, Prof. Dr. Christof Lempp, Institut für Geologische Wissenschaften, Martin-Luther-Universität Halle, Domstr. 5, 06110 Halle/S.

<sup>2</sup> Dr. Volker Wrede, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb –, De-Greiff-Straße 195, D-47803 Krefeld

**Zusammenfassung:** Im Beckumer Raum (zentrales Münsterland) lassen sich innerhalb einer ca. 30 m mächtigen Abfolge der jüngsten kretazischen Ablagerungen (Obercampan) zwei Horizonte unterschiedlicher Bruchmuster nachweisen. Während im tieferen Stockwerk ausschließlich Extensionsstrukturen mit Nordwest-Südost- und Nordost-Südwest-Streichen auftreten, dominieren im oberen Niveau spitzwinklig dazu Ost – West streichende Kompressionserscheinungen.

Ein Zusammenhang dieser Störungen mit synsedimentär entstandenen Gleithorizonten („Bärstein-Horizonte“) kann ausgeschlossen werden. Ausgehend von den geometrischen Beziehungen zwischen den Störungsmustern beider Horizonte lassen sie sich als Folge von spät-oberkretazischen (oder jüngeren) Transpressionsbewegungen deuten.

Die Anordnung der Hauptstörungen und die vermutete Mechanik der tektonischen Bewegungen könnte mit dem im unterlagernden Oberkarbon vermuteten Beckumer Sprung in Verbindung stehen. Dieses Bild reiht sich in eine Vielzahl von Beispielen aus dem Münsterland und dem angrenzenden Niederrheingebiet ein, wonach sich zahlreiche im Grundgebirge auftretende Störungen infolge mehrphasiger, zum Teil inverser Bewegungen unter Beteiligung horizontaler Bewegungskomponenten ins Deckgebirge durchpausen.

### [Transpressive tectonics in Campanian strata near Beckum (Central Münsterland, Germany)]

**Abstract:** Two different tectonic levels are exposed in an approximate 30 m thick section of upper Campanian strata in the Beckum area (central Münsterland, Germany). In the lower part only NW – SE and NE – SW striking normal faults occur while the upper is dominated by E – W striking compressive structures.

These faults are not related to part slumping horizons being exposed in this area. According to the geometric relations of the different fault patterns they are interpreted as the result of transpressive movements of uppermost cretaceous (or younger) age. Considering the arrangement of the main faults and the assumed mechanism the observed fault pattern in the Campanian strata might be related to a larger fault assumed in the underlying Carboniferous Basement (Beckum Fault). Thus, the described fault arrangement is another example for the multiple, partly inverse activities and strike-slip movements on the faults of the Münsterland and Niederrhein areas.

## 1 Einleitung

Das Untersuchungsgebiet liegt im zentralen Münsterland (Nordrhein-Westfalen) im Bereich der Stadt Beckum (Abb. 1). Der Verwendung der hier austreichenden obercampanen Schichten als Zementrohstoff sind zahlreiche, allerdings zeitlich begrenzte Aufschlüsse in der Region zu verdanken. In diesen Steinbrüchen lassen sich tektonische Bruchmuster erkennen, die in ungewöhnlicher Weise horizontabhängig ausgebildet sind. Basierend auf einer detaillierten Beschreibung dieser Bruchmuster soll versucht werden, ihre Genese zu deuten.

Grundlegende Kenntnisse über die Ausbildung, Verbreitung und Lagerungsverhältnisse der im Beckumer Raum anstehenden Campanablagerungen gehen auf GIERS (1958) zurück. Weitere, vor allem sedimentologische Ausführungen finden sich in ARNOLD (1964 a, 1964 b), VOIGT & HÄNTZSCHEL (1964) sowie WOLF (1995, 1998). Neuere, bisher unveröffentlichte Daten zur Lage und Ausbildung des tektonischen Inventars lieferten ELFERS (1987) sowie

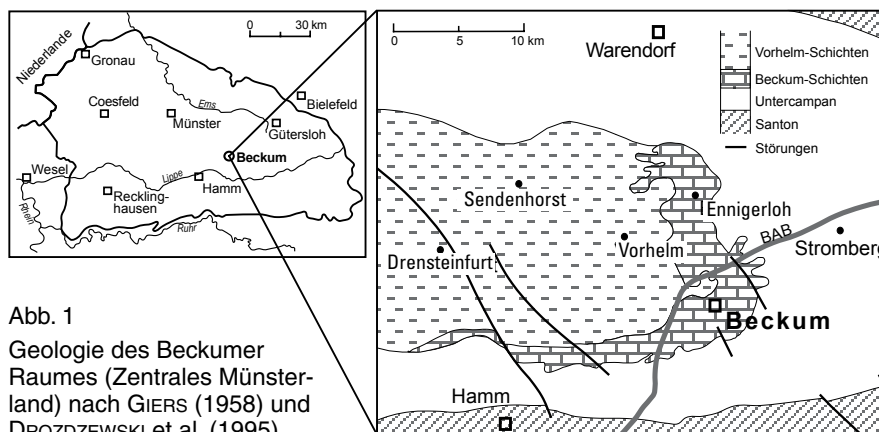
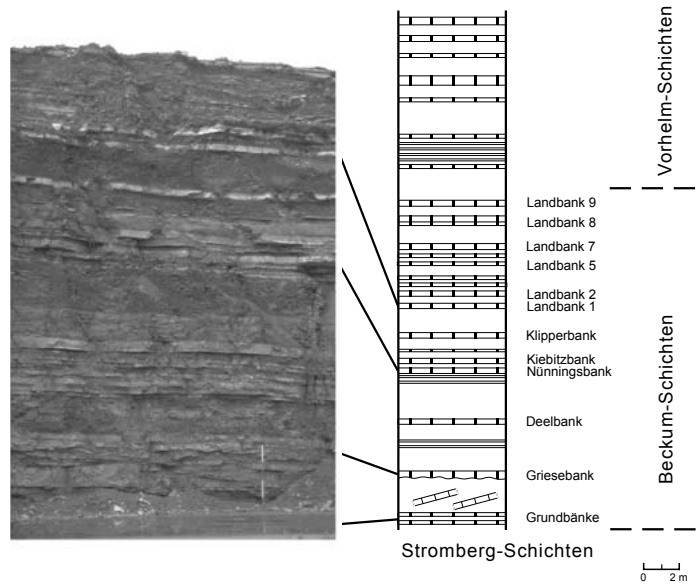


Abb. 1  
Geologie des Beckumer Raumes (Zentrales Münsterland) nach GIERS (1958) und DROZDZEWSKI et al. (1995)

Abb. 2 Normalprofil der Beckum-Schichten und Vorhelm-Schichten für die untersuchten Steinbrüche, Bezeichnungen nach GIERS (1958)

DOMRÖS & VOMBERG (1989). Die Gesteine des so genannten Beckumer Zementreviers (ALLKÄMPER 1985) bestehen aus einer Kalkstein-Mergelstein-Wechselfolge. Diese beginnt im Liegenden mit den Stromberg-Schichten, die wegen ihrer relativen Kalkarmut ohne wirtschaftliche Bedeutung und daher nur punktuell aufgeschlossen sind. Hierüber folgen die Beckum-Schichten, die den Hauptgegenstand der Steinbruchstätigkeit bilden und darüber die wieder etwas kalkärmeren Vorhelm-Schichten. Die innerhalb der mergeligen Grundmasse in charakteristischer Abfolge auftretenden, scharf begrenzten Kalksteinbänke der Beckum-Schichten und Vorhelm-Schichten sind mit Namen belegt und lassen sich über größere Bereiche parallelisieren (Abb. 2).



## 2 Beschreibung des strukturgeologischen Inventars

Das strukturgeologische Inventar der im Beckumer Raum aufgeschlossenen Campan-Schichten lässt sich folgendermaßen charakterisieren (BAUCH 2000):

1. Generell herrscht flache Schichtlagerung vor. Die Schichten fallen durchschnittlich mit 2 – 3° nach Nordwesten ein. Nördlich einer Linie Neubeckum – Sendenhorst ist dagegen flaches Südeinfallen bestimmend.
2. In den Beckum-Schichten sind synsedimentäre Rutschungshorizonte zu finden, die „Bärstein-Horizonte“, die jeweils durch horizontal abgelagerte Schichten im Hangenden und Liegenden begrenzt werden. Hierbei wird der „Untere Bärstein-Horizont“ zwischen Grundbänke und Griesebank sowie der „Obere Bärstein-Horizont“ im Niveau der Landbankgruppe unterschieden (GIERS 1958).
3. Es treten Abschiebungen hauptsächlich mit Nordwest-Südost-Streichen und Versätzen im Zehnermeterbereich auf, die sowohl Stromberg-Schichten wie Beckum-Schichten und Vorhelm-Schichten versetzen. Ihr Einfallen ist vornehmlich nach Südwesten gerichtet. Seltener ist ein Nordost-Südwest-Streichen und Südost-Fallen zu finden. Vergleichbare Störungen sind auch aus dem weiteren Umfeld des Beckumer Raumes bekannt geworden (KUNZ & WREDE 1988).

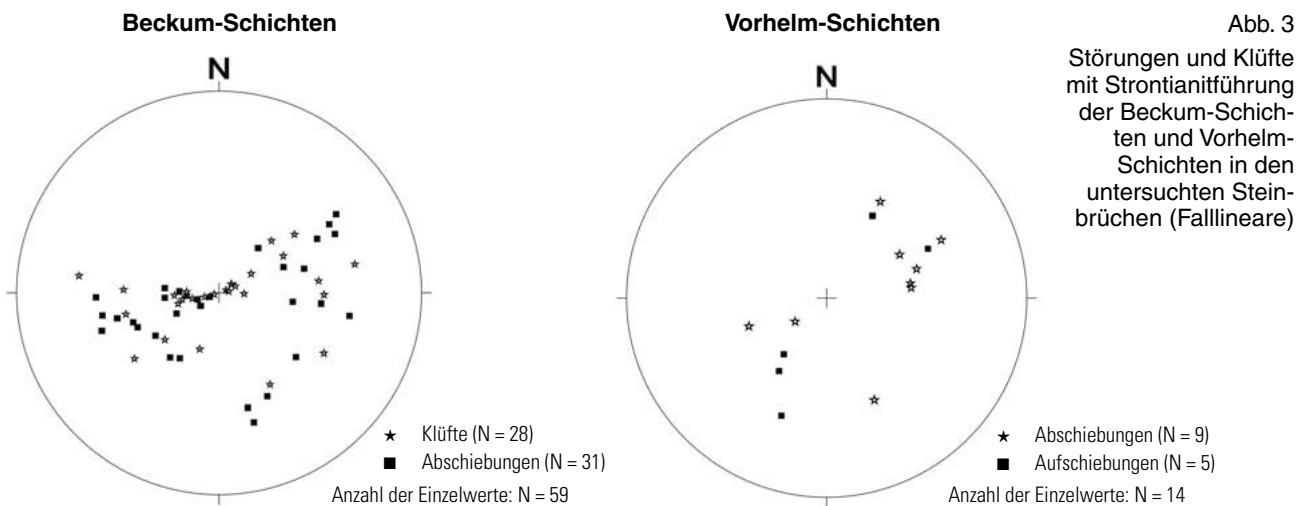


Abb. 3 Störungen und Klüfte mit Strontianitführung der Beckum-Schichten und Vorhelm-Schichten in den untersuchten Steinbrüchen (Falllineare)

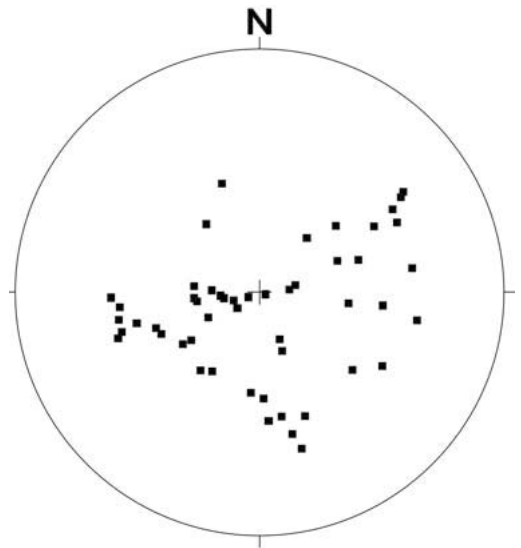
Diese Störungen dürften angesichts ihres vergleichbaren Erscheinungsbildes mit den Strontianitgängen in Zusammenhang stehen, die in einem Großteil des Münsterlandes auftreten. Nach GESING (1995) verlaufen die Gänge in der Region um Beckum bevorzugt in Nordwest-Südost- und untergeordnet in Nordost-Südwest-Richtung. Sie fallen vornehmlich nach Südwest beziehungsweise Südost mit  $45 - 90^\circ$  ein. Auch die in den untersuchten Steinbrüchen aufgeschlossenen Strontianitgänge streichen bevorzugt in Nordwest-Südost-Richtung. Strontianitführung tritt sowohl auf Störungsf lächen als auch auf Kluftflächen auf. Die Mehrzahl der Gänge wurde in den Beckum-Schichten angetroffen, sie treten jedoch auch in den Vorhelm-Schichten auf (Abb. 3). In der Literatur werden Strontianitvorkommen auch aus den Stromberg-Schichten sowie vereinzelt aus Ablagerungen des Santons beschrieben (GIERS 1958; GESING 1995).

- Die Beckum-Schichten werden von vereinzelt Störungszonen durchzogen mit Verwürfen im Dezimeter- bis maximal Meterbereich. Viele dieser Störungen laufen innerhalb der Beckum-Schichten erwiesenermaßen vertikal aus, für einige lässt sich ein Übergreifen in die hangenden Vorhelm-Schichten vermuten. Die Störungen sind ausschließlich als Abschiebungen ausgebildet, streichen hauptsächlich in Nordwest-Südost-Richtung, vereinzelt auch Nordost – Südwest und fallen zumeist nach Südwesten (bzw. Südosten) hin ein (Abb. 4). Während sich einige der Nordwest-Südost-Störungen in den untersuchten Steinbrüchen über längere Erstreckungen verfolgen lassen, ist die streichende Erstreckung der Nordost-Südwest-Störungen nur gering.

Auch in den Vorhelm-Schichten treten Abschiebungen mit begrenzter stratigraphischer Reichweite auf. Hier herrschen aber Nordost – Südwest streichende Störungen vor und die Nordwest-Südost-Richtung ist nur untergeordnet vertreten (Abb. 5). Die Versätze liegen meist unter 1 m, können jedoch vereinzelt bis zu ca. 3 m betragen. Die Störungen halten bis zur Oberfläche durch; zum Liegenden hin laufen sie dagegen meist noch oberhalb der Landbank 2 aus (Abb. 6 u. 7).

- Innerhalb der Landbänke im oberen Teil der Beckum-Schichten und in den im Hangenden anschließenden Vorhelm-Schichten kommen zahlreiche Aufschiebungen vor. Diese enden zum Liegenden hin sämtlich im Bereich der Landbänke, da in den Beckum-Schichten darunter keine entsprechenden Störungen auftreten.

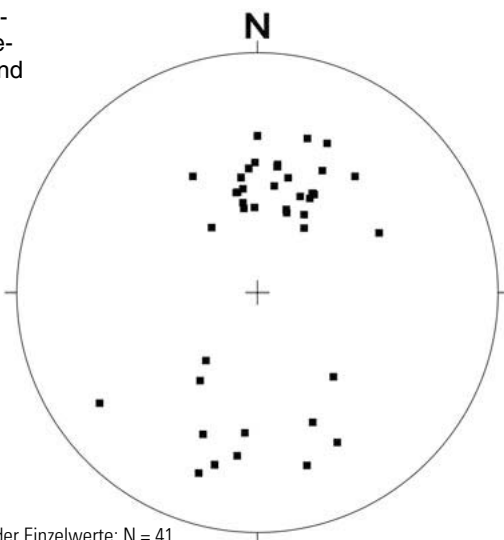
Abb. 4  
Abschiebungen der Beckum-Schichten in den untersuchten Steinbrüchen (Falllineare)



Anzahl der Einzelwerte: N = 51

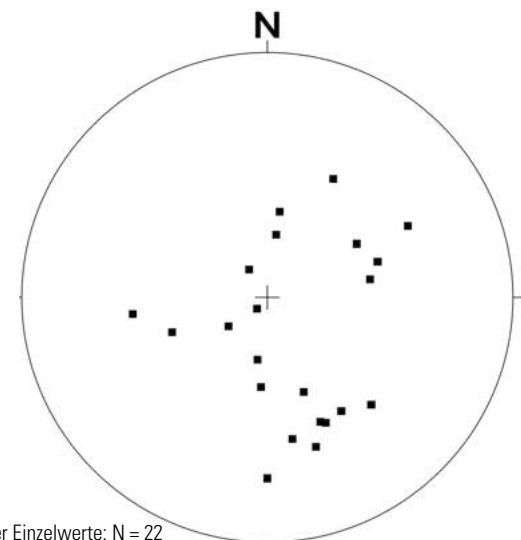
Abb. 5  
Störungen der Vorhelm-Schichten getrennt nach Auf- und Abschiebungen (Falllineare)

Aufschiebungen



Anzahl der Einzelwerte: N = 41

Abschiebungen



Anzahl der Einzelwerte: N = 22



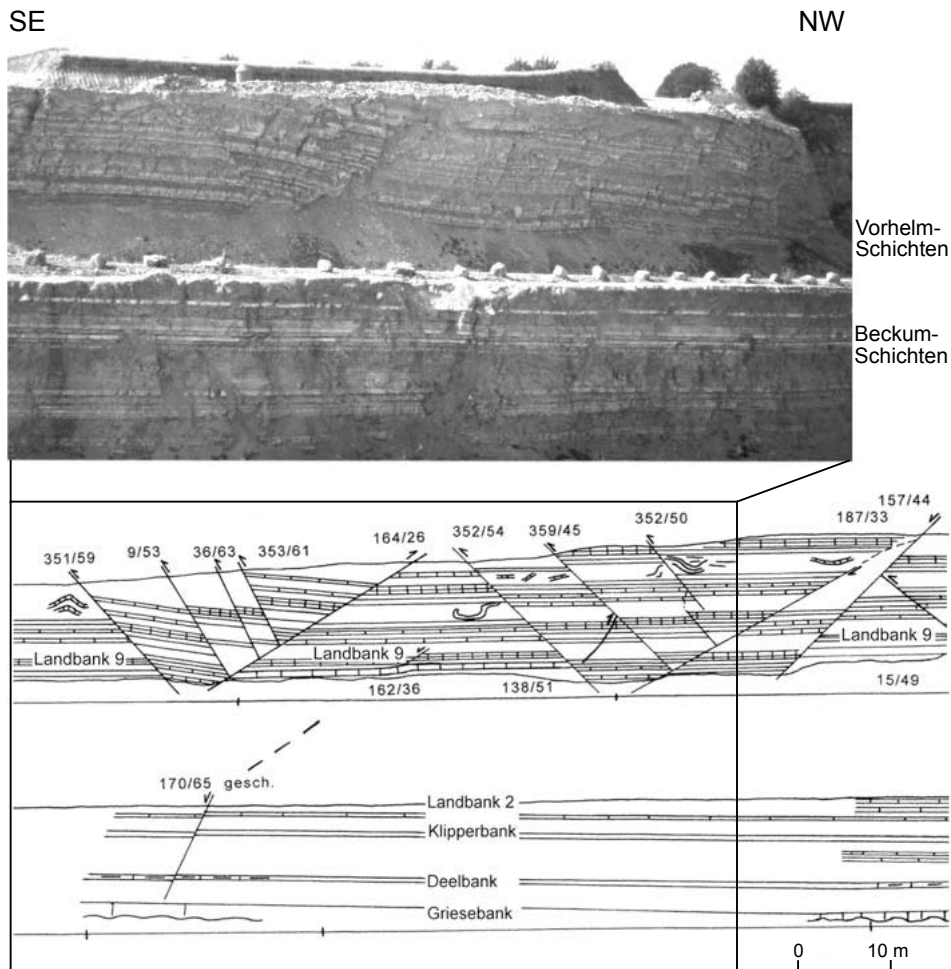


Abb. 6 Profilschnitt durch die Beckum-Schichten und Vorhelm-Schichten im Steinbruch der Firma Readymix in Beckum  
Nordwest-Böschung des Steinbruchs

Die Grenze bildet die Landbank 2 (Abb. 6 u. 7). Sofern die Aufschiebungen nicht an anderen Verwerfungen zum Hangenden hin enden, halten sie bis zur Erdoberfläche durch. Sie streichen in Ost-West-Richtung und fallen überwiegend nach Norden ein (Abb. 5). Die Versätze sind meist geringer als 3 m, erreichen vereinzelt jedoch bis zu 6 m.

Zusammenfassend lässt sich daher feststellen, dass sich die Störungsmuster in den Beckum-Schichten und den Vorhelm-Schichten signifikant unterscheiden: Während in den Beckum-Schichten ausschließlich Extensionsstörungen auftreten, wird das strukturelle Bild der Vorhelm-Schichten sowohl von Aufschiebungen wie von Abschiebungen bestimmt. Die Störungspopulationen in beiden Schichtgruppen unterscheiden sich nicht nur ihrem Charakter nach, sondern auch in ihren Streichrichtungsmaxima. Es ergeben sich hieraus verschiedene Fragen:

- Welche Beziehungen bestehen zwischen den Auf- und Abschiebungen in den Vorhelm-Schichten?
- Stehen Teile dieser Strukturen mit den gravitativ-synsedimentären Rutschungen der „Bärstein-Horizonte“ in Verbindung?
- Besteht ein Zusammenhang zwischen den beobachteten schichtgebundenen Störungsmustern und den über die Schichtgrenze hinweggreifenden größeren Störungen?
- Welches tektonische System schafft im Liegenden des aufgeschlossenen Schichtenstapels ausschließlich Extensionsstrukturen, während im Hangenden Kombinationen von Aufschiebungen und Abschiebungen anzutreffen sind?

NNW



SSE

Vorhelm-Schichten  
-----  
Landbänke  
-----  
Beckum-Schichten

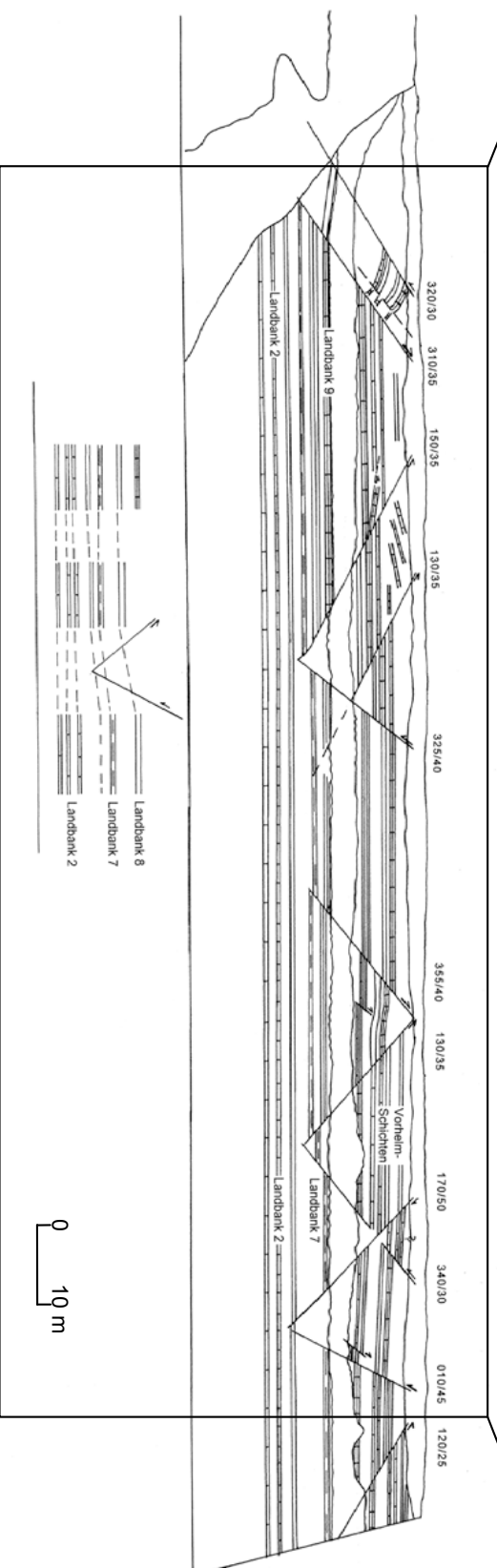


Abb. 7 Profilschnitt durch die Beckum-Schichten und Vorhelm-Schichten im Steinbruch der Firma Readymix in Beckum. Nordost-Böschung des Steinbruchs

## **3 Zur Deutung des struktureologischen Inventars**

### **3.1 Die Auf- und Abschiebungen in den Vorhelm-Schichten**

Trotz der zahlenmäßigen Überlegenheit der südvergenten Aufschiebungen gegenüber den nordvergenten ergibt sich im Anschnitt das Bild eines konjugierten Störungssystems. In dessen V-förmige Anordnung fügen sich auch die Abschiebungen der Vorhelm-Schichten ein, ohne gegenseitige Versätze erkennen zu lassen (Abb. 6 u. 7). So können beide Störungsarten sowohl zum Hangenden als auch zum Liegenden aneinandern enden. Die nordvergenten Aufschiebungen bilden dabei meist eine Art Hauptstörung, an der mehrere kleinere gegenfallende Störungen auslaufen.

Stellt man die Anteile der Schubweite an nord- und südvergenten Aufschiebungen der Vorhelm-Schichten gegenüber, ergibt sich ein fast doppelt so großer Materialtransport nach Norden als nach Süden. Bezieht man aber die hauptsächlich nach Süden einfallenden Abschiebungen der Vorhelm-Schichten mit in die Bilanz ein, so gleicht sich der relative Transport in Nord- und in Südrichtung gegenseitig aus.

Diese Phänomene lassen erkennen, dass die Abschiebungen der Vorhelm-Schichten zusammen mit den Aufschiebungen entstanden sein dürften und mit ihnen ein gemeinsames System bilden. Da sich der Großteil der in den Vorhelm-Schichten aufgeschlossenen Störungen nicht zum Liegenden fortsetzt, besteht dagegen keine unmittelbare Verknüpfung mit den Abschiebungen in den Beckum-Schichten.

Die „Wurzellosigkeit“ der Störungen in den Vorhelm-Schichten und ihr gemeinsames Auftreten mit den Rutschmassen des „Oberen Bärstein-Horizontes“ könnte für einen Zusammenhang beider Erscheinungen sprechen (z. B. DOMRÖS & VOMBERG 1989). Die von WOLF (1995) beschriebene Transportrichtung der in diesem stratigrafischen Niveau auftretenden Rutschmasse des „Oberen Bärstein-Horizontes“ aus Süden bis Südosten korreliert mit den Vergenzen der meisten Verwerfungen der Vorhelm-Schichten. Die Liegendgrenze des Gleitkörpers entspricht dem Auslaufen der Kompressionserscheinungen. Tatsächlich aber lassen sich gegen eine synsedimentäre Genese der Störungen der Vorhelm-Schichten zwingende Argumente vorbringen:

Die nötige schichtparallele Gleitung sollte ein Einbiegen der Störungsflächen zum Liegenden in die Schichtfugen zumindest andeutungsweise erkennen lassen. Weder die eigenen Geländebeobachtungen noch die bisheriger Bearbeiter (z. B. GIERS 1958; ARNOLD 1964 a; ELFERS 1987; DOMRÖS & VOMBERG 1989) haben Hinweise auf einen listrischen Verlauf der Verwerfungen zum Liegenden hin ergeben (s. auch Abb. 6 u. 7).

Bei einer gravitativen Gleitung ist insgesamt ein gerichteter Materialtransport zu erwarten, tatsächlich scheinen sich aber im aufgeschlossenen Störungssystem, wie oben gezeigt, die nord- und südgerichteten Bewegungskomponenten auszugleichen.

Die stratigrafischen Reichweiten der Rutschkörper stimmen nicht mit jener der Verwerfungen überein, da sich die Störungen der Vorhelm-Schichten weit über den Slumphorizont hinaus ins Hangende fortsetzen. Zudem finden sich vergleichbare Störungskonstellationen auch in Regionen, die außerhalb der synsedimentären Rutschungsereignisse liegen (z. B. Steinbruch Bosenberg bei Vorhelm).

Zusammenfassend ist zu schließen, dass es sich bei den Störungen der Vorhelm-Schichten und der synsedimentären Rutschmasse des „Oberen Bärstein-Horizontes“ um zwei verschiedene Phänomene handelt, die nur zufällig in einem ähnlichen stratigrafischen Niveau in Erscheinung treten.

### **3.2 Die Störungen in den Beckum-Schichten**

Zwischen den kleineren Abschiebungen der Beckum-Schichten und den größeren Abschiebungen, welche die gesamte Schichtenfolge von den Stromberg-Schichten bis in die Vorhelm-Schichten durchsetzen, bestehen enge Beziehungen: Zwar liegen aufgrund der Aufschlussituation nur relativ wenig Informationen über die streichende Erstreckung dieser größeren Störungen, ihren Abstand zueinander und ihre sonstige Ausbildung vor. Dennoch lassen sich aus dem Vergleich der Geländebeobachtungen und den vorhandenen

Literaturangaben Gemeinsamkeiten zu den kleineren Abschiebungen erkennen. Dies betrifft in erster Linie die Relation zwischen dem vorherrschenden Nordwest-Südost- und dem untergeordneten Nordost-Südwest-Streichen. Aber auch die raschen Änderungen der Verwürfe im Streichen, die jeweils nur begrenzte streichende Erstreckung und das en-echelon-artige, seitliche Verspringen der Störungen, das Auftreten der Störungen in regelmäßigen, äquidistanten Abständen und ihre Strontianitführung zeigen deutliche Parallelen.

All diese Erscheinungen sind auch für die bergbaulich erschlossenen und dokumentierten Strontianitgänge der Region typisch (GIERS 1958; ARNOLD 1964 b; GESING 1995). Sie dürften vermutlich generell ein Modell für die größeren Störungen in den Beckumer Steinbrüchen darstellen: Die Strontianitgänge erreichten eine streichende Erstreckung von maximal einigen hundert Metern. Einzelne Strontianitgänge wurden in mehreren hundert Metern Tiefe entdeckt, die meisten keilten jedoch bereits nach 20 – 60 m unter der Oberfläche aus. Die Strontianitführung unterlag meist starken Schwankungen, so dass sich die Abbauwürdigkeit zumeist auf einzelne Linsen und Nester beschränkte (GESING 1995).

### 3.3 Interpretation des Störungsinventars

Das im Streichen begrenzte Auftreten der größeren Abschiebungen, die rasche Veränderlichkeit ihrer (allein erkennbaren) Vertikalverwürfe im Streichen sowie die en-echelon-versetzte Anordnung dieser Störungen ist typisch für Blattverschiebungszonen. Weitere Hinweise auf zumindest die Beteiligung von Horizontalbewegungen gibt das Erscheinungsbild der in den Steinbrüchen aufgeschlossenen kleineren Abschiebungen in den Beckum-Schichten (vergl. HAGLAUER-RUPPEL 1991: 14):

- flache, nahezu horizontale Harnische
- wellenartiger Verlauf der Störungsfläche zur Tiefe
- horizontales Auslaufen der Störungen und zum Teil neuerliches, seitlich verspringendes Einsetzen
- veränderlicher bankrechter Verwurf im Streichen
- Auffiedern und Abzweigen kleinerer Störungen und Strontianitadern von der eigentlichen Störungsfläche
- vertikales Auslaufen inklusive Auffiedern und neuerliches Einsetzen der Störung
- Schwanken der Streichrichtungen und Einfallswinkel in streichender Erstreckung

Schließlich deutet möglicherweise auch das bevorzugte Auftreten der Strontianitvorkommen in Linsen beziehungsweise Nestern entlang der Gänge auf den seitenverschiebenden Charakter der strontianitführenden Störungsflächen hin (vergl. z. B. SPERLING 1973: 130).

Im tieferen, präkretazischen Untergrund des Untersuchungsgebietes tritt nach der Geologischen Karte des Ruhrkarbons 1 : 100 000 (DROZDZEWSKI et al. 1982) eine bedeutende Nordwest – Südost streichende Querstörung auf, der Beckumer Sprung. Ähnlich wie es für zahlreiche andere Störungen des Ruhrkarbons nachgewiesen wurde (DROZDZEWSKI 1982; WREDE 1992), könnten sich auch hier die scherenden Bewegungen im Deckgebirge auf Horizontalbewegungen an einer präexistierenden Bruchstruktur im Grundgebirge zurückführen lassen.

Bei en-echelon angeordneten, sich also seitlich ablösenden Blattverschiebungen kommt es je nach Richtung des Verspringens der Störung und ihrem Bewegungssinn in ihren Übergangsbereichen beziehungsweise Verbindungszonen zu Transpressions- oder Transtensionsbewegungen. An diese „wrench-fault-systems“ sind sekundäre Störungen gebunden, die durch ein Nebeneinander von Kompressions- und Extensionsstrukturen gekennzeichnet sind.

Das vorliegende Bruchmuster mit den dominierenden Kompressionserscheinungen in den Vorhelm-Schichten und dem ausschließlich extensiven Regime in den liegenden Beckum-Schichten und den durchhaltenden, größeren Abschiebungen lässt sich in diesem Sinne deuten (Abb. 8). Nimmt man an den größeren Nordwest – Südost streichenden Störungen einen dextralen Bewegungssinn an, entsprechen bei einem linksseitigen en-echelon-Versatz die Aufschiebungen der Vorhelm-Schichten mit ihrem Ost-West-Streichen den zu erwartenden Transpressionstrukturen.

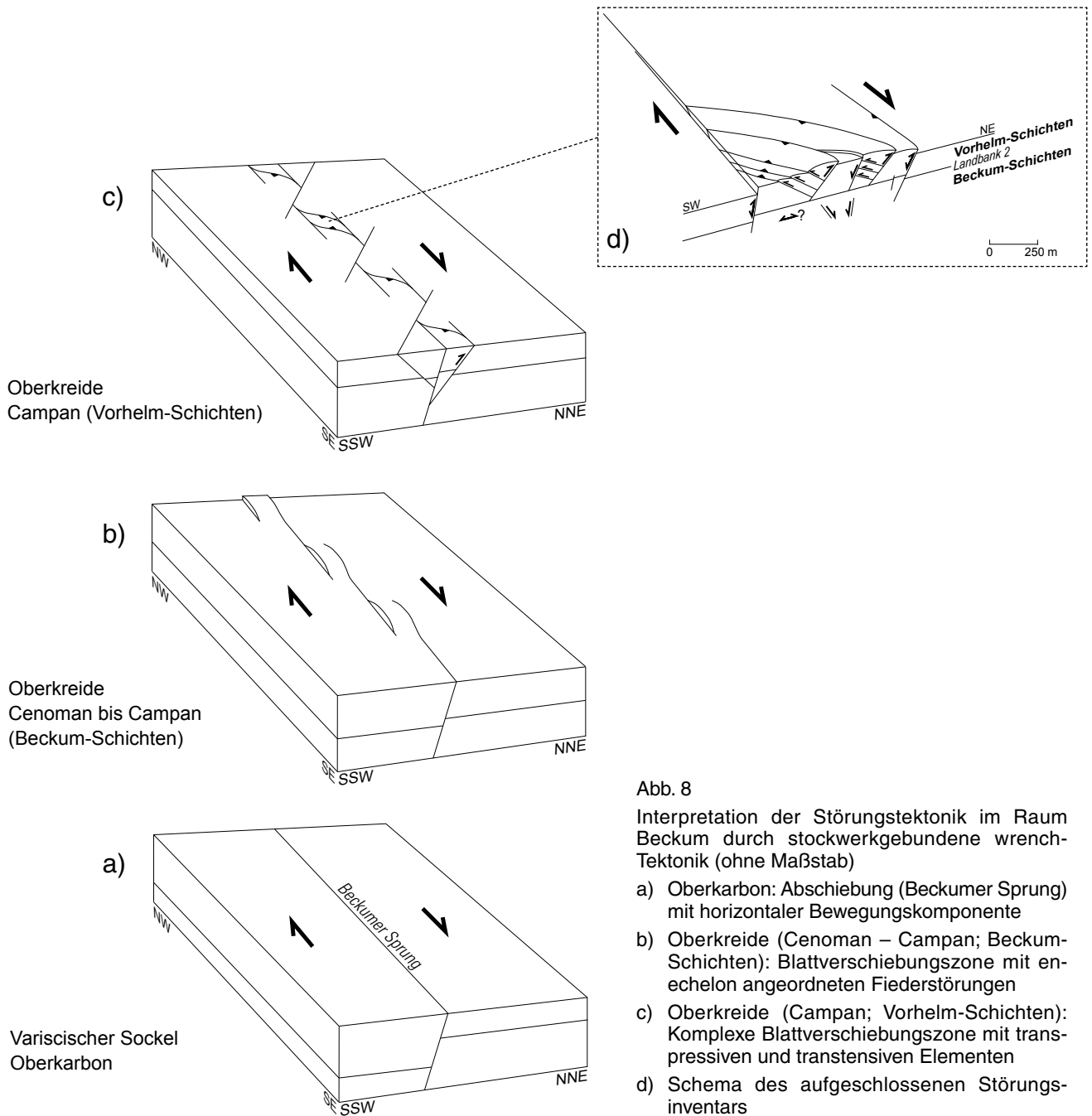


Abb. 8

Interpretation der Störungstektonik im Raum Beckum durch stockwerkgebundene wrench-Tektonik (ohne Maßstab)

- a) Oberkarbon: Abschiebung (Beckumer Sprung) mit horizontaler Bewegungskomponente
- b) Oberkreide (Cenoman – Campan; Beckum-Schichten): Blattverschiebungszone mit enechelon angeordneten Fiederstörungen
- c) Oberkreide (Campan; Vorhelm-Schichten): Komplexe Blattverschiebungszone mit transpressiven und transtensiven Elementen
- d) Schema des aufgeschlossenen Störungsinventars

Auch die vorwiegend Nordwest – Südost gerichteten Abschiebungen der Beckum-Schichten und die gleich gerichteten Abschiebungen der Vorhelm-Schichten fügen sich in dieses Bild ein. Die Kombination steiler Abschiebungen und flacher Überschiebungen ist typisch für eine positive „flower structure“ (HARDING & LOWELL 1979). Der für die Vorhelm-Schichten beschriebene fehlende gerichtete Materialtransport und der Ausgleich der horizontalen Einengung in Nord-Süd-Richtung durch Dehnung in vertikaler Richtung infolge der V-förmigen Anordnung der Störungen deuten ebenfalls auf das Bild einer „flower structure“. Das Modell der Blattverschiebungszone bietet ferner eine Erklärung, weshalb sich die verschiedenartigen Verwerfungen der Vorhelm-Schichten auf gemeinsame, engbegrenzte Zonen konzentrieren, die von Bereichen ungestörter Lagerung getrennt werden. Gerade das enge Nebeneinander von Kompressions- und Extensionselementen ist kennzeichnend für Blattverschiebungszone. Da bei gleichbleibendem Schersinn einer Blattverschiebungszone die jeweils entstehende Struktur nur von der Richtung des Verspringens der sich seitlich ablösenden Störungen abhängig ist, treten typischerweise Transpressions- und Transtensionserscheinungen unmittelbar benachbart auf. Als Beispiel im größeren Maßstab können das Ilfelder Becken („pull-apart basin“) und der Kyffhäuser („rhomb

horst“) angeführt werden. Diese verdanken ihre gleichzeitige Entstehung dem dextralen Bewegungssinn der Südharz-Lineationszone und der entsprechenden Anordnung der Teilsegmente dieser Störungszone (BÜTHE 1996).

Die vorwiegend Südwest – Nordost streichenden Abschiebungen der Vorhelm-Schichten streichen quer zur Nordwest-Südost-Richtung der postulierten Blattverschiebung. Sie lassen sich – ähnlich wie die Querstörungen innerhalb der Ibbenbürener Karbonscholle im Osning-Lineament (DROZDZEWSKI & WREDE 1994: 76) – als antithetische Riedel-Scherflächen zur übergeordneten Scherbewegung interpretieren.

Auffallend ist, dass die transpressiven Erscheinungen im gesamten Beckumer Raum ausschließlich oberhalb der Landbank 2 auftreten. Diese stratigrafische Bindung der Tektonik erscheint auf den ersten Blick ungewöhnlich. Zur Erklärung des Phänomens könnte in Anlehnung an das Modell von HEIMBACH (1958) eine Materialabhängigkeit der Tektonik angenommen werden. Dieser hatte Unterschiede im Störungsinventar zwischen dem Wellenkalk und dem Mittleren Muschelkalk in Spessart und Steigerwald als „unterschiedliche Reaktion der einzelnen faziellen und stratigraphischen Verbände auf [gleiche] tektonische Beanspruchung“ gedeutet. Denkbar wäre es, dass die mächtigen Mergelsteinlagen der Beckum-Schichten durch Volumenreduktion oder schichtparallele Ausgleichsbewegungen die wirkenden Kräfte besser aufnehmen konnten, als die „spröderen“ Schichten, die Landbänke und die hangenden Vorhelm-Schichten.

Eher dürfte aber ein Einfluss der Mächtigkeit der überlagernden Schichten bei der Ausgestaltung der Störungen eine Rolle spielen. Oberhalb der Landbank 2 könnte die zur Erdoberfläche hin zunehmende Auflockerung des Gebirges einen kritischen Wert unterschritten haben, wodurch eine Entwicklung der Störungen zum Hangenden hin in Form von „flower-structures“ ermöglicht wurde. Ein Stockwerk-gebundener Aufbau ist für „flower structures“ typisch: Während im tieferen (-stärker eingespannten-) Stockwerk die Störung steil einfällt und als Blattverschiebung ausgebildet ist, spalten von ihr zum Hangenden hin verflachende Äste ab, die deutliche, meist aufschiebende Vertikalkomponenten aufwiesen (BARTLETT et al. 1981; HARDING 1985). Beispiele im näheren Umfeld sind zum Beispiel der Bislicher Graben im Niederrheingebiet (THIENHAUS 1962), die Zusammenhänge zwischen Osning-Überschiebung und Südlicher Randverwerfung am Ibbenbürener Horst (DROZDZEWSKI 1988) oder die Schimmerwald-Scholle oder die Benzigeröder Scholle am nördlichen Harzrand (WREDE 1988, 1997).

Die Vertikalkomponente von Transpressionserscheinungen kann um ein vielfaches größer sein als die erzeugende Horizontalbewegung (WREDE 1988, 1992, DROZDZEWSKI & WREDE 1994). Angesichts der Vertikalverwürfe der Störungen der Vorhelm-Schichten maximal im Meterbereich sollten Horizontalbewegungen im Dezimeterbereich als verursachender Mechanismus genügen.

### 3.4 Zeitliche Deutung

Die vorliegende Interpretation beruht auf der Annahme von dextralen scherenden Bewegungen an den Nordwest – Südost streichenden Störungen der Beckum-Schichten beziehungsweise den größeren Störungen, welche zumindest die Beckum-Schichten und Vorhelm-Schichten durchsetzen. Die Dominanz Nordwest – Südost streichenden Abschiebungen in den Beckum-Schichten verglichen mit den Vorhelm-Schichten deutet darauf hin, dass zumindest ein Teil dieser Störungen schon vor der Ablagerung der Vorhelm-Schichten angelegt wurde.

Die Strontianitführung findet sich sowohl in den Beckum-Schichten als auch in den Vorhelm-Schichten. Geht man bei der Genese des Strontianits von einer Lateralsekretion aus (GESING 1995), sollten die Strontianitbeläge statistisch verteilt auf allen zur Zeit der Abscheidung bestehenden Bruchstrukturen vorkommen. Bemerkenswerterweise konzentriert sich die Strontianitführung in den Vorhelm-Schichten wie in den Beckum-Schichten hauptsächlich in Nordwest-Südost-Richtung, obwohl diese Richtung in den Vorhelm-Schichten deutlich unterrepräsentiert ist. Nur untergeordnet findet sich der Strontianit auf Nordost-Südwest-Störungen; auf den Ost-West-Störungen der Vorhelm-Schichten fehlt er völlig. Weiterhin weisen sowohl die Strontianitbeläge als auch die Kalksteinbänke neben parallel zur Störungsfläche einfallenden auch horizontal verlaufende Bewegungsspuren auf. Daher erfolgten auch noch nach der Strontianitabscheidung an diesen Flächen tektonische Bewegungen.

Diese Beobachtungen können ein Indiz für die zeitliche Abfolge der Bewegungen sein: Die Strontianitkristallisation erfolgte an den zu diesem Zeitpunkt allein vorhandenen Bruchstrukturen in Nordwest-Südost- sowie (untergeordnet) in Nordost-Südwest-Richtung. Diese Verwerfungen setzten sich zumindest teilweise bereits von den Beckum-Schichten in die Vorhelm-Schichten fort, da die Strontianitführung auch dort nachgewiesen wurde. Infolge der Bewegungsspuren, die diese Strontianitbeläge aufweisen, müssen sich dann abschiebende Bewegungen und Horizontalbewegungen angeschlossen haben. Die Horizontalbewegungen führten schließlich infolge des beschriebenen Transpressionsvorganges zu den Ost – West streichenden Aufschiebungen und wahrscheinlich auch zu weiteren Abschiebungen in den Vorhelm-Schichten. Dabei wurden die strontianitführenden Verwerfungen, die in den Vorhelm-Schichten bereits vorhanden waren, reaktiviert.

Da das transpressive Störungsinventar der Vorhelm-Schichten jünger sein muß als diese (höheres Campan), läßt es sich wahrscheinlich mit der regional verbreiteten Inversionsphase zwischen Santon und Maastricht in Verbindung bringen. Prinzipiell ist aber auch eine Entstehung während einer noch jüngeren, eventuell erst post-oligozänen Bewegungsphase denkbar. Eine mögliche Beteiligung von Horizontalbewegungen an Quartärzeitlichen Störungen im südwestlichen Münsterland wurde von WREDE & JANSEN (1993) beschrieben.

Die oberkretazische Inversionsphase ist überall in der Umrahmung des Münsterlandes nachweisbar: im gesamten Ruhrbecken (DROZDZEWSKI 1982; DROZDZEWSKI & WREDE 1994; WREDE 1992, 2000), im Bereich der Niederrheinischen Bucht (DROZDZEWSKI et al. 1998; WOLF 1985) und im Bereich des Osnings (DROZDZEWSKI 1988; HAGLAUER-RUPPEL 1991). Die Kritik, die BALDSCHUHN & KOCKEL (1999) an der Vorstellung horizontaler Bewegungen im Bereich vor allem des Osning-Lineaments äußern, widerspricht diesen Beobachtungen nur vordergründig. Sie diskutieren lediglich das durch VAN TONGEREN (1996) dargestellte Modell, nach dem an der Osning-Störung Horizontalverschiebungen in der Größenordnung von 15 km stattgefunden haben sollen. Sie verkennen aber, dass nach den geometrischen Ableitungen von WREDE (1988, 1992; vergl. auch KÖNIG & WREDE 1994) bereits Horizontalverwürfe von wenigen Hundert Metern ausreichen dürften, um die am Osning beobachteten Transpressionsstrukturen zu erklären (HAGLAUER-RUPPEL 1991). Die umfangreichen Untersuchungen der jüngeren Vergangenheit insbesondere im Ruhrbecken und im Niederrheingebiet, wo sowohl das „saxonische Tafeldeckgebirge“ wie auch der variscisch konsolidierte „Sockel“ aufgeschlossen sind, haben gezeigt, dass gerade zwischen der spätkretazischen Inversionstektonik des Deckgebirges und horizontalen Scherbewegungen im Sockel enge Beziehungen bestehen (DROZDZEWSKI 1988; DROZDZEWSKI & WREDE 1994; WREDE 1992). Die neuen Beobachtungen aus dem Raum Beckum fügen diesem Bild eine weitere Facette hinzu.

## Danksagung

Der Betriebsleitung der Firma Readymix Westzement GmbH & Co.KG (Beckum) sei für ihr bereitwilliges Entgegenkommen und die großzügige Unterstützung während der Geländekampagne gedankt.

## 4 Verzeichnis der Schriften

- ALLKÄMPER, D. (1985): Das Beckumer Zementrevier. – Westfalen im Bild, Reihe Westfälische Industrieräume, **1**: 1 – 29; Münster.
- ARNOLD, H. (1964 a): Zur Lithologie und Zykliz des Beckumer Campan. – Fortschr. Geol. Rheinl. Westf., **7**: 577 – 598; Krefeld.
- ARNOLD, H. (1964 b): Zur Klüftung der Münsterländer Oberkreide. – Fortschr. Geol. Rheinl. Westf., **7**: 611 – 620; Krefeld.
- BALDSCHUHN, R. & KOCKEL, F. (1999): Das Osning-Lineament am Südrand des Niedersachsenbeckens. – Z. dt. geol. Ges., **150**: 673 – 695; Stuttgart.
- BARTLETT, W. L. & FRIEDMANN, M. & LOGAN, J. M. (1981): Experimental folding and fracturing of rocks under confining pressure. – Tectonophysics, **79**: 255 – 277; Amsterdam.

- BAUCH, E. (2000): Aufnahme und Interpretation der Strukturen im Campan von Beckum / NRW und deren Bezug zum oberkarbonischen Unterlager am Südrand des Münsterlandes. – Dipl.-Arbeit Inst. f. geol. Wissensch. d. Martin-Luther-Univ. Halle: 109 S., 25 Abb., Anhang, 8 Anlagen; Halle /S. [unveröff.].
- BÜTHE, F. (1996): Struktur und Stoffbestand des Ilfelder Beckens – geodynamische Analyse einer intramontanen Rotliegend-Molasse. – Braunsch. geowiss. Arb., **20**: 119 S.; Braunschweig.
- DOMRÖS, M. & VOMBERG, S. (1989): Strukturgeologische Steinbruchskartierung im Obercampan von Beckum. – Dipl. Kart. Univ. Bochum, 82 S.; Bochum [unveröff.].
- DROZDZEWSKI, G. (1982): Horizontale Verschiebungen an Quer- und Diagonalstörungen im Ruhrrevier. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **30**: 47 – 60; Krefeld.
- DROZDZEWSKI, G. (1988): Die Wurzel der Osning-Überschiebung und der Mechanismus herzynischer Inversionsstörungen in Mitteleuropa. – Geol. Rdsch., **77/1**: 127 – 141; Stuttgart.
- DROZDZEWSKI, G. & JANSEN, F., KUNZ, E., PIEPER, B., RABITZ, A., STEHN, O. & WREDE, V. (1982): Geologische Karte des Ruhrkarbons 1 : 100 000, dargestellt an der Karbonoberfläche – Geol. Landesamt Nordrh.-Westf.; Krefeld.
- DROZDZEWSKI, G. & WREDE, V. (1994): Faltung und Bruchtektonik – Analyse der Tektonik im Subvariscikum. – Fort. Geol. Rheinl. Westf., **38**: 7 – 187; Krefeld.
- DROZDZEWSKI, G. & HISS, M., LEHMANN, F., MICHEL, G., SKUPIN, K., STAUDE, H., THIERMANN, A., DAHM-ARENS, H. & FINKE, W. (1995): Geologie im Münsterland. – 195 S., 50 Abb., 6 Tab., 1 Taf.; Krefeld (Geol. Landesamt Nordrh.-Westf.).
- DROZDZEWSKI, G. & KLOSTERMANN, J. & RIBBERT, K.-H. & WREDE, V. & ZELLER, M. (1998): Sedimentation und Tektonik im Paläozoikum und Postpaläozoikum der Niederrheinischen Bucht. – Fortschr. Geol. Rhld. u. Westf., **37**: 573 – 583, 4 Abb.; Krefeld.
- ELFERS, H. (1987): Erläuterungen zur Ausbildung und Verbreitung der Stromberger, Beckumer und Vorhelmer Schichten auf Blatt 4214 Beckum NW. – Geol. Landesamt Nordrh.-Westf.; Krefeld. – [unveröff.].
- GESING, M. (1995): Der Strontianitbergbau im Münsterland. – Quellen und Forschungen zur Geschichte des Kreises Warendorf, **28**: 647 S.; Warendorf.
- GIERS, R. (1958): Die Mukronatenkreide im östlichen Münsterland – Fazies, Stratigraphie und Lagerung. – Beih. Geol. Jb., **34**: 148 S.; Hannover.
- HAGLAUER-RUPPEL, B. (1991): Kinematik und Begleitstrukturen von Scherzonen – Experimente und Beispiele Mitteleuropas (mit besonderer Berücksichtigung des Osning-Lineaments). – Diss. Ruhr-Univ. Bochum, 223 S.; Bochum [unveröff.].
- HARDING, T. P. (1985): Seismic characteristic sand identification of negative flower structures, positive flower structures, and positive structural inversion. – Am. Ass. Petr. Geol. Bull., **69**: 582 – 600; Tulsa/Okl.
- HARDING, T. P. & LOWELL, J. D. (1979): Structural styles, their plate tectonic habitats and hydrocarbon traps in petroleum provinces. – Bull. amer. Assoc. Petrol. Geol., **63**: 1016 – 1058, 29 fig.; Tulsa/Okl.
- HEIMBACH, W. (1958): Tektonische und gravitative Deformation in der Trias Unterfrankens. – Diss. Geol. Inst. Univ. Würzburg, 73 S.; Würzburg. – [unveröff.].
- KÖNIG, S. & WREDE, V. (1994): Zur Tektonik der Harzränder. – Zt. dt. geol. Ges., **145**: 153 – 171, 11 Abb.; Hannover.
- KUNZ, E. & WREDE, V. (1988): Ergänzende Untersuchungen zur Tiefentektonik der Essener Hauptmulde im östlichen Ruhrgebiet. – In: Ergänzende Beiträge zur Tiefentektonik des Ruhrkarbons: 53 – 61; Krefeld.
- SPEHLING, H. (1973): Die Erzgänge des Erzbergwerkes Grund (Silbernaaler Gangzug, Bergwerksglucker Gang und Laubhütter Gang). – Geol. Jb., **D2**: 205 S.; Hannover.



- THIENHAUS, R. (1962): Stratigraphie, Tektonik und Eisenführung des Lias-Muldengrabens von Bislich am Niederrhein. – Fortschr. Geol. Rheinld. u. Westf., **6**: 199 – 218; Krefeld.
- TONGEREN, VAN, P.C.H. (1996): The Gronau fault zone: its tectonic setting and relation to the formation of the Ems graben and to Carboniferous sedimentation in Twente (the Netherlands). – Med. Rijks geol. Dienst, **55**: 107 – 145, 27 Abb.; Haarlem.
- VOIGT, E. & HÄNTZSCHEL, W. (1964): Gradierte Schichtung in der Oberkreide Westfalens. – Fortschr. Geol. Rheinld. Westf., **7**: 495 – 548; Krefeld.
- WOLF, E.-O. (1995): Sedimentologie, Paläogeographie und Faziesentwicklung der Allochthonite des Campan von Beckum/Zentrales Münsterland. – Berl. geowiss. Abh., **E 16**: 305 – 333; Berlin.
- WOLF, E.-O. (1998): Campanian of Beckum. – In: MUTTERLOSE, J., BORNEMANN, A., RAUER, S., SPAETH, C. & WOOD, C. J. (eds.): Key localities of the Northwest European Cretaceous. – Boch. Geol. Geotech. Arb., **48**: 186–198; Bochum.
- WOLF, R. (1985): Tiefentektonik des linksniederrheinischen Steinkohlengebietes. – In: Beiträge zur Tiefentektonik westdeutscher Steinkohlenlagerstätten: 105 – 167; Krefeld.
- WREDE, V. (1988): Der nördliche Harzrand – flache Abscherbahn oder wrench-fault-system? – Geol. Rdsch., **77/1**: 101 – 114; Stuttgart.
- WREDE, V. (1992): Störungstektonik im Ruhrkarbon. – Z. angew. Geol., **38/2**: 94 – 104; Hannover.
- WREDE, V. (1997): Der Aufschluß der nördlichen Harzrandstörung bei Blankenburg-Michaelstein und seine Bedeutung für die Interpretation dieser Störungszone. – Mitt. Geol. Sachsen-Anhalt, **3**: 79 – 88; Halle.
- WREDE, V. m. Beitr. von A. VIETH-REDEMANN, B. MEYER & W. PAAS (2000): Geologische Karte von Nordrhein-Westfalen 1 : 25 000 mit Erläuterungen; Blatt 4407 Bottrop; 144 S., 19 Abb., 14 Tab., 3 Taf.; Krefeld.
- WREDE, V. & JANSEN, F. (1993): Nachweis quartärzeitlicher Bruchtektonik im Ruhrgebiet. – N. Jb. Geol. Paläont. Mh., **12**: 733 – 48; Stuttgart



<b>scriptum</b>	<b>10</b>	19 – 35, 1 Tab., 8 Anl.	Krefeld 2003
-----------------	-----------	-------------------------	--------------

# Methodenvergleiche zur Bestimmung von Schwermetallgehalten in natürlichen Böden

Von Burkhard Lüer und Udo Wolf\*

## Inhalt

<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	20
<b>2</b>	<b>Experimentelles</b> .....	21
	2.1 Probenmaterial .....	21
	2.2 Probenpräparation .....	22
	2.3 Messgeräte .....	22
	2.4 Qualitätssicherung .....	23
<b>3</b>	<b>Auswertung und Bewertung der Ergebnisse</b> .....	23
	3.1 Cadmium (Cd) .....	23
	3.2 Chrom (Cr) .....	23
	3.3 Kupfer (Cu) .....	24
	3.4 Eisen (Fe) .....	24
	3.5 Mangan (Mn) .....	24
	3.6 Nickel (Ni) .....	25
	3.7 Blei (Pb) .....	25
	3.8 Zink (Zn) .....	25
<b>4</b>	<b>Abschließende Betrachtung</b> .....	26
<b>5</b>	<b>Verzeichnis der Schriften</b> .....	26
<b>6</b>	<b>Anlagen</b> .....	27

---

\* Anschrift des Autors: Dipl.-Chem. Dr. Burkhard Lüer & Dipl.-Ing. Udo Wolf, Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb –, De-Greif-Strasse 195, D-47803 Krefeld

**Zusammenfassung:** Für die Elemente Cadmium, Chrom, Kupfer, Eisen, Mangan, Nickel, Blei und Zink in Böden werden die Analysenergebnisse zwischen verschiedenen Untersuchungsverfahren auf Vergleichbarkeit geprüft. Zur Anwendung kommen die wellenlängendispersive Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA) mit Messungen am Pulverpressling und zwei nasschemische Aufschlussverfahren mit Salzsäure und Salpetersäure. Die eingesetzten Säuren sind zwar nicht in der Lage, die vorhandenen Silikate vollständig zu lösen, jedoch können mit Ausnahme von Chrom die betrachteten Schwermetalle mit meist hoher Ausbeute extrahiert werden. Zum Einsatz kommt ein im Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen (heute Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen<sup>\*)</sup> entwickelter mikrowellenunterstützter Aufschluss unter Druck und ein druckloser Königswasseraufschluss. Die Messungen der Aufschlusslösungen mit der ICP-OES (optische Emissionsspektroskopie mit induktiv gekoppeltem Plasma) und GF-AAS (Graphitrohrfurnen-Atomabsorptionsspektroskopie) haben eine höhere Nachweisempfindlichkeit und eine geringere Störanfälligkeit bezüglich der Probenmatrix als die direkte Feststoffanalytik mittels Röntgenfluoreszenzanalyse.

### **[Comparison between different methods for the determination of heavy metals in natural soils]**

**Summary:** The elements Cadmium, Chromium, Copper, Iron, Manganese, Nickel, Lead and Zinc in soil samples are analysed using different analytical methods. The following methods are compared: the pressed-powder method using wavelength dispersive X-ray fluorescence spectrometry (RFA), and two digestive methods using hydrochloric and nitric acid analysed by ICP-OES (Inductively Coupled Plasma – Optical Emission Spectrometry) such as GF-AAS (Graphite Furnace – Atomic Absorption Spectrometry). For the digestive methods, a microwave-assisted preparation under pressure and an aqua regia extraction under normal pressure were carried out in the laboratory of the Geologisches Landesamt Nordrhein-Westfalen. The acids used are not able to dissolve the silicates completely. The extraction yields for the heavy metals, see above, are mostly high with the exception of Chromium. In contrast to the RFA, the measurements of the ICP-OES and GF-AAS are much more sensitive and not so much influenced by matrix effects.

## **1 Einführung**

Seit Anfang der 1970er-Jahre werden im Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen Bodenuntersuchungen an Pulverpresslingen mittels RFA durchgeführt. Die Bestimmung liefert für jedes der untersuchten Elemente den Totalgehalt. Für zuverlässige Analysen bedarf es einer großen Anzahl an Vergleichsproben, die in ihrer Zusammensetzung dem zu untersuchenden Probenmaterial ähneln müssen (HAHN-WEINHEIMER & HIRNER & WEBER-DIEFENBACH 1995). Erst seit jüngerer Vergangenheit kann im erforderlichen Umfang auf zertifizierte Boden- und Gesteinsproben mit genügender Variationsbreite bezüglich des Chemismus zurückgegriffen werden, die eine umfassende Kalibrierung des Röntgenfluoreszenzspektrometers für eine Vielzahl von Spurenelementen ermöglicht. Methodisch bedingt lassen sich an Boden- und Gesteinsproben Bestimmungsgrenzen meist zwischen 1 und 10 mg/kg mit der wellenlängendispersiven Röntgenfluoreszenzspektrometrie realisieren. Im Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen wurde der Untersuchungsumfang bei der Röntgenfluoreszenzspektrometrie von anfänglich fünf Elementen (Cadmium, Kupfer, Nickel, Blei und Zink) auf insgesamt 19 Elemente erweitert (zusätzlich Arsen, Barium, Calcium, Cobalt, Chrom, Eisen, Gallium, Kalium, Mangan, Rubidium, Strontium, Titan, Yttrium, Vanadium). Für einige umweltrelevante Elemente wie Cadmium reicht die Empfindlichkeit der Röntgenfluoreszenzspektrometrie in der Regel nicht aus.

Seit 1991 werden deshalb neben der Röntgenfluoreszenzspektrometrie im verstärkten Maße nasschemische Verfahren zur Elementgehaltsbestimmung im Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen entwickelt und eingesetzt. Sie zielen darauf ab, Elementgehalte auch unterhalb von 1 mg/kg bestimmen zu können. Ausserdem lassen sich auf diesem Wege auch Proben mit sehr unterschiedlichen Matrices genau analysieren. Im Vergleich dazu verlangt die direkte Feststoffanalytik mittels Röntgenfluoreszenzspektrometrie jeweils eine

---

<sup>\*)</sup> Am 1. Januar 2001 wurde das Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen in einen Landesbetrieb überführt und trägt seitdem die Bezeichnung Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen, die im Folgenden auch für die Zeit vor der Umbenennung angewandt wird.

an die Probenart angepasste Kalibrierung, für die es das erforderliche zertifizierte Referenzmaterial oft nicht oder nicht im erforderlichen Umfang gibt (z. B. Humus, Torf, Erze, Kohle, technogene Materialien).

Im Rahmen der Bodenzustandserhebung im Wald (BZE 1994) wurden im großen Umfang erstmals nasschemische Aufschlüsse im Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen durchgeführt. Insgesamt erfolgten Analysen an 809 Humus- sowie 2 712 Mineralbodenproben aus Nordrhein-Westfalen (Entnahmetiefe bis maximal 90 cm). Diese wurden inzwischen statistisch ausgewertet und für die Ableitung von Hintergrundwerten bei forstlich genutzten Böden herangezogen (Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen 1999). Für die Bestimmung der Elemente kam ein zweistufiger mikrowellenunterstützter Aufschluss unter Druck zur Anwendung. Die Parameter (Zeit, Druck, Proben- und Säuremengen) wurden auf maximale Aufschlussaubeute optimiert. Auf den Einsatz von Flusssäure, der für einen vollständigen Aufschluss auch der Silikate nötig gewesen wäre, wurde aus Arbeitssicherheits- und apparativen Gründen verzichtet. Die Voruntersuchungen im Rahmen der Methodenentwicklung zeigten, dass mit dem zweistufigen mikrowellenunterstützten Aufschluss unter Druck für die meisten Schwermetalle (Cadmium, Kupfer, Eisen, Mangan, Nickel, Blei und Zink) näherungsweise Totalgehalte ermittelt werden (Ausnahme Chrom).

Der mikrowellenunterstützter Aufschluss kam nach Beendigung der Bodenzustandserhebung im Wald nicht mehr in der Routineanalytik zum Einsatz, da die nicht hinreichende Standardisierbarkeit des Aufschlusses einen Vergleich der Ergebnisse mit anderen Laboratorien nur eingeschränkt ermöglichte (Deutscher Waldbodenbericht 1996). Aus chemisch-analytischer Sicht bestehen zwischen dem mikrowellenunterstützten Aufschluss und dem klassischen Königswasserverfahren große Ähnlichkeiten, da in beiden Fällen Salzsäure und Salpetersäure zur Anwendung kommen. Allerdings gibt es bezüglich der Aufschlussparameter deutliche Unterschiede. Beim mikrowellenunterstützten Aufschluss werden unter Druck höhere Temperaturen erzeugt, woraus eine bessere Aufschlusseffizienz resultiert. Das gut standardisierte Königswasserverfahren hat demgegenüber den Vorteil, dass es einen festen Platz in zahlreichen Regelwerken besitzt und dadurch in der Praxis häufig zum Einsatz kommt. So ist beispielsweise in der Klärschlammverordnung (AbfKlärV 1992) geregelt, dass Boden und Klärschlamm vor ihrer Aufbringung auf die Elemente Cadmium, Chrom, Kupfer, Quecksilber, Nickel, Blei und Zink zu untersuchen sind. Auch in der Durchführungsverordnung zum Bundesbodenschutzgesetz (BBodSchV 1999) ist das Königswasserverfahren vorgesehen. Darüber hinaus findet es im Bereich der Waldbodenanalytik eine breite Anwendung. Nach der Arbeitsanleitung zur Bodenzustandserhebung im Wald werden organische Auflagen vorzugsweise nach diesem Verfahren untersucht (BZE 1994). Man sollte sich aber bei Interpretationen der Ergebnisse vergegenwärtigen, dass das Königswasserverfahren nur für wenige Elemente annähernd die Totalgehalte liefert und weder die pflanzenverfügbaren noch die verlagerbaren Anteile eines Elementes anzeigt (RUPPERT 1990; HORNBERG & LÜER 1999). Für geochemische Fragestellungen ist es daher kaum geeignet.

Die vorliegenden Untersuchungen sollen primär klären, ob der im Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen entwickelte mikrowellenunterstützter Aufschluss für die Schwermetalle Chrom, Kupfer, Eisen, Mangan, Nickel, Blei und Zink mit der Röntgenfluoreszenzanalyse vergleichbare Gehalte bei Mineralböden liefert. Der Datenbestand der Röntgenfluoreszenzanalysen jüngeren Datums (1995 – 1999) umfasst ungefähr 5 000 Mineralbodenproben und nimmt jährlich um 1 000 – 1 500 Analysen zu. Wegen seiner großen Bedeutung im behördlichen Vollzug wird zusätzlich das Königswasserverfahren in die Betrachtungen einbezogen.

## **2 Experimentelles**

### **2.1 Probenmaterial**

Untersucht wurde der Feinboden (< 2 mm) von 15 Mineralbodenproben des Probenbestandes der Bodenzustandserhebung im Wald aus einer Entnahmetiefe von 0 – 90 cm. Ausgewählt wurden jeweils 5 sandige, schluffige und tonige Bodenproben mit einem breiten Konzentrationsspektrum bezüglich der umweltrelevanten Spurenelemente. Das Mahlen auf Analysenfeinheit erfolgte mit einer Scheibenschwingmühle der Firma Siebtechnik (Typ: 6 Topf; Material: Wolframcarbid).

## 2.2 Probenpräparation

### Pulverpressling:

Für die Röntgenfluoreszenzanalyse werden etwa 5 g des analysenfeinen Bodenmaterials mit einer Hochdruckpresse (Firma Herzog; Modell: HTP 40) bei 1250 kg/cm<sup>2</sup> auf einen Borsäuremantel gepresst.

Insgesamt stehen für die Kalibrierung folgende 28 zertifizierte Boden- und Gesteinsproben zur Verfügung, die über die Firma Breitländer<sup>1)</sup> (BCR 141 bis 146, GB 07106, GB 07108, GB 07238, GB 07401, GB 07403, GB 07404, GB 07406, GB 07407, GB 07408, GB 07409, GB 07411, TSO2, VS 2498, VS 3193-85, VS 2508-83, T TILL-1, UN MK 2889) und dem Institut Travaux du Centre de Recherches Pétrographiques et Géochimiques (BR, Mica-Fe, Diorite, Serpentine, Bauxite) bezogen wurden. Die zertifizierten Werte letztgenannter Proben wurden von H. DE LA ROCHE & GOVINDARAJU (1971) publiziert. Für spezielle Matrices stehen weitere Kalibrier- und Vergleichsproben zur Verfügung (z. B. DT GYPD<sup>1)</sup>).

### Mikrowellenunterstützter Aufschluss unter Druck (MWDA):

Für den Druckaufschluss kommt ein System der Firma CEM (Typ MDS-2000) mit Teflon-Aufschlussbehältern zum Einsatz. Die Durchführung des auf maximale Aufschlussausbeute entwickelten Verfahrens erfolgt in zwei Schritten bei Verwendung von Salpetersäure (HNO<sub>3</sub>), Wasserstoffperoxid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) und Salzsäure (HCl) mit suprapur Qualität. Die genauen Versuchsbedingungen gehen aus Tabelle 1 hervor.

Tabelle 1  
Parameter für den mikrowellenunterstützten Aufschluss

Programmschritt	1. Stufe 500 mg Probe + 6 ml HNO <sub>3</sub> + 1 ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> *					2. Stufe Zugabe von 2 ml HCl			
	1	2	3	4	5	1	2	3	4
Druck (bar)**	2	4	7	10	12	2	4	7	0
Aufheizzeit (Minuten)***	10	10	15	10	45	10	10	15	45

\* die H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Zugabe erfolgt zur Verminderung der Bildung nitroser Gase

\*\* der eingestellte Druck wird jeweils 5 Minuten gehalten

\*\*\* die Aufheizung erfolgt mit 95 % der Magnetronleistung; definierte Temperaturen lassen sich nicht einstellen (T<sub>max</sub> ≈ 190 °C)

### Königwasseraufschluss (KW):

Der Königwasseraufschluss wurde unter Normaldruck mit einer standardisierten Apparatur der Firma Gerhard (Typ: SMA 20 A) gemäß der Arbeitsanleitung der Bodenzustandserhebung im Wald durchgeführt (BZE 1994). Eingesetzt wurden 1 g Probe und 20 ml Königswasser (15 ml konz. Salzsäure + 5 ml konz. Salpetersäure *suprapur*).

## 2.3 Messgeräte

Bei der Röntgenfluoreszenzanalyse<sup>2)</sup> kam ein Gerät der Firma Siemens (Typ: SRS 3000 mit Rhodium-Stirnfensterrohre) zum Einsatz. Für die Atomabsorptionsspektrometrie stand ein kombiniertes Graphitrohr-Ofen / Flammen-Spektrometer der Firma Perkin Elmer (Typ: 5100 PC) zur Verfügung. Die ICP-Messungen wurden mit Simultan-Spektrometern der Firmen ARL (Typ: 34000) und Thermo Jarrell Ash (Typ: IRIS AP) durchgeführt.

<sup>1)</sup> Anschrift: Breitländer – Eichproben und Labormaterial GmbH, Hans-Sachs-Str. 12, D-59077 Hamm

<sup>2)</sup> Danksagung: Dank gilt Herrn Peter Kox für die zuverlässige Durchführung aller röntgenfluoreszenzspektroskopischen Arbeiten.

## 2.4 Qualitätssicherung

Es werden mit jedem Ansatz hauseigene Standards oder zertifizierte Standards analysiert. Quartalsweise erfolgt die Teilnahme am ISE-Ringanalysenprogramm (International Soil-Analytical Exchange)<sup>3)</sup>. Außerdem erfolgt die Teilnahme an den Ringanalysen der AG Forstliche Analytik (BZE 1994).

## 3 Auswertung und Bewertung der Ergebnisse

Zu den einzelnen Proben finden sich die Ergebnisse und Auswertungen in den Anlagen 1 – 8. Dort sind auch die berechneten Mittelwerte nach den Verfahren Röntgenfluoreszenzanalyse (RFA), mikrowellenunterstützter Druckaufschluss (MWDA) und Königswasserextrakt (KW) jeweils grafisch dargestellt. Im weiteren werden die Ergebnisse unter Einbeziehung von Proben des ISE-Ringanalysenprogramms sowie zertifizierter Standardproben diskutiert (HORNBERG & LÜER 1999).

### 3.1 Cadmium (Cd)

Für Cadmium liegen aufgrund der Bestimmungsgrenze bei der Röntgenfluoreszenzspektrometrie (2 – 3 mg/kg) keine auswertbaren Daten vor. Statistische Untersuchungen an ISE- und zertifizierten Proben zeigen aber, dass mit dem Königswasserverfahren hohe Extraktionsausbeuten bezogen auf den Totalgehalt erreicht werden. Sie betragen 83 % für das ISE-Probenkollektiv und 91 % für das zertifizierte Material.

Die nach dem mikrowellenunterstützten Druckaufschluss und Königswasserverfahren erzielten Cadmiumwerte der vorliegenden Untersuchung sind miteinander gut vergleichbar. Die absolute maximale Abweichung zwischen beiden Verfahren beträgt 0,03 mg/kg. Der Wert liegt damit im Bereich der Messgenauigkeit der Graphitrohrföfen-AAS. Im Mittel errechnet sich für den mikrowellenunterstützten Druckaufschluss eine etwas höhere Aufschluss-Effizienz gegenüber dem Königswasserextrakt.

Unter Berücksichtigung der in der Literatur beschriebenen Extraktionsausbeuten beim Königswasser-aufschluss und der deutlich günstigeren Aufschlussbedingungen beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss können die Ergebnisse aus dem Druckaufschluss als Totalgehalte aufgefasst werden.

### 3.2 Chrom (Cr)

Die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse zeichnen sich im Vergleich zum mikrowellenunterstützten Druckaufschluss durch eine höhere Reproduzierbarkeit aus. Die zum Teil deutlichen Streuungen beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss sind vermutlich auf eine unzureichende Kontrolle der Aufschlussbedingungen zurückzuführen. Neben der Zeit ist vor allem die Temperatur der entscheidende Parameter für den Aufschluss, der aber mit dem verfügbaren Mikrowellensystem nicht hinreichend kontrollierbar ist. Dies wirkt sich bei refraktären Mineralien bezüglich der Reproduzierbarkeit der Ergebnisse entsprechend negativ aus. Insgesamt betrachtet lassen sich die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalysen und die des mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses aufgrund der weiten Spanne der Extraktionsausbeute (Minimum 26 %, Maximum 107 %) nur sehr eingeschränkt miteinander vergleichen. Eine sehr gute Extraktionsausbeute mit Werten oberhalb von 90 % werden bei 6 von 15 Proben erreicht. Extraktionsausbeuten >100 % befinden sich in allen Fällen im Rahmen der Messgenauigkeit.

---

<sup>3)</sup> Anschrift: WEPAL – Wageningen Evaluating Programmes for Analytical Laboratories, PO Box 8005, NL-6700 EC Wageningen, The Netherlands.

Im Vergleich zum Königswasserextrakt ist die Aufschlusseffizienz des mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses erheblich höher. Bei den 15 untersuchten Proben werden beim Königswasserverfahren stets niedrigere Gehalte bestimmt. Mit 47 % bezogen auf die Röntgenfluoreszenzanalyse ist die mittlere Königswasserextraktionsausbeute dem Ergebnis der ISE-Proben nahe. Beim ISE-Ringanalysenprogramm wurde ein Wert von 54 % ermittelt. Der im Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen entwickelte zweistufige Druckaufschluss mit  $\text{HNO}_3/\text{H}_2\text{O}_2$  und HCl erreicht demgegenüber im Mittel eine erheblich höhere Extraktionsausbeute von 79 % Cr.

Zwischen den drei Analysenverfahren ist ein direkte Vergleich der Ergebnisse aufgrund der weiten Spanne bei der Extraktionsausbeuten unsicher.

### 3.3 Kupfer (Cu)

Bei 7 von 15 Proben werden sehr gute Extraktionsausbeuten mit dem mikrowellenunterstützten Druckaufschluss bezogen auf die Röntgenfluoreszenzanalysen erreicht ( $\geq 90\%$ ). 6 Proben weisen Ausbeuten unterhalb von 80 % auf. Bei ihnen handelt es sich stets um den niedrigen Konzentrationsbereich für Kupfer ( $\leq 11\text{ mg/kg}$ ). Da sich die Röntgenfluoreszenzanalyse in diesen Fällen in der Nähe der Bestimmungsgrenze (5 mg/kg) befindet und die Werte damit einer erhöhten Messunsicherheit unterliegen, ist dies bei der Bewertung entsprechend zu beachten. Die Extraktionsausbeuten der Proben 7, 8 und 9 mit  $>100\%$  sind im Rahmen der in der Routine erreichbaren Analysengenauigkeit als normal anzusehen.

Die mittlere Extraktionsausbeute des mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses mit 84 % ist gut vergleichbar mit dem des Königswasserverfahrens, das 82 % liefert. Auswertungen von ISE-Proben führen zu 88 %, zertifizierte Standards zu 95 % Ausbeute.

Unter Berücksichtigung der mit der Röntgenfluoreszenzspektrometrie erreichbaren Genauigkeit sowie den allgemein akzeptablen Extraktionsausbeuten lässt sich abschließend sagen, dass beim Kupfer ein näherungsweise direkt Vergleich der Werte zwischen den drei Analysenverfahren gegeben ist.

### 3.4 Eisen (Fe)

Im Fall von Eisen werden gute Extraktionsausbeuten mit dem mikrowellenunterstützten Druckaufschluss erreicht. Bei der Probe 8 ist das Ergebnis der Röntgenfluoreszenzanalyse gegenüber dem mikrowellenunterstützten Druckaufschluss und dem Königswasserextrakt zu niedrig. Damit stellt der Wert der Röntgenfluoreszenzanalyse offensichtlich einen Ausreißer dar. Ohne Berücksichtigung der Probe 8 errechnet sich der Mittelwert für den mikrowellenunterstützten Druckaufschluss zu 90 %, für den Königswasserextrakt zu 81 %. Die Probe 5 mit über 100 % Ausbeute befindet sich hingegen im Rahmen der analytischen Genauigkeit.

Die Extraktionsausbeute beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss differiert merklich weniger vom Gesamtgehalt als die Ergebnisse des klassischen Königswasserextrakts. Die Auswertungen von ISE-Proben führen beim Königswasserverfahren zu einem sehr ähnlichen Ergebnis mit 86 % Ausbeute.

### 3.5 Mangan (Mn)

Mit dem mikrowellenunterstützten Druckaufschluss wird in der Regel eine sehr gute Extraktionsausbeute erreicht, die mit 93 % im Mittel sehr hoch ausfällt. Die Extraktionsausbeute des mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses ist mit dem des Königswasserverfahrens innerhalb der Analysengenauigkeit vergleichbar. Extraktionsausbeuten oberhalb 100 % liegen mit Ausnahme der etwas auffälligen Probe 8 beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss innerhalb der analytisch erreichbaren Genauigkeit. Beim Königswasserverfahren errechnet sich im Mittel eine Extraktionsausbeute von 92 %. Im Vergleich hierzu werden bei ISE-



Proben 88 %, im Falle zertifizierter Standards 91 % erreicht. Insgesamt sind die Ergebnisse sehr gut übereinstimmend. Damit lassen sich näherungsweise die Mangan-Gehalte von Röntgenfluoreszenzspektrometrie, mikrowellenunterstützten Druckaufschluss und Königswasserverfahren direkt miteinander vergleichen.

### 3.6 Nickel (Ni)

Die Schwankungsbreiten für die Ausbeuten beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss mit 42 – 144 % bzw. beim Königswasserextrakt mit 39 – 121 % sind relativ weit. In allen Fällen erweist sich der mikrowellenunterstützte Druckaufschluss gegenüber dem Königswasserverfahren als effizienter.

Die Ergebnisse der Röntgenfluoreszenzspektrometrie zeigen bei den Proben 2, 8 und 12 erhöhte Streuungen der Einzelmesswerte. Auf Unsicherheiten der röntgenfluoreszenzspektrometrischen Messungen weisen die Proben 5, 7 und 8 hin (Extraktionsausbeute > 100 % für den mikrowellenunterstützten Druckaufschluss und den Königswasserextrakt). Aufgrund der weiten Spanne ist ein direkter Vergleich zwischen Röntgenfluoreszenzanalyse und mikrowellenunterstützten Druckaufschluss trotz guter mittlerer Extraktionsausbeute (85 %) nur eingeschränkt möglich. Entsprechendes gilt insbesondere für das Königswasserverfahren, das im Mittel nur 75 % Ausbeute erreicht.

Im Gegensatz zu den vorliegenden Untersuchungen werden bei ISE-Proben mit 81 % und bei zertifiziertem Standardmaterial mit 94 % höhere Extraktionsausbeuten mittels Königswasser beobachtet. Diese ähneln mehr dem des mikrowellenunterstützten Druckaufschluss.

### 3.7 Blei (Pb)

Es werden meist gute bis sehr gute Extraktionsausbeuten mit dem mikrowellenunterstützten Druckaufschluss erreicht, die im Mittel zu 91 % führen. Die Extraktionsausbeute des mikrowellenunterstützten Aufschlusses ist gegenüber dem des Königswasserfahrens (78 %) deutlich höher. Ausbeuten oberhalb 100 % liegen innerhalb der analytisch erreichbaren Genauigkeit.

Auch die Ergebnisse der ISE- und zertifizierten Proben liefern für den Königswasserextrakt vergleichbare mittlere Ausbeuten von 75 % bzw. 78 %.

Insgesamt differieren die Analysenergebnisse der Röntgenfluoreszenzanalyse von denen des mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses deutlich weniger und lassen im Gegensatz zum Königswasserverfahren so einen näherungsweise direkten Vergleich zu.

### 3.8 Zink (Zn)

Beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss werden durchgehend gute bis sehr gute Extraktionsausbeuten mit mindestens 83 % des Totalgehaltes erreicht. Die mittlere Extraktionsausbeute des mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses von 94 % ist gegenüber dem Königswasserverfahren mit 87 % etwas höher. Der Mittelwert für den Königswasserextrakt ist dem der ISE- (86 %) und zertifizierter Proben (91 %) ähnlich.

Insgesamt differieren die Analysenergebnisse der Röntgenfluoreszenzspektrometrie von denen des mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses nicht sehr stark, sodass näherungsweise ein direkter Vergleich zwischen beiden Verfahren möglich ist.

## 4 Abschließende Betrachtung

Für Eisen (90 %), Mangan (93 %), Blei (91 %), Zink (94 %) werden beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss sehr gute mittlere Extraktionsausbeuten – bezogen auf die mit der Röntgenfluoreszenzanalyse ermittelten Totalgehalte – erreicht. Die Ausbeute beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss für Kupfer von 84 % ist ebenfalls hoch. In guter Näherung ist für die 5 genannten Elemente ein direkter Vergleich zwischen Röntgenfluoreszenzanalyse und mikrowellenunterstütztem Druckaufschluss möglich.

Für Nickel wird beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss mit 85 % zwar eine hohe mittlere Extraktionsausbeute erreicht, jedoch ist die Spanne von 42 bis 144 % sehr weit. Dies beeinträchtigt die Vergleichsmöglichkeit zwischen mikrowellenunterstütztem Druckaufschluss und Röntgenfluoreszenzanalyse. Im Falle von Chrom wird mit 79 % eine befriedigende mittlere Extraktionsausbeute beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss erreicht. Allerdings ist die Spanne für die Extraktionsausbeute von 26 – 107 % wie beim Nickel beträchtlich.

Cadmium lässt sich bei Bodenproben mit der Röntgenfluoreszenzspektrometrie aufgrund der zu hohen Bestimmungsgrenze von 2 mg/kg in der Regel nicht quantifizieren. Die mittels mikrowellenunterstütztem Druckaufschluss und Königswasserverfahren erzielten Cadmium-Werte sind miteinander gut vergleichbar. Die Ergebnisse auf Basis des mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses können aufgrund der guten Aufschluss-Effizienz als Totalgehalte angesehen werden.

Im Vergleich zum Königswasserverfahren werden beim mikrowellenunterstützten Druckaufschluss für alle Elemente höhere mittlere Extraktionsausbeuten erreicht. Beim Kupfer (2 %) und Mangan (1 %) sind die Unterschiede klein und praktisch vernachlässigbar, für Eisen (9 %), Blei (13 %), Zink (7 %) sowie Nickel (10 %) relevant. Die größte Differenz wird beim Chrom (32 %) erreicht. Bei diesem Element zeigt sich besonders deutlich die höhere Effizienz des mikrowellenunterstützten Druckaufschlusses gegenüber dem klassischen Königswasserverfahren.

## 5 Verzeichnis der Schriften

- AbfKlärV (1992): Klärschlammverordnung vom 15. April 1992; BGBl, Jg. 1992, Teil I, 912 – 930, Bonn.
- BBodSchV (1999): Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung vom 12. Juli 1999, BGBl, Jg. 1999, Teil 1, Nr. 36, 1554, Bonn.
- BZE (1994): Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald – Arbeitsanleitung, 2. Aufl., 92 – 94, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- Deutscher Waldbodenbericht (1996): Ergebnisse der bundesweiten Bodenzustandserhebung im Wald von 1987 – 1993 (BZE), Bd. 1, 12, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- HAHN-WEINHEIMER, P. & HIRNER, A. & WEBER-DIEFENBACH, K. (1995): Röntgenfluoreszenzanalytische Methoden, Grundlagen und praktische Anwendungen in den Geo-, Material- und Umweltwissenschaften. 2. Aufl., Vieweg, Braunschweig.
- HORNBERG, V. & LÜER, B. (1999): Vergleich zwischen Total- und königswasserextrahierbaren Elementgehalten in natürlichen Böden und Sedimenten. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd. **162**: 131 – 137.
- Level-II (1997): Dauerbeobachtungsflächen im Wald. Methodenleitfaden für das Level-II-Programm, 1. Aufl. 40 – 41, Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Bonn.
- Ministerialblatt für das Land Nordrhein-Westfalen (1999): Hintergrundwerte für anorganische Stoffe in Böden Nordrhein-Westfalen, Nr. 32, 623.
- RUPPERT, H. (1990): Natürliche Schwermetalle im Boden und ihre anthropogene Überprägung. Mitt. Österr. Geol. Ges. **83**: 243 – 265.
- ROCHE, H. DE LA & GOVINDARAJU, K. (1971): Extrait de la revue du GAMS, **7** (4): 314 – 322.

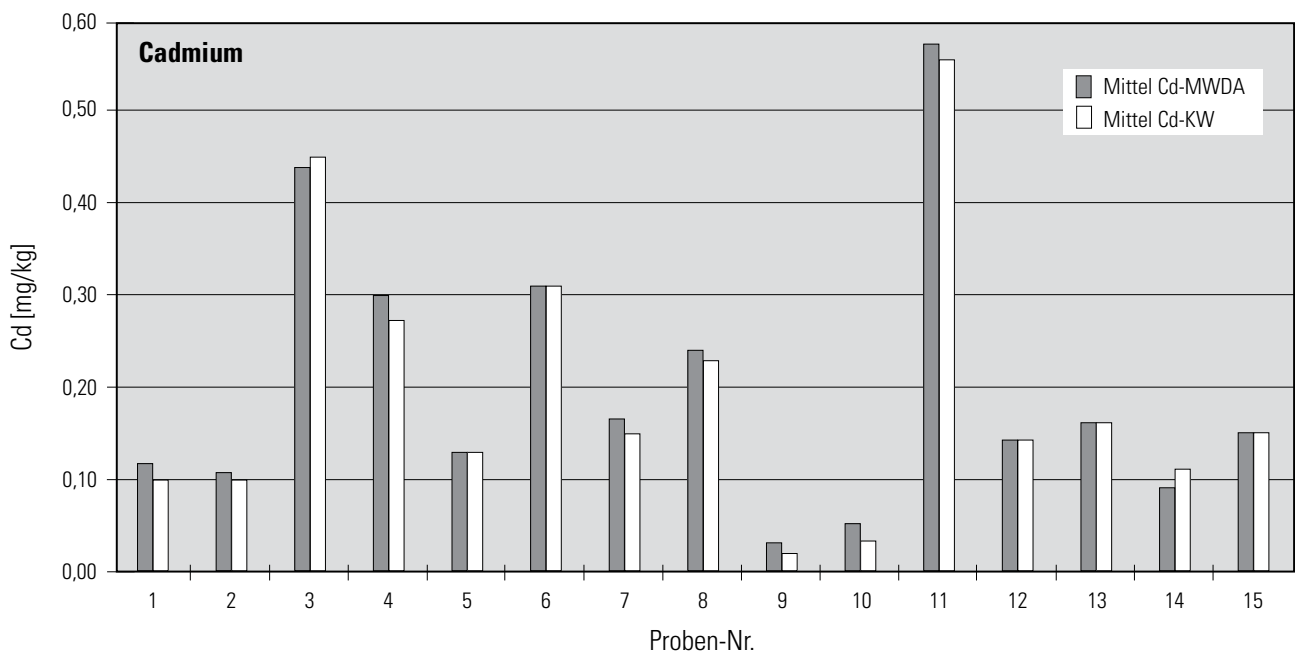
## **6 Anlagen**

- Anlage 1** Cadmium (Cd); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen, grafische Darstellung der Mittelwerte
- Anlage 2** Chrom (Cr); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen, grafische Darstellung der Mittelwerte
- Anlage 3** Kupfer (Cu); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen, grafische Darstellung der Mittelwerte
- Anlage 4** Eisen (Fe); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen, grafische Darstellung der Mittelwerte
- Anlage 5** Mangan (Mn); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen, grafische Darstellung der Mittelwerte
- Anlage 6** Nickel (Ni); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen, grafische Darstellung der Mittelwerte
- Anlage 7** Blei (Pb); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen, grafische Darstellung der Mittelwerte
- Anlage 8** Zink (Zn); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen, grafische Darstellung der Mittelwerte

## Anlage 1

Cadmium (Cd); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen,  
grafische Darstellung der Mittelwerte

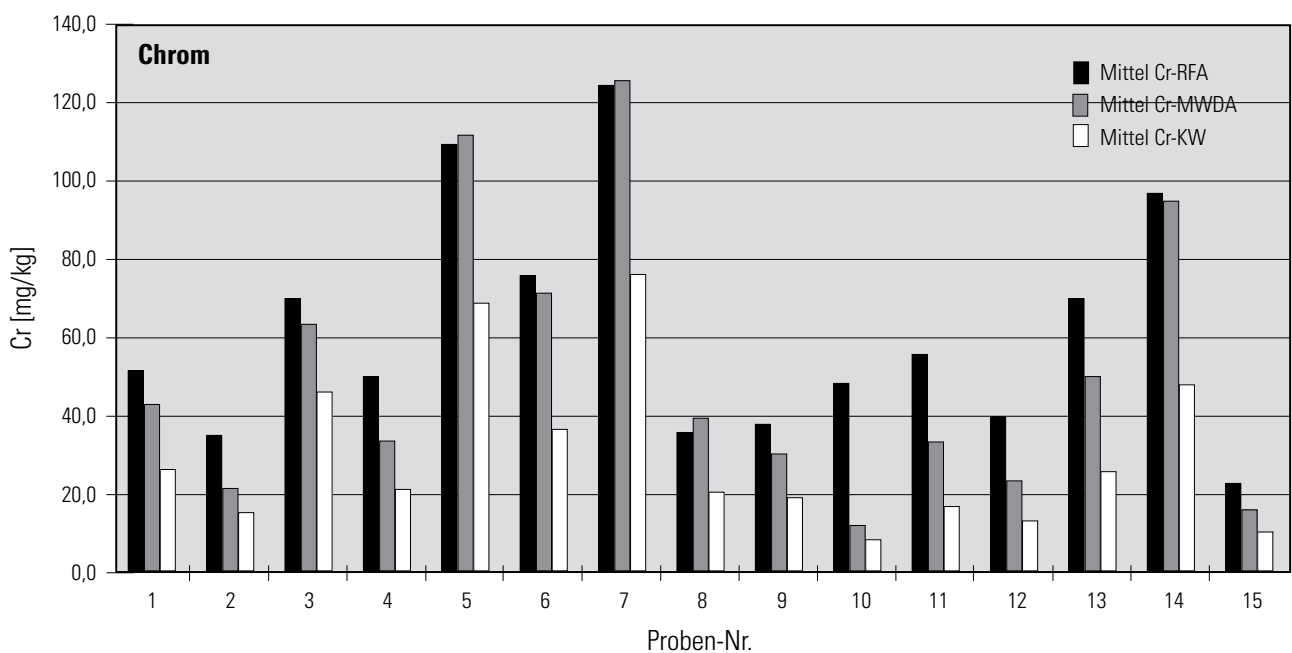
Proben-Nr.	Archiv-Nr.	Entnahme-Tiefe <i>cm</i>	Proben-Bez.	Verfahren						Ausbeute
				mikrowellenunterstützter Druckaufschluss (Cd-MWDA)			Königswasserextrakt (Cd-KW)			KW in % von MWDA
				Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	
				<i>mg/kg</i>			<i>mg/kg</i>			
001	B000162007	60,0 – 75,0	Sd	0,11	0,12	0,12	0,10	0,10	0,10	85
002	B000273006	30,0 – 60,0	γY	0,10	0,12	0,11	0,10	0,10	0,10	91
003	B000863005	10,0 – 30,0	Sw–Bv+Bv	0,40	0,48	0,44	0,42	0,48	0,45	103
004	B000894005	10,0 – 30,0	Bhv Bv (Sd)	0,28	0,32	0,30	0,28	0,26	0,27	91
005	B000873006	30,0 – 60,0	(Bv) Cv	0,11	0,15	0,13	0,13	0,13	0,13	100
006	B000415004	5,0 – 10,0	SvAp	0,28	0,34	0,31	0,31	0,30	0,31	99
007	B000884006	30,0 – 60,0	Sw-Bv-Cv	0,12	0,21	0,17	0,16	0,14	0,15	91
008	B000200007	30,0 – 60,0	IICv1	0,18	0,29	0,24	0,24	0,21	0,23	96
009	B000295006	30,0 – 60,0	Y3	<0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	80
010	B000167006	15,0 – 30,0	E	0,05	0,05	0,05	0,03	0,04	0,04	72
011	B000292004	5,0 – 10,0	Ah/Sw Al	0,55	0,59	0,57	0,57	0,52	0,55	96
012	B000910003	5,0 – 10,0	Ap-Aeh	0,14	0,15	0,14	0,14	0,13	0,14	93
013	B000301004	5,0 – 10,0	Aeh(gm)Bv	0,15	0,17	0,16	0,17	0,15	0,16	100
014	B000193006	20,0 – 30,0	Sd	0,08	0,10	0,09	0,11	0,10	0,11	117
015	B000179005	10,0 – 30,0	Ap BsBv Bv	0,14	0,15	0,15	0,15	0,14	0,15	99
									Mittel: 94	



## Anlage 2

Chrom (Cr); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen,  
grafische Darstellung der Mittelwerte

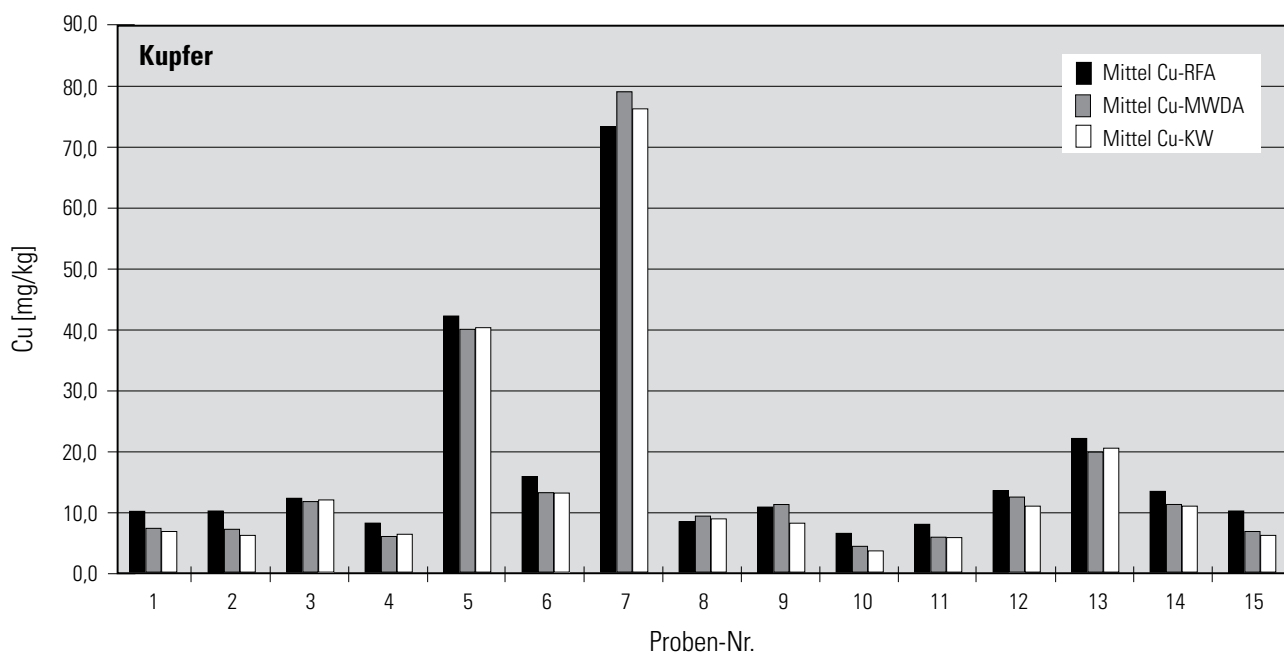
Proben-Nr.	Verfahren									Ausbeute	
	Röntgenfluoreszenzanalyse (Cr-RFA)			Mikrowellenunterstützter Druckaufschluss (Cr-MWDA)			Königswasserextrakt (Cr-KW)			MWDA in % von RFA	KW in % von RFA
	Messung 1	Messung 2 <i>mg/kg</i>	Mittel	Messung 1	Messung 2 <i>mg/kg</i>	Mittel	Messung 1	Messung 2 <i>mg/kg</i>	Mittel	(Totalgehalt)	(Totalgehalt)
001	54	51	52,5	51,6	35,5	43,6	27,3	26,4	26,9	83	51
002	34	38	36,0	20,6	24,3	22,4	15,5	15,5	15,5	62	43
003	70	68	69,0	70,3	56,9	63,6	46,4	45,8	46,1	92	67
004	52	49	50,5	30,8	39,5	35,2	22,9	21,7	22,3	70	44
005	116	108	112,0	120,0	106,5	113,3	67,5	68,8	68,2	101	61
006	76	76	76,0	77,4	67,3	72,3	38,3	37,3	37,8	95	50
007	126	122	124,0	130,0	120,5	125,3	76,3	78,5	77,4	101	62
008	37	37	37,0	40,8	38,1	39,4	21,1	20,8	21,0	107	57
009	36	40	38,0	30,7	31,2	30,9	20,3	19,5	19,9	81	52
010	46	50	48,0	10,5	14,4	12,4	9,3	8,3	8,8	26	18
011	56	57	56,5	24,0	42,0	33,0	17,7	17,4	17,6	58	31
012	37	43	40,0	17,7	27,4	22,6	14,3	13,4	13,9	56	35
013	70	71	70,5	49,1	59,0	54,1	26,3	25,9	26,1	77	37
014	94	101	97,5	82,4	107,5	95,0	50,4	47,1	48,8	97	50
015	20	26	23,0	14,4	18,9	16,6	9,9	10,0	10,0	72	43
										Mittel: 79	Mittel: 47



### Anlage 3

Kupfer (Cu); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen,  
grafische Darstellung der Mittelwerte

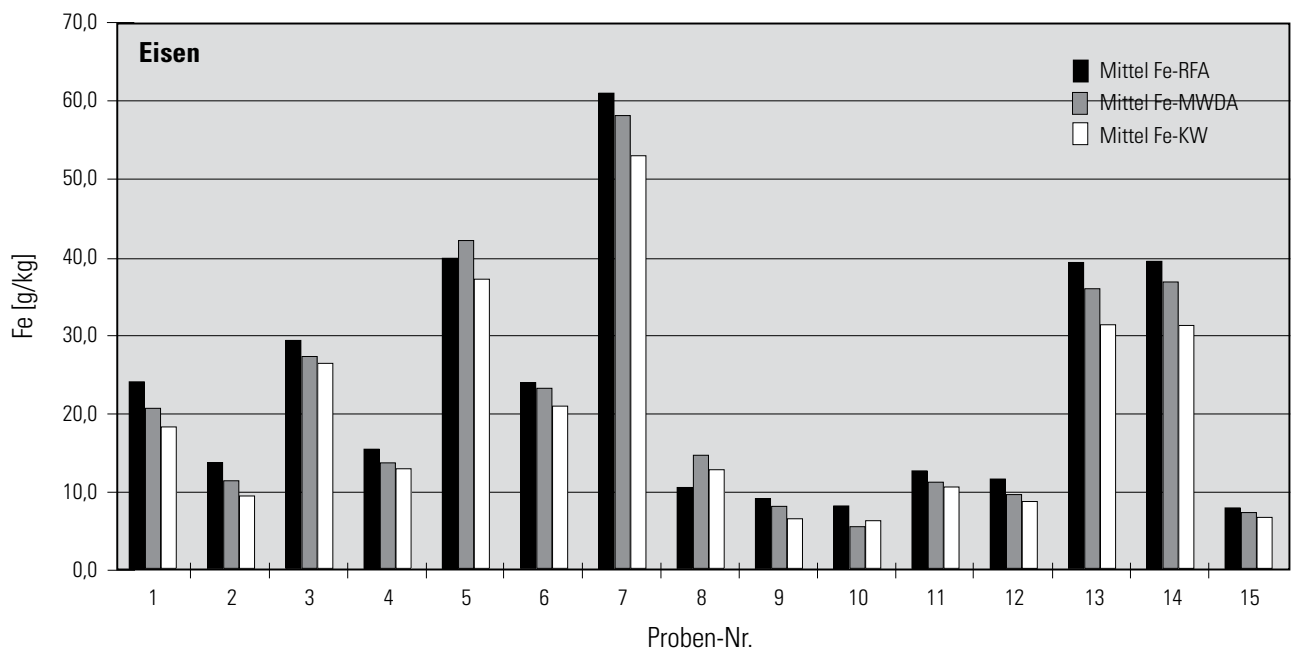
Proben-Nr.	Verfahren									Ausbeute	
	Röntgenfluoreszenzanalyse (Cu-RFA)			Mikrowellenunterstützter Druckaufschluss (Cu-MWDA)			Königswasserextrakt (Cu-KW)			MWDA in % von RFA	KW in % von RFA
	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	(Totalgehalt)	(Totalgehalt)
001	10	11	10,5	7,3	7,6	7,4	7,2	6,8	7,0	71	67
002	10	11	10,5	7,6	6,9	7,3	6,2	6,6	6,4	69	61
003	12	13	12,5	12,4	11,7	12,1	12,7	11,8	12,3	96	98
004	8	9	8,5	7,1	6,2	6,6	6,9	6,9	6,9	78	81
005	43	42	42,5	40,1	40,5	40,3	41,1	40,0	40,6	95	95
006	15	17	16,0	12,7	14,2	13,5	13,7	13,5	13,6	84	85
007	73	74	73,5	80,3	78,8	79,5	76,8	76,8	76,8	108	104
008	7	10	8,5	7,8	11,6	9,7	9,6	9,6	9,6	114	113
009	10	12	11,0	8,8	14,3	11,5	8,1	8,2	8,2	105	74
010	5	8	6,5	4,4	4,2	4,3	3,9	3,6	3,7	66	57
011	8	8	8,0	5,5	6,8	6,2	6,4	6,0	6,2	77	78
012	13	14	13,5	13,1	11,7	12,4	11,2	11,0	11,1	92	82
013	22	23	22,5	20,5	19,5	20,0	20,9	21,2	21,1	89	94
014	12	14	13,0	10,2	13,2	11,7	11,2	10,9	11,1	90	85
015	11	11	11,0	6,6	7,2	6,9	6,6	6,5	6,6	63	60
										Mittel: 84	Mittel: 82



## Anlage 4

Eisen (Fe); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen,  
grafische Darstellung der Mittelwerte

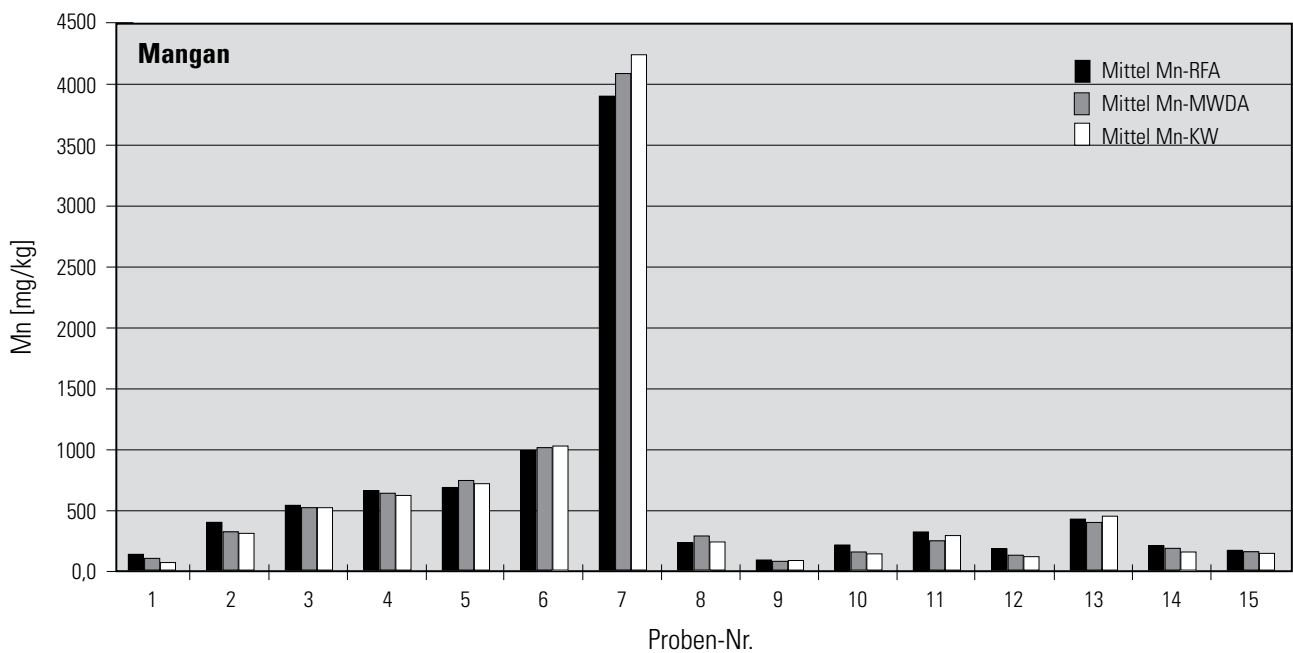
Proben-Nr.	Verfahren									Ausbeute	
	Röntgenfluoreszenzanalyse (Fe-RFA)			Mikrowellenunterstützter Druckaufschluss (Fe-MWDA)			Königswasserextrakt (Fe-KW)			MWDA in % von RFA	KW in % von RFA
	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	(Totalgehalt)	(Totalgehalt)
g/kg			g/kg			g/kg					
001	24,6	23,5	24,1	20,7	20,6	20,7	18,3	18,5	18,4	86	77
002	14,2	13,6	13,9	11,7	11,3	11,5	9,4	9,4	9,4	83	68
003	30,0	28,9	29,4	27,2	27,4	27,3	26,6	26,4	26,5	93	90
004	16,1	15,0	15,5	13,5	14,1	13,8	12,7	13,2	13,0	89	83
005	40,0	40,0	40,0	42,8	41,7	42,2	37,0	37,4	37,2	106	93
006	24,1	24,0	24,0	23,0	23,6	23,3	21,3	21,3	21,3	97	89
007	60,3	60,0	60,2	57,1	59,4	58,2	52,8	53,3	53,1	97	88
008	10,8	10,3	10,5	14,1	15,3	14,7	12,9	13,0	12,9	<del>110</del>	<del>123</del>
009	9,2	9,0	9,1	7,8	8,6	8,2	6,7	6,6	6,6	91	73
010	9,0	8,4	8,7	6,5	6,6	6,5	5,7	7,8	6,7	75	77
011	13,0	12,5	12,7	11,1	11,6	11,3	11,0	10,2	10,6	89	83
012	11,8	12,3	12,1	9,7	10,0	9,8	8,8	8,5	8,7	82	72
013	40,1	38,7	39,4	37,7	34,3	36,0	31,8	31,2	31,5	91	80
014	40,0	39,6	39,8	36,3	37,5	36,9	31,6	31,2	31,4	93	79
015	8,0	8,0	8,0	7,3	7,6	7,4	6,8	6,8	6,8	93	85
										Mittel: 90	Mittel: 81



## Anlage 5

Mangan (Mn); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen,  
grafische Darstellung der Mittelwerte

Proben-Nr.	Verfahren									Ausbeute	
	Röntgenfluoreszenzanalyse (Mn-RFA)			Mikrowellenunterstützter Druckaufschluss (Mn-MWDA)			Königswasserextrakt (Mn-KW)			MWDA in % von RFA	KW in % von RFA
	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	(Totalgehalt)	(Totalgehalt)
001	160	156	158	124	122	123	113	112	113	78	71
002	420	410	415	343	344	343	340	341	340	83	82
003	566	568	567	552	569	561	559	562	561	99	99
004	670	670	670	641	676	659	666	642	654	98	98
005	720	715	718	727	767	747	745	733	739	104	103
006	1002	1001	1002	967	1059	1013	1039	1047	1043	101	104
007	3960	3900	3930	4002	4322	4162	4232	4283	4257	106	108
008	251	260	256	290	309	300	262	259	261	117	102
009	90	95	93	80	88	84	87	87	87	91	94
010	217	210	214	168	163	166	157	155	156	78	73
011	318	327	323	269	281	275	290	287	289	85	89
012	190	195	193	134	145	139	139	137	138	72	72
013	437	433	435	398	433	415	446	450	448	95	103
014	204	205	205	197	196	196	184	182	183	96	89
015	175	176	176	169	178	174	172	170	171	99	97
										Mittel: 93	Mittel: 92

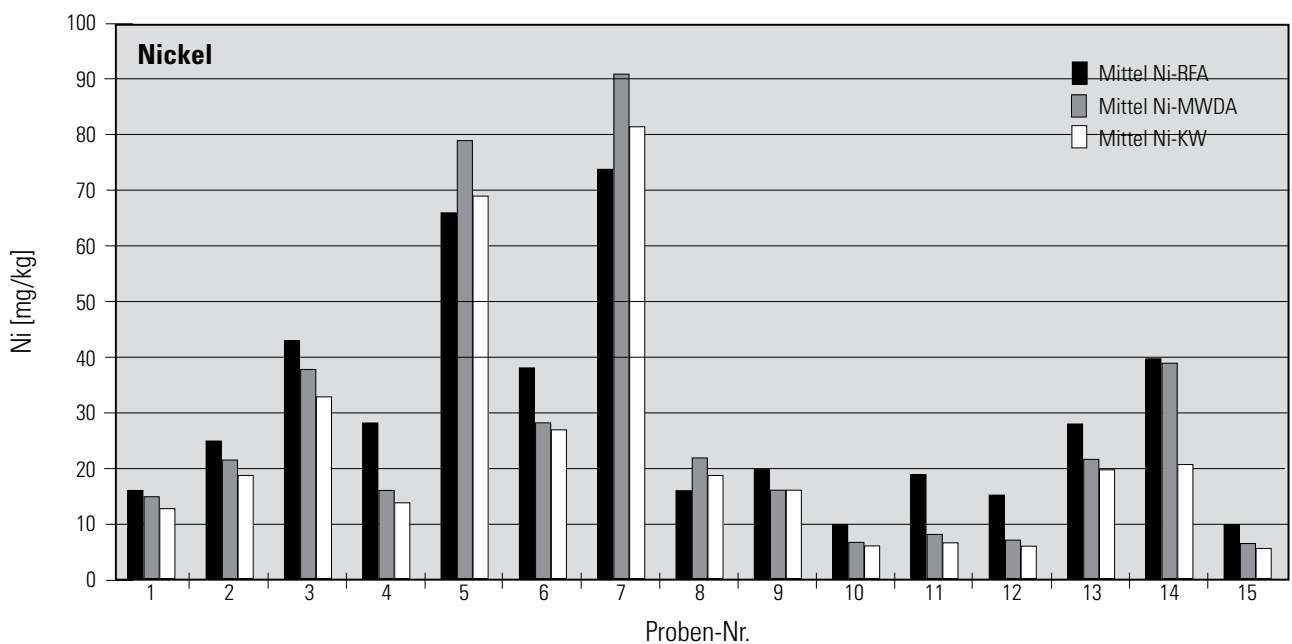




## Anlage 6

Nickel (Ni); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen,  
grafische Darstellung der Mittelwerte

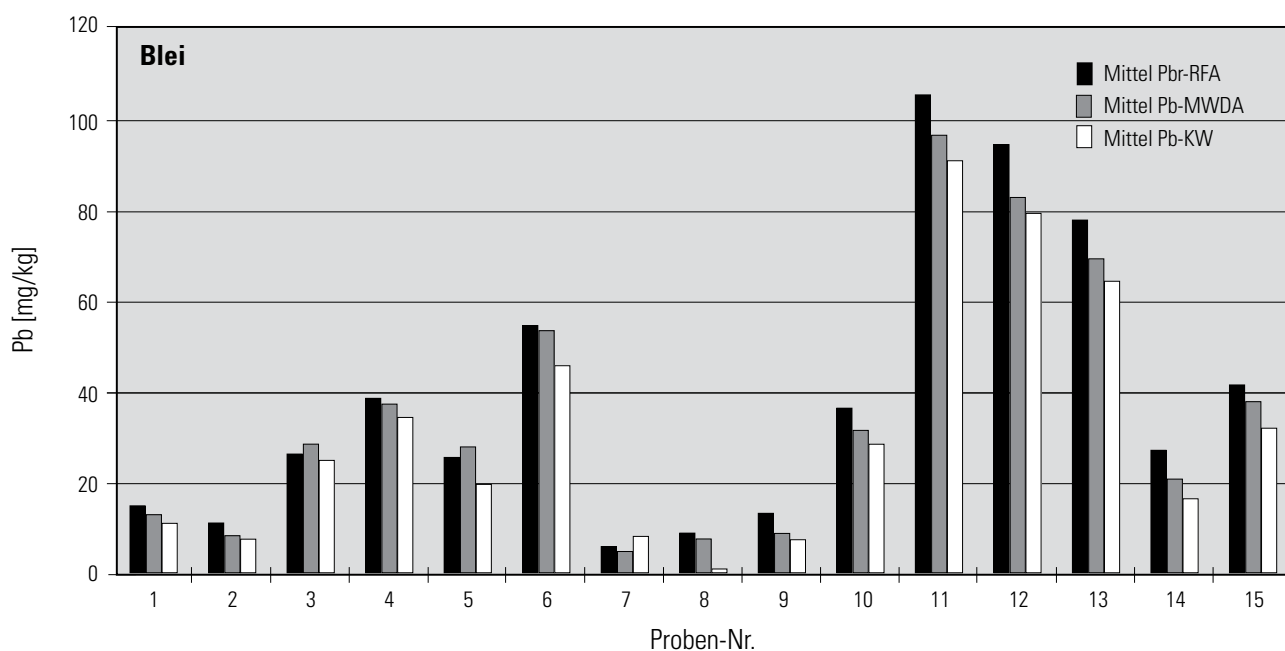
Proben-Nr.	Verfahren									Ausbeute	
	Röntgenfluoreszenzanalyse (Ni-RFA)			Mikrowellenunterstützter Druckaufschluss (Ni-MWDA)			Königswasserextrakt (Ni-KW)			MWDA in % von RFA	KW in % von RFA
	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	(Totalgehalt)	(Totalgehalt)
001	17	15	16	15,6	13,8	14,7	12,3	12,2	12,3	92	77
002	27	23	25	23,7	20,8	22,3	19,2	19,3	19,3	89	77
003	44	42	43	38,0	35,8	36,9	33,3	33,4	33,4	86	78
004	29	27	28	16,9	15,2	16,1	14,6	14,2	14,4	57	51
005	66	67	67	79,4	77,7	78,6	69,2	69,1	69,2	118	104
006	39	36	38	28,3	28,3	28,3	26,5	26,7	26,6	75	71
007	75	73	74	92,2	89,9	91,1	81,6	82,5	82,0	123	111
008	12	19	16	21,9	22,8	22,3	18,8	18,8	18,8	144	121
009	21	18	20	16,0	16,9	16,4	15,8	15,6	15,7	84	81
010	11	9	10	6,5	6,4	6,4	6,0	6,0	6,0	64	60
011	18	19	19	7,4	8,1	7,7	7,3	7,1	7,2	42	39
012	12	17	15	6,5	7,7	7,1	6,4	6,6	6,5	49	45
013	28	28	28	21,4	21,8	21,6	19,5	19,7	19,6	77	70
014	41	39	40	38,5	39,6	39,1	30,7	30,4	30,6	98	76
015	10	9	10	7,2	6,9	7,0	5,7	5,8	5,8	74	61
										Mittel: 85	Mittel: 75



## Anlage 7

Blei (Pb); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen,  
grafische Darstellung der Mittelwerte

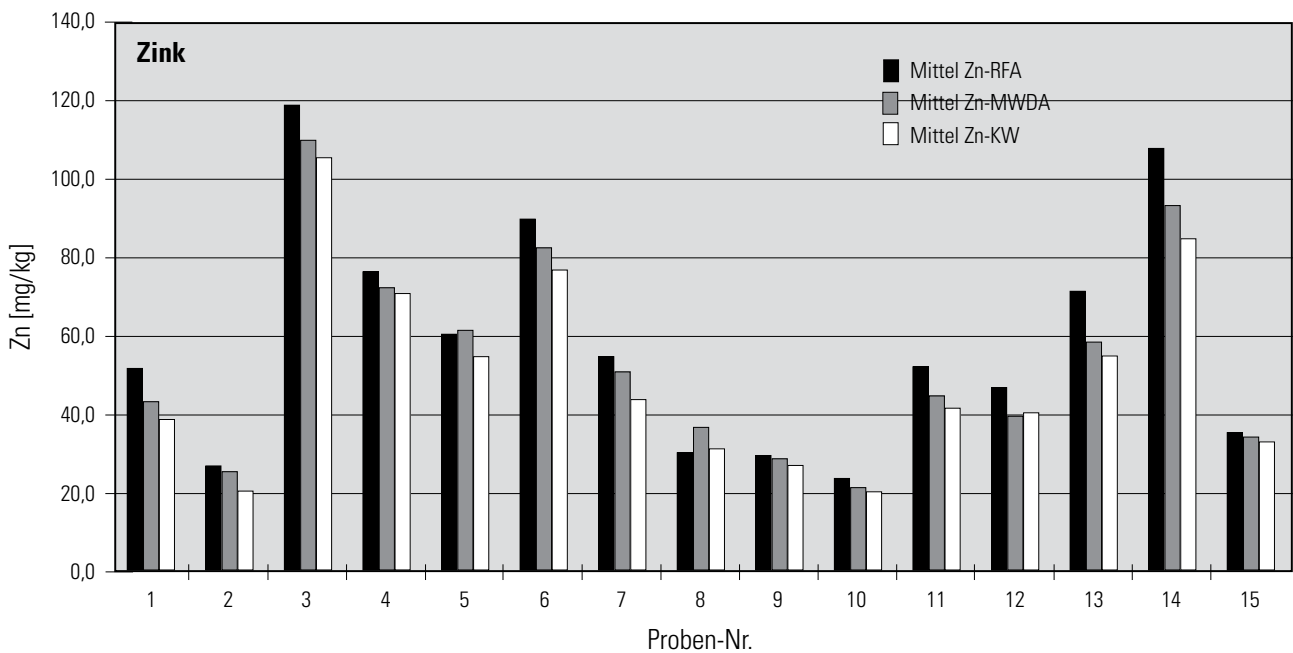
Proben-Nr.	Verfahren									Ausbeute	
	Röntgenfluoreszenzanalyse (Pb-RFA)			Mikrowellenunterstützter Druckaufschluss (Pb-MWDA)			Königswasserextrakt (Pb-KW)			MWDA in % von RFA	KW in % von RFA
	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	(Totalgehalt)	(Totalgehalt)
001	15	14	15	14,2	12,4	13,3	11,3	10,9	11,1	92	77
002	12	10	11	8,6	7,5	8,0	6,6	7,4	7,0	73	64
003	28	28	28	28,3	30,1	29,2	24,9	24,8	24,9	104	89
004	35	42	39	35,1	41,4	38,3	34,4	34,8	34,6	99	90
005	26	26	26	27,4	28,6	28,8	19,6	20,2	19,9	108	77
006	56	54	55	52,8	55,6	54,2	45,8	45,8	45,8	99	83
007	6	6	6	5,1	5,8	5,5	7,4	8,1	7,8	91	129
008	10	7	9	12,4	4,4	8,4	2,4	2,4	2,4	99	28
009	13	12	13	8,8	8,9	8,9	8,4	8,0	8,2	71	66
010	38	35	37	34,4	29,1	31,8	29,3	28,6	29,0	87	79
011	105	107	106	98,3	95,6	96,9	93,1	90,8	92,0	91	87
012	94	96	95	83,4	82,7	83,0	78,1	81,2	79,7	87	84
013	77	78	78	71,6	68,8	70,2	64,9	65,0	65,0	91	84
014	29	26	28	25,9	19,1	22,5	16,7	16,0	16,4	82	59
015	43	40	42	38,2	37,5	37,9	32,7	31,5	32,1	91	77
										Mittel: 91	Mittel: 78



## Anlage 8

Zink (Zn); Messergebnisse, Mittelwerte, Ausbeuteberechnungen,  
grafische Darstellung der Mittelwerte

Proben-Nr.	Verfahren									Ausbeute	
	Röntgenfluoreszenzanalyse (Zn-RFA)			Mikrowellenunterstützter Druckaufschluss (Zn-MWDA)			Königswasserextrakt (Zn-KW)			MWDA in % von RFA	KW in % von RFA
	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	Messung 1	Messung 2	Mittel	(Totalgehalt)	(Totalgehalt)
001	51	52	52	42,9	45,6	44,3	39,1	39,1	39,1	86	76
002	25	28	27	27,0	25,3	26,1	21,0	21,3	21,2	99	80
003	120	117	119	112,0	117,7	114,9	106,0	106,0	106,0	97	89
004	77	76	77	71,1	74,2	72,7	73,0	69,4	71,2	95	93
005	60	61	61	60,8	62,3	61,5	53,6	55,9	54,8	102	90
006	91	89	90	77,1	88,3	82,7	76,5	76,5	76,5	92	85
007	54	57	56	47,1	55,7	51,4	43,7	45,0	44,4	93	80
008	31	30	31	36,6	37,6	37,1	31,7	32,9	32,3	122	106
009	29	31	30	27,4	30,1	28,7	27,8	27,8	27,8	96	93
010	23	25	24	21,4	22,1	21,7	19,9	21,4	20,7	91	86
011	52	54	53	43,3	45,7	44,5	40,7	43,2	42,0	84	79
012	46	48	47	38,9	40,8	39,9	43,1	39,4	41,3	85	88
013	71	72	72	57,6	61,3	59,5	55,7	57,2	56,5	83	79
014	109	107	108	89,8	98,2	94,0	85,5	84,7	85,1	87	79
015	35	36	36	32,8	37,3	35,0	33,5	34,0	33,8	99	95
										Mittel: 94	Mittel: 87





<b>scriptum</b>	<b>10</b>	37 – 113, 2 Abb., 8 Tab., 5 Anl.	Krefeld 2003
-----------------	-----------	----------------------------------	--------------

## **Einfluss der Vorbereitung von Bodenproben auf Analyseergebnisse**

Von Ronald Steudte-Gaudich und Margarete Schneider\*

### **Inhalt**

<b>1</b>	<b>Problemstellung</b> .....	38
<b>2</b>	<b>Methodische Durchführung der Untersuchung</b> .....	40
<b>3</b>	<b>Ergebnisse</b> .....	41
	3.1 Korngrößenanalysen .....	41
	3.2 Bodenchemie .....	45
	3.2.1 Allgemeine Chemie .....	45
	3.2.2 Effektive Kationen-Austauschkapazität (AKe) .....	45
	3.2.3 Potenzielle Kationen-Austauschkapazität (AKp) .....	48
	3.2.4 Schwermetallgehalte .....	50
<b>4</b>	<b>Schlussfolgerungen</b> .....	50
<b>5</b>	<b>Verzeichnis der Schriften</b> .....	51
<b>6</b>	<b>Anlagen</b> .....	53

---

\* Anschrift der Autoren: Dipl.-Geogr. Ronald Steudte-Gaudich & Dipl.-Ing.'in Margarete Schneider,  
Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb –, De-Greif-Straße 195, D-47803 Krefeld

**Zusammenfassung:** Teilweise auftretende Unstimmigkeiten zwischen der Ansprache der Feinbodenart im Gelände und den Analyseergebnissen skelettreicher Bodenproben führten zu einer Testprobenreihe, die den Einfluss der Probenvorbereitung (unterschiedliche Methoden zur Entfernung von Bodenskelett) auf die Analyseergebnisse klären sollte.

Dabei zeigte sich, dass per Backenbrecher vorbereitete Proben erhöhte Sandanteile und bei einer karbonathaltigen Probe auch stark abweichende chemische Werte aufwiesen. Nassgesiebte Proben stimmten bei den Korngrößenanalysen gut mit manuell vorbereiteten Proben überein, wiesen aber teilweise erheblich abweichende chemische Werte auf. Damit liefert bei skelettreichen Bodenproben die manuelle Vorbereitung die zuverlässigsten Analyseergebnisse.

Als Konsequenz wird bei den Untersuchungen des Geologischen Dienstes NRW (früher: Geologisches Landesamt NRW) die Vorbereitungsart einer Bodenprobe nach Art und Menge des in ihr enthaltenen Skelettes festgelegt.

### [The Influence of the Test Preparation on the Results of Soil Analysis]

**Abstract:** From time to time there appear to be inconsistencies of soil texture results between field estimates and measured particle size distribution of soil material with a large stone content (hereafter called skeleton: particles > 2 mm). This has led to a number of tests, which should clarify how different sample preparation methods influence the analytical results. Therefore, 10 skeleton-rich soil samples were taken and each of them was divided into homogenous parts. The removal of the skeleton from the dried sample parts was done by sieving after using the jaw crusher or sieving after manual preparation (gentle crushing of the soil with a pestle). One part of each sample was suspended with water and then sieved. Particle-size analysis and chemical analyses were performed on all sieved soil fractions.

Samples which were treated with the jaw crusher showed higher sand contents and one sample containing a high carbonate level additionally differs greatly in its chemical results. It is clear, that the jaw crusher treatment smashes parts of the skeleton to the size < 2 mm, which effects the analytical results. The results of particle-size analysis from the samples sieved after water-suspension are similar to the manually prepared samples, but the chemical analysis results vary greatly. So far, the manual sample preparation of skeleton-rich soils leads to the most reliable results. This conclusion effects the sample preparation at the Geological Survey of North Rhine-Westfalia.

In cases of skeleton contents more the 20 % or any carbonate containing skeleton, a manual sample preparation will be performed. In all other cases, the sample preparation will be done using the jaw crusher. Sieving the soil-water suspension would not be a routine procedure. It could be an alternative method for soils with a high clay portion (not tested in this work), if just particle-size analysis is requested.

## 1 Problemstellung

Bei der Bodenkartierung des Geologischen Dienstes NRW<sup>1)</sup> gab es immer wieder in einzelnen Regionen des Landes unter bestimmten geologisch-bodenkundlichen Verhältnissen Diskrepanzen zwischen der Bodenartenansprache im Gelände und der analytisch ermittelten Korngrößenzusammensetzung. In den problematischen Fällen ergaben die Analysen durchweg höhere Anteile der Sandfraktion. Dadurch fielen die betreffenden Proben in andere Bodenarten-Untergruppen (z. B. sandiger Lehm statt schluffiger Lehm) und damit häufig auch in andere hausintern unterschiedene Feinbodenartengruppen (z. B. Bodenartengruppe 4 statt 3, Abb. 1). Am häufigsten traten diese Fälle in skelettreichen Bodenproben aus dem Sauerland auf. Bei Kartierungen in anderen Landesteilen wurde diese Diskrepanzen allerdings auch beobachtet.

---

<sup>1)</sup> Am 1. Januar 2001 wurde das ehemalige „Geologische Landesamt Nordrhein-Westfalen“ in einen Landesbetrieb überführt und trägt seitdem die Bezeichnung „Geologischer Dienst Nordrhein-Westfalen“. Diese Bezeichnung wird hier auch auf Zeiträume vor dem 1. Januar 2001 angewandt.

Für die Durchführung der Analysen müssen die vorher getrockneten Bodenproben zerkleinert und die darin befindlichen Skelettbestandteile (= Grobboden, > 2 mm Äquivalentdurchmesser) entfernt werden. Das Zerkleinern geschieht entweder mittels Backenbrecher oder manuell mit einem Pistill; die Skelettbestandteile werden dann jeweils abgeseibt. Es wurde vermutet, dass die Probenvorbereitung mit dem Backenbrecher die Ursache für die erhöhten Sandanteile sein könnte. Durch das Zertrümmern des Bodenskeletts würden künstlich Partikel geschaffen, die in die Sandfraktion des Feinbodens (0,063 – 2 mm) fielen. Wenn dies zuträfe, dann wären unter bestimmten Bedingungen auch irreführende bodenchemische Analysenwerte nicht auszuschließen.

Diesem Vorbehalt hinsichtlich des Backenbrechers entgegen steht die Erwartung gegenüber dem geochemischen Labor, bis zu 2000 Bodenproben jährlich analysieren zu können. Die manuelle Vorbereitung ist je nach Beschaffenheit der Probe unter Umständen sehr mühsam und zeitaufwändig. Umfangreiche manuelle Probenvorbereitung könnte zu einem Engpass bei der Bearbeitung der eingehenden Proben führen. Aus Sicht des geochemischen Labors ist daher eine möglichst hohe Einsatzquote des Backenbrechers wünschenswert.

Als weitere Methode neben der Probenvorbereitung per Hand oder Backenbrecher kommt grundsätzlich auch noch die Nass-Siebung in Betracht. Diese bedeutet allerdings einen noch höheren Aufwand als die manuelle Vorbereitung der getrockneten Proben, der für Regeluntersuchungen kaum zu leisten ist. Ob mit diesem Aufwand eine erhöhte Qualität der Analysen verbunden wäre, die man sich zumindest für spezielle Bodenproben zu Nutze machen könnte, ist nicht bekannt.

Die Bodenproben-Vorbereitung im geochemischen Labor des Geologischen Dienstes NRW sah in den vergangenen Jahren wie folgt aus:

- bis 1990: Vorbereitung mittels Backenbrecher
- 1990 – 1996: manuelle Vorbereitung

Die in diesem Zeitraum untersuchten Proben für die Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) mussten wegen der analytischen Anforderungen nach einem sehr hohen Qualitätsstandard vorbereitet werden (ausschließlich manuelle Probenvorbereitung und Nassreinigung sämtlicher benutzter Geräte). Nach diesem Standard wurden dann auch Proben aus der routinemäßigen Kartierung vorbereitet.

- ab 1996: Vorbereitung manuell oder mittels Backenbrecher

Nach Abschluss der BZE wurde zur Beschleunigung des Probendurchsatzes im Labor die Probenvorbereitung vereinfacht. Die Vorbereitungsart einer Probe wurde von Fall zu Fall hauptsächlich nach ihrem Skelettgehalt festgelegt, ohne dass gesicherte Entscheidungsgrundlagen vorlagen.

Vor diesem Hintergrund war es notwendig, die tatsächliche Auswirkung der drei unterschiedlichen Methoden auf die späteren bodenchemischen und bodenphysikalischen Analyseergebnisse durch eine Testprobenserie zu klären.

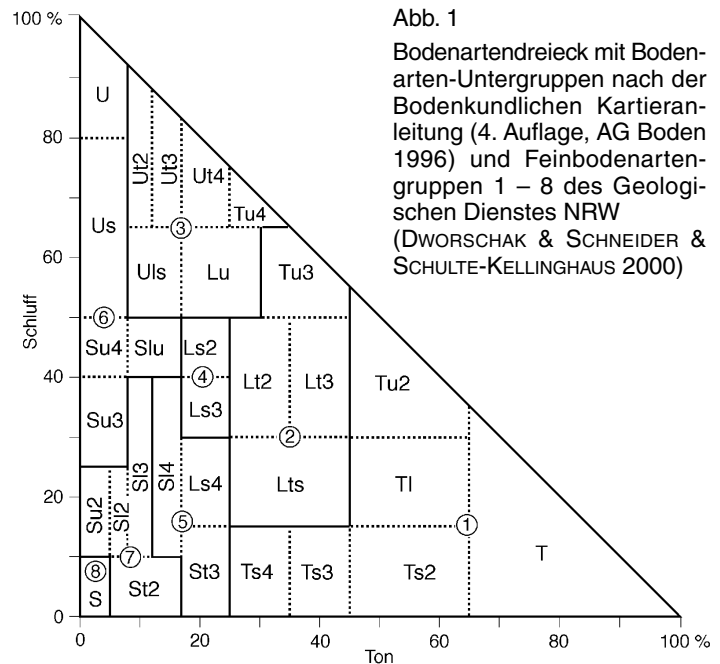


Abb. 1  
Bodenartendreieck mit Bodenarten-Untergruppen nach der Bodenkundlichen Kartieranleitung (4. Auflage, AG Boden 1996) und Feinbodenarten-Untergruppen 1 – 8 des Geologischen Dienstes NRW (DWORSCHAK & SCHNEIDER & SCHULTE-KELLINGHAUS 2000)

## 2 Methodische Durchführung der Untersuchung

Grundsätzlich ging es darum, von einer Bodenprobe möglichst gleichartige Teilmengen für unterschiedliche Probenvorbereitungen (Backenbrecher, manuell, nassgesiebt) herzustellen, um dann die Analyseergebnisse miteinander zu vergleichen. Um zu aussagefähigen Ergebnissen zu kommen, war die Analyse von mehreren solcher Testprobensätze notwendig.

Eine entsprechende Probennahme fand am 2. Juli 1998 im Sauerland innerhalb des Verfahrensgebietes 4616 Olsberg der Bodenkartierung zur forstlichen Standorterkundung statt. Angefahren wurden fünf bereits im Rahmen der Kartierung bearbeitete Profile, aus denen für diese Untersuchung jeweils zwei Horizonte beprobt wurden (Tab. 1). Insgesamt standen damit Proben aus zehn Horizonten zur Verfügung.

Tabelle 1  
Übersicht der beprobten Profile und Horizonte

Profil-Nr.	Genese / Petrografie (Stratigrafie) des Anstehenden	Profileinheit <sup>2</sup>	beprobte Horizonte	Entnahmetiefe (cm)	Skelettgehalt <sup>3</sup> (ca. %)
2	Fließerde / Kalkstein (Mitteldevon)	Bc3 <sub>25</sub>	Bv-Ah Bv	15 – 20 45 – 50	30 50
6	Fließerden / Tonstein (Mitteldevon)	B3 <sub>24</sub>	Bv Bv-Cv	20 – 25 40 – 45	30 60
20	Oberlage über Fließerden / Lydit (Unterkarbon)	B-P5 <sub>21</sub>	Bvs Bv-Cv	55 – 60 95 – 100	70 80
22	Fließerden / Schluffstein und Schluffmergelstein (Oberdevon)	B3 <sub>33(z)</sub>	Bv Bv-Cv	50 – 55 75 – 80	50 70
25	Oberlage über Fließerden / Schluffstein (Mitteldevon)	B-P9 <sub>31</sub>	Bvs Bv-Cv	35 – 40 70 – 75	80 80

<sup>2</sup> Profileinheitsymbol nach dem Datenschlüssel des Geologischen Dienstes NRW (DWORSCHAK & SCHNEIDER & SCHULTE-KELLINGHAUS 2000) auf Basis der Analyseergebnisse nach manueller Probenvorbereitung

<sup>3</sup> Nach Geländeansprache und teilweise Grobbodenwägung der Proben. Da Großblöcke bei einigen Horizonten schon im Gelände vor der Probenentnahme aussortiert wurden, keine zwingende Übereinstimmung mit den Werten der Abbildung 2.

Bei der Probennahme aus den jeweiligen Horizonten wurde wie folgt vorgegangen: Mithilfe eines Probenblechs wurde reichlich Material entnommen und gut durchmischt auf einer festen Kunststoffunterlage zu einem möglichst gleichmäßigen Kegel aufgehäuft. Mit einem großen Messer wurde der Kegel in zwei Hälften geteilt. Die eine entstandene Hälfte wurde noch einmal geteilt. Jedes der beiden so entstandenen Viertel wurde in eine Tüte gefüllt. Diese Proben waren vorgesehen für die Vorbereitung mit dem Backenbrecher und für die manuelle Vorbereitung mit anschließender Vollanalyse im Labor (Bodenchemie und Korngrößenanalyse nach KÖHN).

Tabelle 2  
Arten der Probenvorbereitung und durchgeführte Analysengänge

	Trocknung und Backenbrecher	Trocknung und manuelle Vorbereitung	Nass-Siebung und Trocknung	Nass-Siebung und Trocknung
Korngrößen n. KÖHN	x	x	x (Bearbeiter A)	x (Bearbeiter B)
Chemische Untersuchungen	x	x	x	

Die verbliebene, für die Nass-Siebung vorgesehene Hälfte des Kegels wurde bereits im Gelände erdfeucht auf 6,3 mm gesiebt und getrennt, das Skelett > 6,3 mm sowie der Feinboden mit dem Skelett < 6,3 mm eingetütet. Im Labor des Geologischen Dienstes wurde später der noch Skelett < 6,3 mm enthaltende Feinboden mit demineralisiertem Wasser (Ionentauscherpatrone) nass auf 2 mm gesiebt; ferner wurde das noch



an dem Skelett > 6,3 mm haftende Bodenmaterial über dem 2 mm Sieb nass abgewaschen. Die so erhaltene Suspension wurde eingedampft, übrig blieb der Feinboden. Ein Teil davon wurde nur einer Korngrößenanalyse nach KÖHN unterzogen. Der andere Teil stand für die übliche Vollanalyse im Labor zur Verfügung.

Damit sind für die einzelnen Arten der Probenvorbereitung die in Tabelle 2 dargestellten Analysengänge durchgeführt worden.

### 3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Analyseergebnisse vorgestellt und interpretiert. Die einzelnen Kapitel enthalten kurze tabellarische Übersichten ausgewählter Parameter. Die ausführlichen Analysenwerte sowie grafische Darstellungen sind als Anlagen beigefügt. Auf umfangreiche statistische Auswertungen wurde wegen relativ kleiner Datenkollektive verzichtet.

#### 3.1 Korngrößenanalysen

Aus Tabelle 3 wird ersichtlich, dass die für die einzelnen Korngrößenfraktionen ermittelten Anteile der nicht per Backenbrecher vorbereiteten Proben eng bis sehr eng beieinander liegen, während die Backenbrecher-Proben teilweise deutlich davon abweichen. Im Mittel der zehn beprobten Horizonte beträgt der analysierte Sandanteil der Backenbrecher-Proben ca. 37 %, während die anderen Parallelproben übereinstimmend bei etwa 25 % liegen. Dies entspricht einer relativen Erhöhung um 50 %. Diese Erhöhung kann nur dahingehend interpretiert werden, dass bei der Zertrümmerung von Stein- und Grusbestandteilen im Backenbrecher ein Teil der Trümmerstücke in die Sandfraktion fällt.

Dem höheren Sandgehalt steht ein um etwa 10 %-Punkte verminderter mittlerer Schluffgehalt gegenüber (ca. 49 % bei den Backenbrecher-Proben gegenüber ca. 58 % bei den übrigen Proben). Auch bei den Tongehalten haben die Backenbrecher-Proben die geringsten Gehalte, hier ist die Differenz aber nicht mehr so erheblich.

Innerhalb der einzelnen Sandfraktionen sind höhere Werte bei den Backenbrecher-Proben nicht nur beim Grobsand, sondern – auf insgesamt niedrigerem Niveau und mit abnehmenden Anteilen – auch beim Mittel- und Feinsand (inklusive Feinstsand) festzustellen (Tab. 4). Der Grobsandanteil der Backenbrecher-Proben liegt um 51 % über dem gemittelten Wert der drei anderen Parallelproben (21,9 % gegenüber 14,5 %), beim Mittelsand sind es noch 47 %, beim Feinsand (inklusive Feinstsand) 28 %. Offensichtlich können bei der Zertrümmerung des Bodenskeletts – auch wenn die minimale Öffnungsweite des Backenbrechers immer größer als 2 mm ist – innerhalb der Sandfraktion außer Grobsand auch feinere Fraktionen entstehen (Zerreißel).

Wenn die erhöhten Sandanteile der Backenbrecher-Proben auf die Zertrümmerung von Bodenskelett zurückgeführt werden, so liegt die Vermutung nahe, dass der Skelettgehalt dieser Proben entsprechend vermindert wird. Aus Abbildung 2 ist zu ersehen, dass dieses tatsächlich der Fall ist. Angegeben sind dort die ausgesiebten Skelettanteile nach der jeweiligen Probenvorbereitung. Ausnahmslos liegen die Skelettanteile der Backenbrecher-Proben unter denen der manuell vorbereiteten Proben. Auch wenn die Skelettgehalte in den Teilproben primär nicht genau gleich gewesen sein müssen (möglicherweise nicht vollständig homogene Probenteilung), wird die These hinsichtlich der Wirkung des Backenbrechers durch dieses einheitliche Bild untermauert.

Weiterhin wurden die Ergebnisse der jeweils vier Paralleluntersuchungen entsprechend ihrer Ton-, Schluff- und Sandanteile für jedes beprobte Profil in ein Bodenartendreieck eingetragen (s. Anlage 1, S. 54). Deutlich wird daraus, dass das gesamte Korngrößenspektrum im Bereich toniger Schluff bis lehmiger Sand liegt; über tonreiche Substrate können hier demzufolge keine Aussagen gemacht werden.

Entsprechend der jeweils guten Übereinstimmung zwischen manuell vorbereiteter Probe und den beidseitig nassgesiebten Proben liegen die einzelnen Analysen im Bodenartendreieck eng beieinander, entweder in der gleichen Bodenarten-Untergruppe oder in direkt benachbarten (im Profil 2 z. B. in Ut3 und Ut4).

Tabelle 3  
Sand-, Schluff- und Tongehalte

<b>Sandgehalte (%)</b>				
	Backenbr.	manuell	nassges. (Bearb. A)	nassges. (Bearb. B)
Profil 2, oberer Horizont	11,1	10,4	11,6	13,7
unterer Horizont	23,9	10,7	10,4	14,5
Profil 6, oberer Horizont	29,5	25,0	25,1	27,6
unterer Horizont	56,7	50,1	49,2	51,6
Profil 20, oberer Horizont	57,9	37,7	37,4	38,4
unterer Horizont	37,9	25,0	26,2	27,2
Profil 22, oberer Horizont	26,9	13,8	14,3	15,0
unterer Horizont	22,8	16,2	17,3	18,3
Profil 25, oberer Horizont	52,0	25,8	26,1	26,3
unterer Horizont	52,8	32,0	34,7	34,2
<b>Mittelwert</b>	<b>37,2</b>	<b>24,7</b>	<b>25,2</b>	<b>26,7</b>
Mittlere Abweichung	14,3	9,5	9,5	9,1
<b>Schluffgehalte (%)</b>				
	Backenbr.	manuell	nassges. (Bearb. A)	nassges. (Bearb. B)
Profil 2, oberer Horizont	74,0	73,5	72,6	68,9
unterer Horizont	62,0	71,7	74,4	68,0
Profil 6, oberer Horizont	51,8	57,5	54,8	50,4
unterer Horizont	34,3	39,8	40,0	37,0
Profil 20, oberer Horizont	29,3	48,0	47,2	46,1
unterer Horizont	49,2	62,4	62,5	59,1
Profil 22, oberer Horizont	57,1	68,5	69,5	66,0
unterer Horizont	59,2	64,3	66,2	62,5
Profil 25, oberer Horizont	35,8	52,5	52,3	51,2
unterer Horizont	35,4	51,2	49,7	44,5
<b>Mittelwert</b>	<b>48,8</b>	<b>58,9</b>	<b>58,9</b>	<b>55,4</b>
Mittlere Abweichung	12,1	9,1	10,1	9,5
<b>Tongehalte (%)</b>				
	Backenbr.	manuell	nassges. (Bearb. A)	nassges. (Bearb. B)
Profil 2, oberer Horizont	14,8	16,1	15,7	17,4
unterer Horizont	14,1	17,5	15,1	17,5
Profil 6, oberer Horizont	18,8	17,5	20,1	22,0
unterer Horizont	9,0	10,2	10,9	11,4
Profil 20, oberer Horizont	12,9	14,2	15,4	15,5
unterer Horizont	13,0	12,7	11,4	13,7
Profil 22, oberer Horizont	16,0	17,7	16,1	19,0
unterer Horizont	17,9	19,4	16,4	19,2
Profil 25, oberer Horizont	12,2	21,6	21,5	22,5
unterer Horizont	11,8	16,9	15,6	21,3
<b>Mittelwert</b>	<b>14,1</b>	<b>16,4</b>	<b>15,8</b>	<b>18,0</b>
Mittlere Abweichung	2,3	2,5	2,2	2,9

Tabelle 4  
Grob-, Mittel- und Fein-/Feinstdandgehalte

<b>Grobsandgehalte (%)</b>				
	Backenbr.	manuell	nassges. (Bearb. A)	nassges. (Bearb. B)
Profil 2, oberer Horizont	6,7	6,6	7,6	6,5
unterer Horizont	13,7	5,3	4,0	6,0
Profil 6, oberer Horizont	18,6	17,1	16,0	17,6
unterer Horizont	31,5	32,9	30,8	30,6
Profil 20, oberer Horizont	35,3	18,7	17,2	18,0
unterer Horizont	19,9	9,5	8,9	9,6
Profil 22, oberer Horizont	19,3	10,4	10,3	10,4
unterer Horizont	14,2	10,4	10,1	10,2
Profil 25, oberer Horizont	29,5	14,0	14,2	13,7
unterer Horizont	29,9	22,8	24,4	21,4
<b>Mittelwert</b>	<b>21,9</b>	<b>14,8</b>	<b>14,4</b>	<b>14,4</b>
Mittlere Abweichung	7,8	6,5	6,2	6,0
<b>Mittelsandgehalte (%)</b>				
	Backenbr.	manuell	nassges. (Bearb. A)	nassges. (Bearb. B)
Profil 2, oberer Horizont	1,4	1,2	2,0	4,2
unterer Horizont	5,7	1,6	2,6	3,7
Profil 6, oberer Horizont	7,0	4,7	5,7	5,6
unterer Horizont	17,1	9,4	11,2	12,2
Profil 20, oberer Horizont	15,0	12,8	12,6	12,4
unterer Horizont	10,3	8,7	9,9	10,0
Profil 22, oberer Horizont	4,4	1,8	2,4	2,5
unterer Horizont	5,2	3,0	4,0	4,9
Profil 25, oberer Horizont	11,8	5,0	6,4	7,1
unterer Horizont	12,7	4,9	6,2	7,6
<b>Mittelwert</b>	<b>9,1</b>	<b>5,3</b>	<b>6,3</b>	<b>7,0</b>
Mittlere Abweichung	4,3	3,0	3,0	2,8
<b>Fein- und Feinstdandgehalte (%)</b>				
	Backenbr.	manuell	nassges. (Bearb. A)	nassges. (Bearb. B)
Profil 2, oberer Horizont	3,0	2,6	2,0	3,0
unterer Horizont	4,5	3,8	3,8	4,8
Profil 6, oberer Horizont	3,9	3,2	3,4	4,4
unterer Horizont	8,1	7,8	7,2	8,8
Profil 20, oberer Horizont	7,6	6,2	7,6	8,0
unterer Horizont	7,7	6,8	7,4	7,6
Profil 22, oberer Horizont	3,2	1,6	1,6	2,1
unterer Horizont	3,4	2,8	3,2	3,2
Profil 25, oberer Horizont	10,7	6,8	5,5	5,5
unterer Horizont	10,2	4,3	4,1	5,2
<b>Mittelwert</b>	<b>6,2</b>	<b>4,6</b>	<b>4,6</b>	<b>5,3</b>
Mittlere Abweichung	2,6	1,8	1,9	1,8

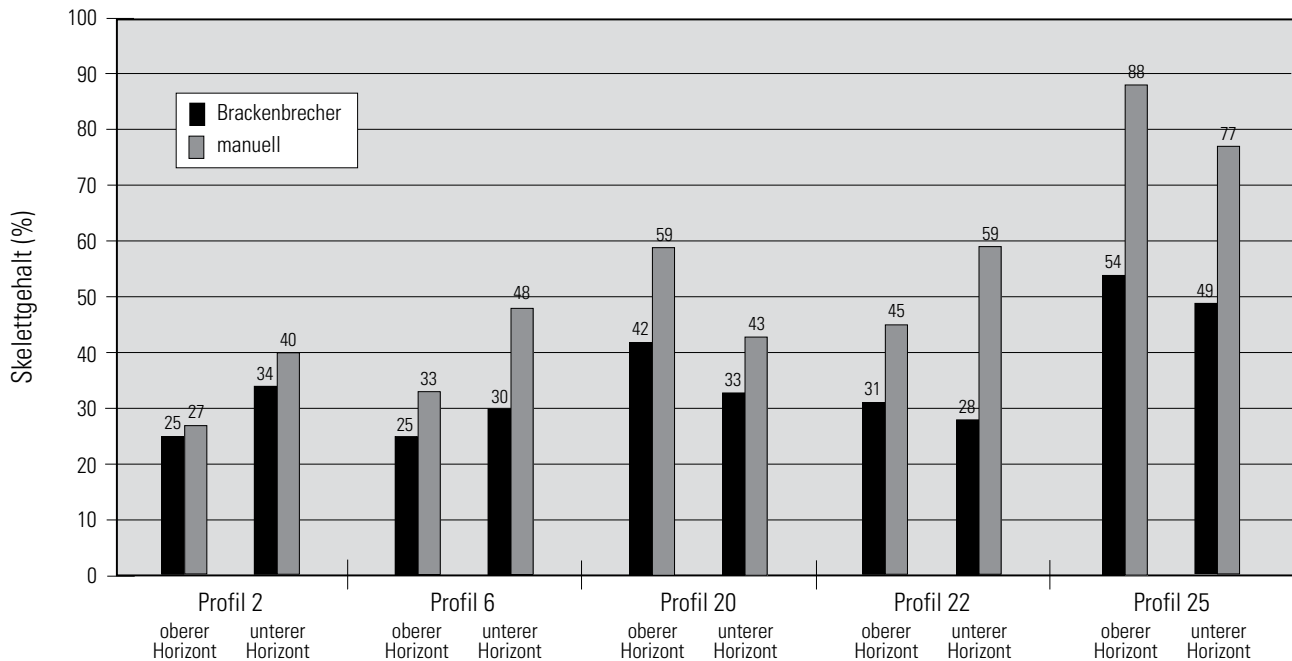


Abb. 2 Ausgesiebte Skelettanteile in Abhängigkeit von der jeweiligen Probenvorbereitung

Bei den mittels Backenbrecher vorbereiteten Proben führen die genannten Abweichungen nicht nur zu anderen Bodenarten-Untergruppen, sondern teilweise auch zu anderen hausinternen Feinbodenartengruppen (Abb. 1). Im Profil 20 fällt die Backenbrecher-Probe des oberen Horizontes in die Bodenartengruppe 5, die anderen Parallelproben in die Bodenartengruppe 6. Im unteren Horizont steht die Bodenartengruppe 6 der Bodenartengruppe 3 gegenüber. Ähnlich große Abweichungen gibt es im Profil 25. Hier werden im oberen Horizont mit der Bodenartengruppe 5 der Backenbrecher-Probe gegenüber Bodenartengruppe 3 der Parallelproben sogar die dazwischen liegenden Bodenartengruppen 4 beziehungsweise 6 übersprungen.

In den Profilen 2, 6 und 22 sind die Differenzen der Backenbrecher-Proben gegenüber den anderen Parallelproben geringer. Aber auch hier ist immer – mit Ausnahme des oberen Horizontes in Profil 2 – der Schluffanteil der Backenbrecher-Proben zugunsten des Sandanteiles vermindert.

In den Analysenblättern sind die Korngrößenverteilungen auch als Blockdiagramme und Summenkurven dargestellt (s. Anlage 1, S. 54). Es zeigt sich, dass es in den meisten Horizonten – unabhängig von der Art der Probenvorbereitung – ein auffallendes Maximum im Grobschluffbereich gibt. Dieses dürfte zum größten Teil den Lössgehalt repräsentieren. Bemerkenswert ist aber die Tatsache, dass dieses Maximum in vier von fünf Fällen auch im jeweils unteren Horizont eines Profiles auftritt, der meist der Basislage zuzuordnen ist und keinen erheblichen Lössgehalt haben sollte. An dieser Stelle nicht zu klären ist die Frage, ob das Maximum ausschließlich „real“ ist oder auch durch den Methodensprung von der Sieb- zur Schlämmanalyse beeinflusst wird.

Zusammenfassend lässt sich zu den Korngrößenanalysen sagen, dass die Ergebnisse der manuell vorbereiteten und der beiden nassgesiebten Parallelproben in allen zehn beprobten Horizonten gute bis sehr gute Übereinstimmung aufweisen.

Demgegenüber zieht die Probenvorbereitung mit dem Backenbrecher unter den gegebenen Verhältnissen mit skelettreichen Bodenproben die unzuverlässigsten Ergebnisse nach sich. In neun von zehn Fällen liefern die Backenbrecher-Proben die sandreichsten Analysen. Der Unterschied zu den jeweils drei übrigen Parallelanalysen schwankt zwischen sehr gering und sehr groß. Betrachtet man die Skelettanteile der jeweiligen Horizonte, so gibt es eine undeutliche Tendenz in Richtung „je höher der Skelettgehalt, desto größer die Differenz Backenbrecher gegenüber den übrigen Parallelproben“; gesicherte Aussagen hierüber lässt der Probenumfang allerdings nicht zu.

## 3.2 Bodenchemie

Wie bereits erläutert, wurden an jedem der zehn beprobten Bodenhorizonte drei bodenchemische Parallelanalysen an unterschiedlich aufbereitetem Probenmaterial (Backenbrecher, manuell, nach Nass-Siebung) durchgeführt. Zusätzlich erfolgte bei vielen Parametern eine Doppelbestimmung (Erst- und Zweitanalyse). Die Ergebnisse für alle Horizonte (jeweils 10 Blätter) sind zusammengestellt nach allgemeiner Chemie (Anlage 2, S. 74), effektiver Austauschkapazität (Anlage 3, S. 84), potenzieller Austauschkapazität (Anlage 4, S. 94) und Schwermetallgehalten (Anlage 5, S. 104).

### 3.2.1 Allgemeine Chemie

Analysiert wurden die pH-Werte sowie die Gehalte an Kohlenstoff, Stickstoff, Phosphor und Karbonat. Die pH-Werte für die unterschiedlichen Verfahren der Probenvorbereitung liegen insgesamt relativ nahe beieinander. Etwas deutlicher als beim pH (KCl) liegen die pH (H<sub>2</sub>O)-Werte nach Einsatz des Backenbrechers meist minimal höher als bei manueller Probenvorbereitung (Tab. 5). Die Werte der nassgesiebten Proben sind gegenüber den anderen Parallelproben im Mittel etwas niedriger, in den Horizonten des Profils 25 deutlich niedriger.

An jeder Probe wurden die Analysen für Kohlenstoff und Stickstoff als Erst- und Zweitbestimmung durchgeführt. Die Werte der Doppelbestimmungen zeigen insgesamt gute bis sehr gute Übereinstimmung.

Bei den Stickstoff-Analysen sind die Werte der Backenbrecher-Proben häufig minimal niedriger, im Profil 25 deutlich niedriger als die der beiden anderen Parallelproben. Auch die Phosphor-Gehalte haben eine Tendenz zu Minimalwerten. Die in Profil 20 bei allen Arten der Probenvorbereitung auffällig erhöhten Phosphor-Gehalte sind wahrscheinlich auf den Mineralbestand des hier vorliegenden Gesteines (Lydit) zurückzuführen.

Wie bei Stickstoff und Phosphor weisen die Backenbrecher-Proben auch beim Gehalt an organischem Kohlenstoff (C<sub>org</sub>) meist etwas niedrigere Werte auf als die beiden anderen Parallelproben; im Profil 25 sind sie stark erniedrigt (Tab. 5). Festzuhalten ist, dass sich in Profil 25 auch die Bodenarten der Backenbrecher-Proben stark von den anderen unterscheiden. Dies ist, wie die allgemein niedrigeren C<sub>org</sub>-, Stickstoff- und Phosphor-Gehalte der Backenbrecher-Proben, ein Indiz dafür, dass bei Einbezug von zertrümmerten Skelettbestandteilen Auswirkungen auf die chemischen Analysenwerte möglich sind.

Einen Sonderfall stellt der untere Horizont des Profils 2 dar, der als einziger karbonathaltiges Skelett besitzt. Die stark erhöhten Werte des Gesamt-Kohlenstoffs (C<sub>ges</sub>) der Backenbrecher-Probe (s. Anlage 2 (2), S. 75) sind auf den hohen analysierten CO<sub>3</sub>-Gehalt von 11 % (entsprechend 18 % CaCO<sub>3</sub>) zurückzuführen. Demgegenüber beträgt der CO<sub>3</sub>-Gehalt der beiden anderen Parallelproben nur 0,7 – 0,9 % (entsprechend 1 – 2 % CaCO<sub>3</sub>). Der relativ geringe Kalkgehalt der manuell vorbereiteten und nassgesiebten Probe wird bestätigt durch die im Rahmen der Kartierung durchgeführten Analyse von 1997 (mit manueller Probenvorbereitung), die in vergleichbarer Tiefe einen CO<sub>3</sub>-Gehalt von 0,8 % ergab. Da der hohe Karbonatanteil der Backenbrecher-Probe nur aus dem Bodenskelett stammen kann, ist für diese Probe ein Zerkleinern des Skeletts bis in die Sandfraktion und damit der Einbezug in die bodenchemische und bodenphysikalische Analyse wahrscheinlich. Entsprechend ist der Sandanteil dieser Backenbrecher-Probe gegenüber den drei anderen Parallelproben im Mittel um 12 %-Punkte höher. Die Größe der analysierten CO<sub>3</sub>-Differenz ist sehr erstaunlich. Inwieweit sie einen Einzelfall darstellt, kann nicht gesagt werden.

### 3.2.2 Effektive Kationen-Austauschkapazität (AKe)

Auch die Analyse der Austauschkapazitäten erfolgte als Doppelbestimmung. Hier gab es bei allen Elementen und abgeleiteten Parametern (Gesamt-Austauschkapazität und Kationen-Basensättigung) teilweise größere Abweichungen zwischen der Erst- und Zweitbestimmung. Ebenso sind teilweise deutliche Abweichungen zwischen den unterschiedlich vorbereiteten Proben zu verzeichnen. Die gemittelte Gesamt-

Tabelle 5  
pH-Werte, N- und C<sub>(org)</sub>-Gehalte

<b>pH (H<sub>2</sub>O)</b>			
	Backenbr.	manuell	nassges.
Profil 2, oberer Horizont	5,19	5,22	5,16
unterer Horizont	8,02	7,91	7,83
Profil 6, oberer Horizont	5,33	5,26	5,18
unterer Horizont	5,97	5,84	5,81
Profil 20, oberer Horizont	4,48	4,30	3,76
unterer Horizont	4,39	4,33	4,53
Profil 22, oberer Horizont	4,73	4,59	4,96
unterer Horizont	4,62	4,55	4,70
Profil 25, oberer Horizont	4,53	4,25	2,93
unterer Horizont	4,78	4,56	3,41
<b>Mittelwert</b>	<b>5,12</b>	<b>4,99</b>	<b>4,66</b>
Mittlere Abweichung	0,88	0,87	0,82
<b>N-Gehalte (%)</b>			
	Backenbr.	manuell	nassges.
Profil 2, oberer Horizont	0,23	0,24	0,23
unterer Horizont	0,14	0,18	0,17
Profil 6, oberer Horizont	0,14	0,15	0,15
unterer Horizont	0,10	0,11	0,11
Profil 20, oberer Horizont	0,14	0,17	0,18
unterer Horizont	0,11	0,12	0,12
Profil 22, oberer Horizont	0,06	0,06	0,06
unterer Horizont	0,06	0,06	0,06
Profil 25, oberer Horizont	0,11	0,20	0,20
unterer Horizont	0,10	0,16	0,16
<b>Mittelwert</b>	<b>0,12</b>	<b>0,15</b>	<b>0,14</b>
Mittlere Abweichung	0,03	0,05	0,05
<b>C<sub>(org)</sub>-Gehalte (%)</b>			
	Backenbr.	manuell	nassges.
Profil 2, oberer Horizont	2,40	2,49	2,36
unterer Horizont	1,17	1,49	1,38
Profil 6, oberer Horizont	0,87	0,93	0,94
unterer Horizont	0,35	0,44	0,43
Profil 20, oberer Horizont	2,32	2,48	2,53
unterer Horizont	1,58	1,55	1,45
Profil 22, oberer Horizont	0,39	0,51	0,45
unterer Horizont	0,32	0,36	0,35
Profil 25, oberer Horizont	1,47	3,34	3,22
unterer Horizont	1,14	2,22	2,26
<b>Mittelwert</b>	<b>1,20</b>	<b>1,58</b>	<b>1,54</b>
Mittlere Abweichung	0,59	0,84	0,84

pH-Mittelwertberechnung aus entlogarithmierten Einzelwerten;  
C- und N-Gehalte der Horizonte gemittelt aus Doppelbestimmung

Austauschkapazität der Backenbrecher-Proben ist mit 51  $\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}$  gegenüber 60 beziehungsweise 61  $\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}$  bei den Parallelproben um 15 % vermindert (Tab. 6). Dies ist vermutlich auf den höheren Sandanteil mit seiner geringen Sorptionsfähigkeit zurückzuführen.

Auch bei den einzelnen Elementgehalten gibt es teilweise erhebliche Abweichungen. So sind bei den Backenbrecher-Proben von Profil 20 (s. Anlage 3 (5/6), S. 88/89) und Profil 25 (s. Anlage 3 (9/10), S. 92/93) die Kaliumgehalte deutlich erhöht. Im Zusammenhang mit den stark abweichenden Bodenarten dieser Proben dürfte das wiederum auf den Einfluss von Gesteinsbruchstücken zurückzuführen sein (Kalium-Lösung aus der Oberfläche von Gesteinsbruchstücken durch Austauschsalze). Ferner sind die schon bekannten Auffälligkeiten aus dem unteren Horizont von Profil 2 auch bei diesen Analysen erkennbar (erhöhter Kalzium- und Magnesiumgehalt der Backenbrecher-Probe durch den gleichen Prozess wie beim Kalium). Die nassgesiebten Proben weisen besonders im Profil 22 für viele Elemente sehr stark erhöhte Werte auf, aber auch in anderen Proben gibt es – besonders bei Kalzium und Mangan – deutliche Anreicherungen.

Insgesamt erscheinen die Analysenwerte der manuell vorbereiteten Proben am vertrauenswürdigsten. Fast immer ist es so, dass nur eine der beiden anderen Parallelproben stärker abweichende Werte aufweist – mit anderen Worten: die manuell vorbereitete Probe ist immer mit einem anderen Wert „im Bunde“. Dennoch

Tabelle 6  
Effektive Kationen-Austauschkapazität und Kationen-Basensättigung

<b>Effektive Kationen-Austauschkapazität (<math>\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}</math>)</b>			
	Backenbr.	manuell	nassges.
Profil 2, oberer Horizont	104	107	104
unterer Horizont	-	-	-
Profil 6, oberer Horizont	51	50	48
unterer Horizont	32	34	37
Profil 20, oberer Horizont	54	63	64
unterer Horizont	43	44	47
Profil 22, oberer Horizont	40	46	53
unterer Horizont	46	49	55
Profil 25, oberer Horizont	49	95	91
unterer Horizont	36	53	52
<b>Mittelwert</b>	<b>51</b>	<b>60</b>	<b>61</b>
Mittlere Abweichung	13	19	17
<b>Kationen-Basensättigung (KB-Wert) (%)</b>			
	Backenbr.	manuell	nassges.
Profil 2, oberer Horizont	66	69	69
unterer Horizont	100	100	100
Profil 6, oberer Horizont	47	48	55
unterer Horizont	89	90	93
Profil 20, oberer Horizont	6	3	4
unterer Horizont	7	5	7
Profil 22, oberer Horizont	11	6	42
unterer Horizont	8	7	38
Profil 25, oberer Horizont	7	4	4
unterer Horizont	9	5	6
<b>Mittelwert</b>	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>42</b>
Mittlere Abweichung	32	34	30

Jeweilige Horizont-Werte gemittelt aus Doppelbestimmung;  
Ges.AK des unteren Horizontes aus Profil 2 nicht berücksichtigt  
(verfälschende Ca-Ergebnisse der karbonathaltigen Probe)

ergibt sich bei der errechneten Kationen-Basensättigung (KB-Wert) teilweise eine leichte Tendenz zu Minimalwerten für die manuell vorbereiteten Proben, besonders bei insgesamt sehr basenarmen Verhältnissen. Dieses erscheint durchaus plausibel, da – wie erwähnt – bei den Backenbrecher-Proben teilweise Gesteinsbruchstücke in die Analyse mit einbezogen werden. Die Gesteinsbruchstücke dürften im Allgemeinen weniger basenverarmt als der Feinboden sein; dies steht auch in Übereinstimmung mit den etwas erhöhten pH-Werten der Backenbrecher-Proben.

### 3.2.3 Potenzielle Kationen-Austauschkapazität (AKp)

Wie bei der effektiven Kationen-Austauschkapazität gab es auch bei der potenziellen Austauschkapazität teilweise merkbare Abweichungen zwischen der Erst- und Zweitbestimmung einzelner Elemente, des Rücktausches und damit der errechneten Größen (z. B. H-Wert: Summe der austauschbaren versauernd wirkenden Kationen). Zukünftige Analysenauswertungen von Austauschkapazitäten und Basensättigungen sollten im Bewusstsein dieser gewissen Fehlertoleranz erfolgen.

Tabelle 7  
Potenzielle Kationen-Austauschkapazität und Kationen-Basensättigung

<b>Potenzielle Kationen-Austauschkapazität (<math>\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}</math>)</b>			
	Backenbr.	manuell	nassges.
Profil 2, oberer Horizont	184	194	187
unterer Horizont	124	162	167
Profil 6, oberer Horizont	88	99	86
unterer Horizont	51	60	64
Profil 20, oberer Horizont	165	205	233
unterer Horizont	128	150	154
Profil 22, oberer Horizont	57	62	62
unterer Horizont	57	68	71
Profil 25, oberer Horizont	96	199	196
unterer Horizont	80	153	155
<b>Mittelwert</b>	<b>103</b>	<b>135</b>	<b>138</b>
Mittlere Abweichung	38	50	53
<b>Kationen-Basensättigung (V-Wert) (%)</b>			
	Backenbr.	manuell	nassges.
Profil 2, oberer Horizont	34	35	35
unterer Horizont	100	100	100
Profil 6, oberer Horizont	23	22	29
unterer Horizont	52	46	51
Profil 20, oberer Horizont	2	1	1
unterer Horizont	2	1	1
Profil 22, oberer Horizont	4	3	22
unterer Horizont	6	3	19
Profil 25, oberer Horizont	3	1	2
unterer Horizont	3	1	1
<b>Mittelwert</b>	<b>23</b>	<b>21</b>	<b>26</b>
Mittlere Abweichung	23	24	22

Jeweilige Horizont-Werte gemittelt aus Doppelbestimmung



Bei Bestimmung der potenziellen Austauschkapazität erfolgt die Extraktion bei einem pH-Wert von 8,2. Weil unter diesen Bedingungen die Austauscherplätze im Bereich variabler Ladungen mitgemessen werden, ist bei sauren Bodenverhältnissen das Niveau der Gesamt-Austauschkapazität (Wert des Barium-Rücktausches) höher als bei Bestimmung der effektiven Kationen-Austauschkapazität. Da in der Regel die Summe der basischen Kationen bei beiden Verfahren aber in etwa gleich ist, ergeben sich bei der Basensättigung niedrigere Werte (V-Wert der AKp niedriger als KB-Wert der AKe).

Abgesehen von diesen prinzipiellen Unterschieden zwischen effektiver und potenzieller Austauschkapazität zeigen sich hier ähnliche Tendenzen wie bei der effektiven Austauschkapazität. Die gemittelte Gesamt-Austauschkapazität der Backenbrecher-Proben liegt mit 103  $\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}$  hier sogar um ca. 25 % unter der der Parallelproben (Tab. 7). Ebenso sind die erhöhten Kaliumwerte von Profil 20 (s. Anlage 4 (5/6), S. 98/99) und Profil 25 (s. Anlage 4 (9/10), S. 102/103) wiederzufinden.

Die nassgesiebten Proben weisen auch bei der potenziellen Austauschkapazität besonders im Profil 22 stark erhöhte Werte der basischen Kationen auf; in anderen Horizonten sind demgegenüber für einige Elemente auch Minimalwerte gefunden worden.

Tabelle 8  
Zink- und Kupfergehalte

<b>Zink (mg/kg)</b>			
	Backenbr.	manuell	nassges.
Profil 2, oberer Horizont	225	235	246
unterer Horizont	154	225	230
Profil 6, oberer Horizont	178	189	199
unterer Horizont	125	136	147
Profil 20, oberer Horizont	95	128	125
unterer Horizont	113	118	117
Profil 22, oberer Horizont	95	90	95
unterer Horizont	93	92	94
Profil 25, oberer Horizont	63	87	92
unterer Horizont	82	111	115
<b>Mittelwert</b>	<b>122</b>	<b>141</b>	<b>146</b>
Mittlere Abweichung	39	45	48
<b>Kupfer (mg/kg)</b>			
	Backenbr.	manuell	nassges.
Profil 2, oberer Horizont	17	20	16
unterer Horizont	15	21	16
Profil 6, oberer Horizont	20	22	19
unterer Horizont	20	22	19
Profil 20, oberer Horizont	45	41	31
unterer Horizont	44	41	30
Profil 22, oberer Horizont	17	17	14
unterer Horizont	22	25	20
Profil 25, oberer Horizont	11	12	9
unterer Horizont	11	13	8
<b>Mittelwert</b>	<b>22</b>	<b>23</b>	<b>18</b>
Mittlere Abweichung	9	7	6

Damit gelten auch für die potenzielle Austauschkapazität die bei der Bewertung der effektiven Austauschkapazität gezogenen Schlussfolgerungen: Die manuell vorbereiteten Proben liefern die in sich stringentesten Ergebnisse, sind durchweg mit einem anderen Analysenwert „im Bunde“ und damit insgesamt am glaubwürdigsten. Backenbrecher-Proben und die nassgesiebten Proben können teilweise starke Abweichungen aufweisen, die bei letzteren zudem auch noch relativ unsystematisch sind.

### 3.2.4 Schwermetallgehalte

In den Proben dreier Horizonte erfolgte mit guter Übereinstimmung eine Doppelbestimmung der Schwermetallgehalte, alle übrigen Proben wurden nur einfach bestimmt.

Die Schwermetallgehalte zeigen bei den unterschiedlich vorbereiteten Proben meist nur geringe Abweichungen voneinander, die aber eine auffällig übereinstimmende Tendenz haben. Bei fast allen Elementen sind die Werte der Backenbrecher-Proben etwas geringer als die der manuell vorbereiteten und diese wieder geringer als die der nassgesiebten (s. Anlage 5, S. 104; beispielhaft für diese Verteilung sind die Zink-Werte in Tab. 8). Nur wenige Elemente weichen von diesem Schema ab, am deutlichsten Kupfer (Tab. 8), wo die nassgesiebten Proben durchweg die Minimalwerte bilden. Unter Verzicht auf eine inhaltliche Diskussion dieser Befunde bleibt festzuhalten, dass die manuell vorbereiteten Proben aufgrund ihrer wertemäßig meist „mittleren Lage“ die realen Verhältnisse im Feinboden am ehesten wiedergeben dürften.

## 4 Schlussfolgerungen

Die Auswertung aller Analysenergebnisse der Testprobenserie hat gezeigt, dass bei skelettreichen Bodenproben die manuelle Vorbereitung hinsichtlich der Korngrößen und der Bodenchemie die plausibelsten und zuverlässigsten Werte ergibt. Sowohl die mittels Backenbrecher vorbereiteten als auch die nassgesiebten Proben können größere systematische oder unsystematische Abweichungen von den jeweils anders vorbereiteten Proben aufweisen.

Für die mit dem Backenbrecher vorbereiteten Proben kann ein teilweiser Einbezug von zertrümmertem Skelett in die Feinbodenfraktion als gesichert gelten. Erhöhte Sandanteile – als Ausgangsfragestellung dieser Untersuchung – und damit übereinstimmende Verschiebungen in bodenchemischen Analysenwerten legen diesen Schluss nahe. Besonders problematisch können dabei Proben mit karbonathaltigem Bodenskelett werden. Die nassgesiebten Proben zeigen genauso zuverlässige Bodenartenanalysen wie die manuell vorbereiteten, aber teilweise stark abweichende bodenchemische Analysenwerte.

Bei der Behandlung eingehender Bodenproben werden diese Ergebnisse vom Geologischen Dienst NRW berücksichtigt. Folgende Konsequenzen wurden gezogen:

- **Probenvorbereitung durch Nass-Siebung**  
Eine Entfernung des Bodenskelettes durch Nass-Siebung ist sehr aufwändig. Zumindest bei den vorliegenden, nicht übermäßig tonreichen Proben ist bei der Bodenartenbestimmung keine Qualitätsverbesserung im Vergleich zur manuellen Vorbereitung getrockneter Proben zu erkennen; bodenchemisch sind teilweise erhebliche Qualitätseinbußen zu verzeichnen. Damit gibt es keine Gründe, diese Methode – außer für eventuelle Spezialfragestellungen – anzuwenden.
- **Probenvorbereitung mittels Backenbrecher nach Trocknung**  
Diese Methode fordert den geringsten Aufwand. Allerdings bringt sie die oben geschilderten Nachteile mit sich. Bei nicht zu hohen Gehalten von karbonatfreiem Skelett in den Proben werden sich eventuelle Ungenauigkeiten der bodenchemischen und -physikalischen Analysen aller Wahrscheinlichkeit nach im Rahmen halten. Vor dem Hintergrund eines Kompromisses zwischen benötigtem Aufwand bei der Probenvorbereitung einerseits und Analysegenauigkeit andererseits werden zukünftig Proben mit einem karbonatfreien Skelettgehalt bis 20 % mittels Backenbrecher vorbereitet.

- **Manuelle Probenvorbereitung nach Trocknung**

Diese gegenüber dem Backenbrecher aufwändigere Methode wird künftig routinemäßig bei Proben mit einem karbonatfreien Skelettgehalt von über 20 % angewendet, um zu große Ungenauigkeiten bei der Bodenartenbestimmung und bodenchemischen Analyse zu vermeiden.

Proben mit karbonathaltigem Skelett sind nach gegenwärtigem Kenntnisstand hinsichtlich der chemischen Analysen äußerst problematisch. Bis hier weitere Erfahrungen vorliegen, wird bei solchen Proben vorerst unabhängig vom Skelettgehalt eine manuelle Probenvorbereitung erfolgen.

Grundsätzlich ist es für die Durchführung der Probenvorbereitung und die Analysegenauigkeit von Vorteil, wenn eingehende Bodenproben möglichst wenig Skelett enthalten. Deswegen wurde in den bodenkundlichen Datenschlüssel des Geologischen Dienstes NRW (DWORSCHAK & SCHNEIDER & SCHULTE-KELLINGHAUS 2000) die Anweisung an alle Probennehmer aufgenommen, bei Standard-Bodenproben möglichst viel Bodenskelett in feldfrischem Zustand auszusortieren.

Für die Festlegung der geeigneten Probenvorbereitung werden auf dem von den Probeneinsendern auszufüllenden Formblatt „Probendokumentation/Analysenauftrag“ Angaben zum Skelettgehalt der Probe benötigt. Dazu wurden in dem Formblatt Felder geschaffen, in denen der Volumenanteil und ein eventueller Karbonatgehalt des Bodenskeletts vermerkt werden müssen.

Ein hier nicht untersuchtes Problem stellen erfahrungsgemäß Proben mit einem Tongehalt > 30 – 40 % dar, die nach der Trocknung extrem verhärtet sind und auch bei manueller Vorbereitung, die in diesem Fall besonders mühsam ist, keine zuverlässige Aussortierung des Bodenskelettes ermöglichen. Gerade diese Proben weisen aber überdurchschnittlich häufig karbonathaltiges Skelett auf, was das Problem weiter verschärft. Für diese Fälle könnte die Nass-Siebung eine sinnvolle Alternative sein. Um Aussagen darüber treffen zu können, soll diese Art der Probenvorbereitung an entsprechenden Proben aus laufenden Kartierungen zukünftig zusätzlich zur manuellen Vorbereitung durchgeführt werden.

## **5 Verzeichnis der Schriften**

DWORSCHAK, M.; SCHNEIDER, S.; SCHULTE-KELLINGHAUS, S. (2000): Anleitung zur Erfassung bodenkundlicher Daten (Datenschlüssel 1997) – 4. ergänzte Aufl.; 255 S., 1 Abb., 112 Tab.; Krefeld (Geol. L.-Amt Nordrh.-Westf., Arbeitskreis Großmaßstäbige Bodenkartierung). – [Unveröff.]

AG Boden (1996): Bodenkundliche Kartieranleitung, 4. Aufl. (veränd. Nachdruck). – 392 S., 33 Abb., 91 Tab.; Hannover.

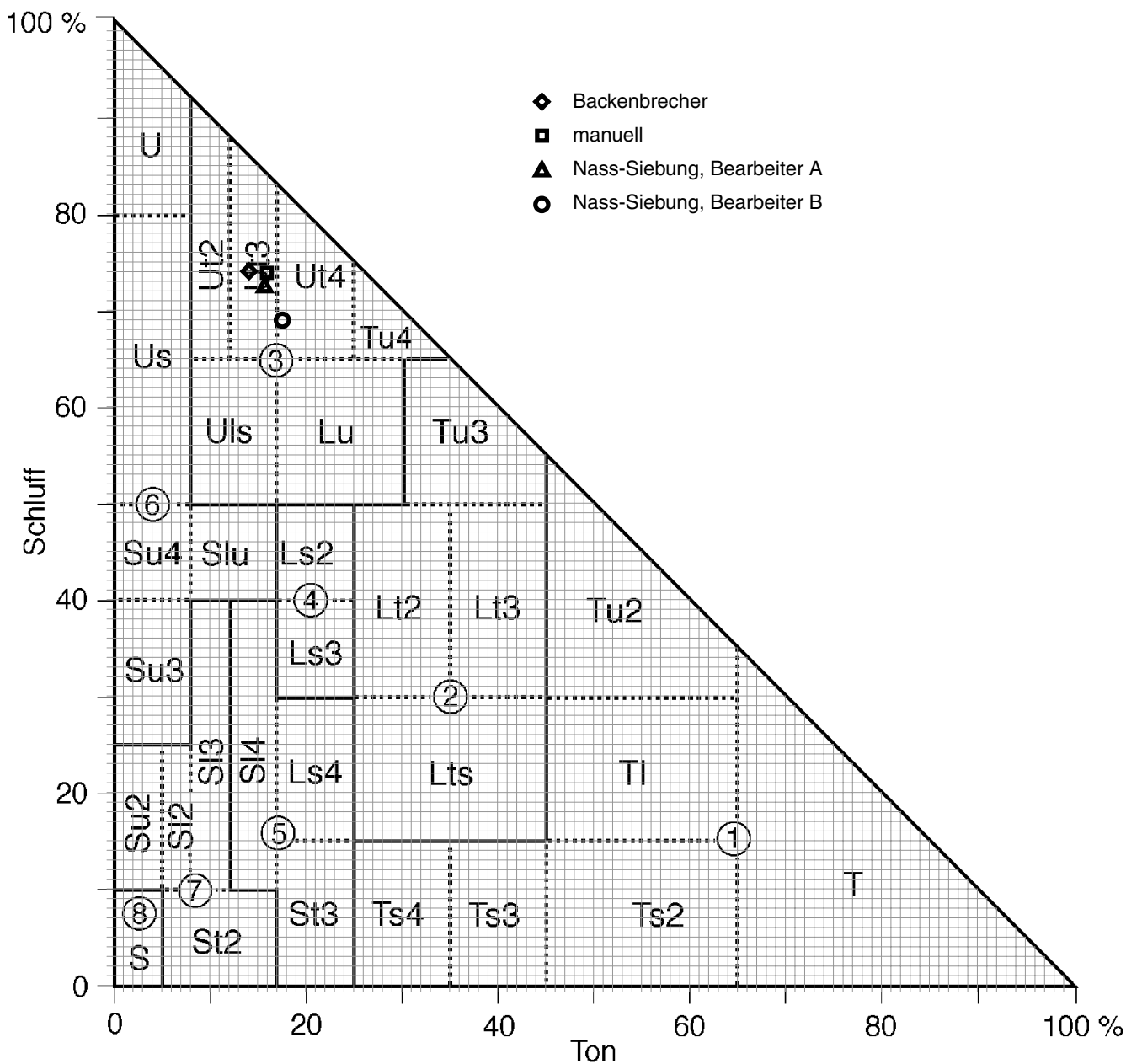


## **6 Anlagen**

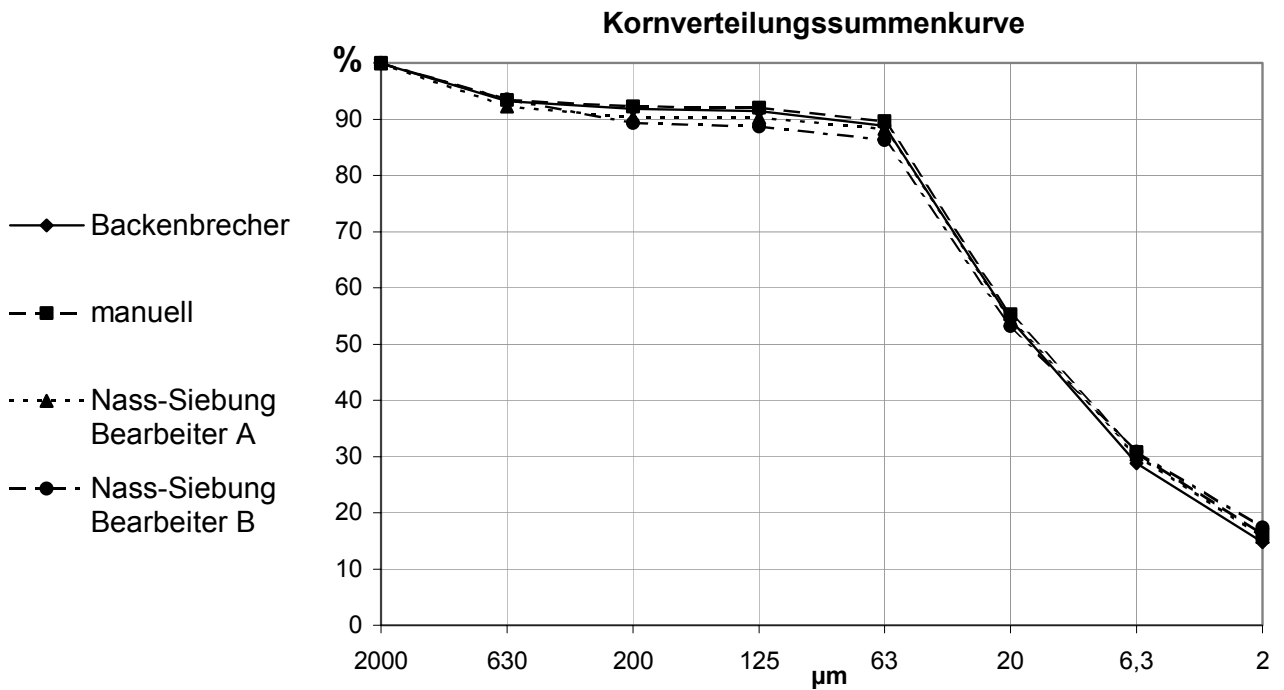
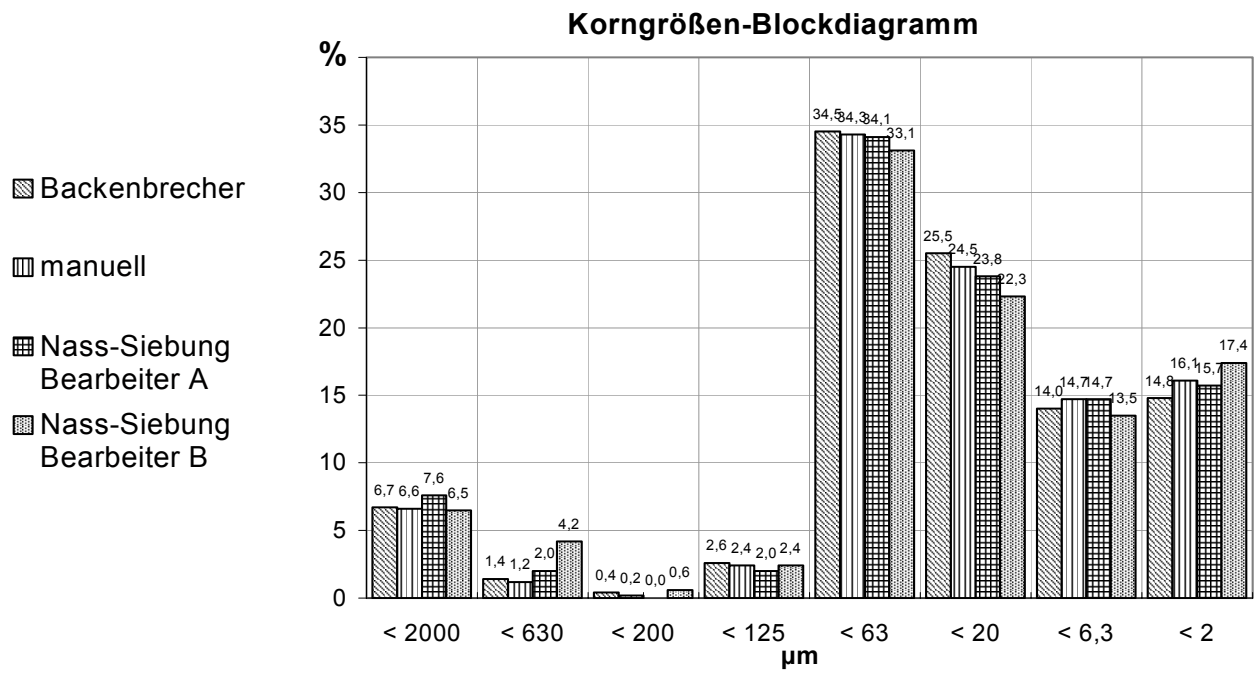
<b>Anlage 1</b>	Korngrößenanalysen (Bodenartendreiecke, Blockdiagramme, Summenkurven)
<b>Anlage 2</b>	Allgemeine Chemie (pH, C, N, P)
<b>Anlage 3</b>	Effektive Kationen-Austauschkapazität
<b>Anlage 4</b>	Potenzielle Kationen-Austauschkapazität
<b>Anlage 5</b>	Schwermetallgehalte

### Profil 2, oberer Horizont (Bv-Ah)

Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	14,8	14,0	25,5	34,5	74,0	2,6	0,4	1,4	6,7	11,1	Ut3
manuell	16,1	14,7	24,5	34,3	73,5	2,4	0,2	1,2	6,6	10,4	Ut3
Nass-Siebung Bearbeiter A	15,7	14,7	23,8	34,1	72,6	2,0	0,0	2,0	7,6	11,6	Ut3
Nass-Siebung Bearbeiter B	17,4	13,5	22,3	33,1	68,9	2,4	0,6	4,2	6,5	13,7	Ut4

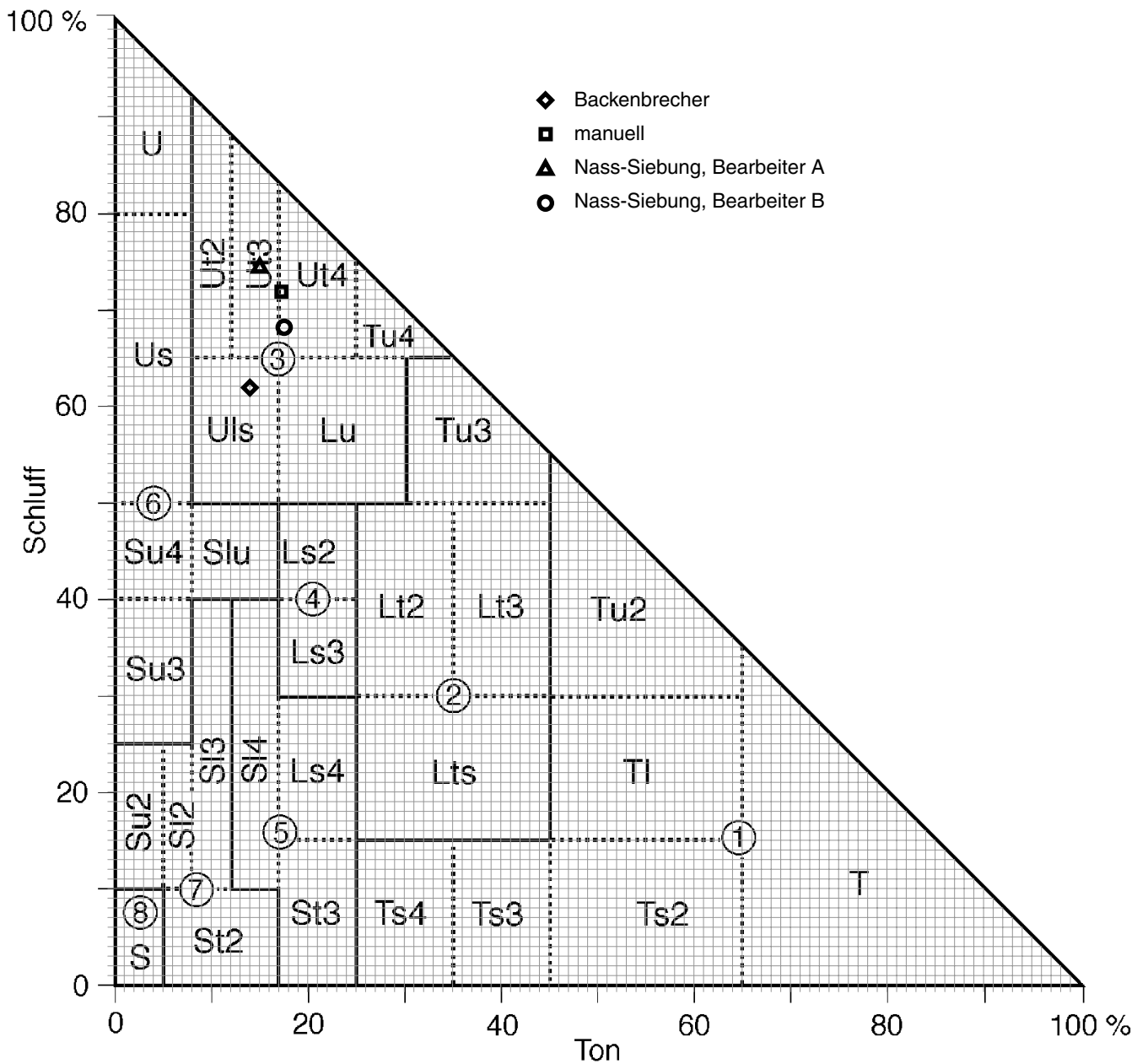


**Profil 2, oberer Horizont (Bv-Ah)**



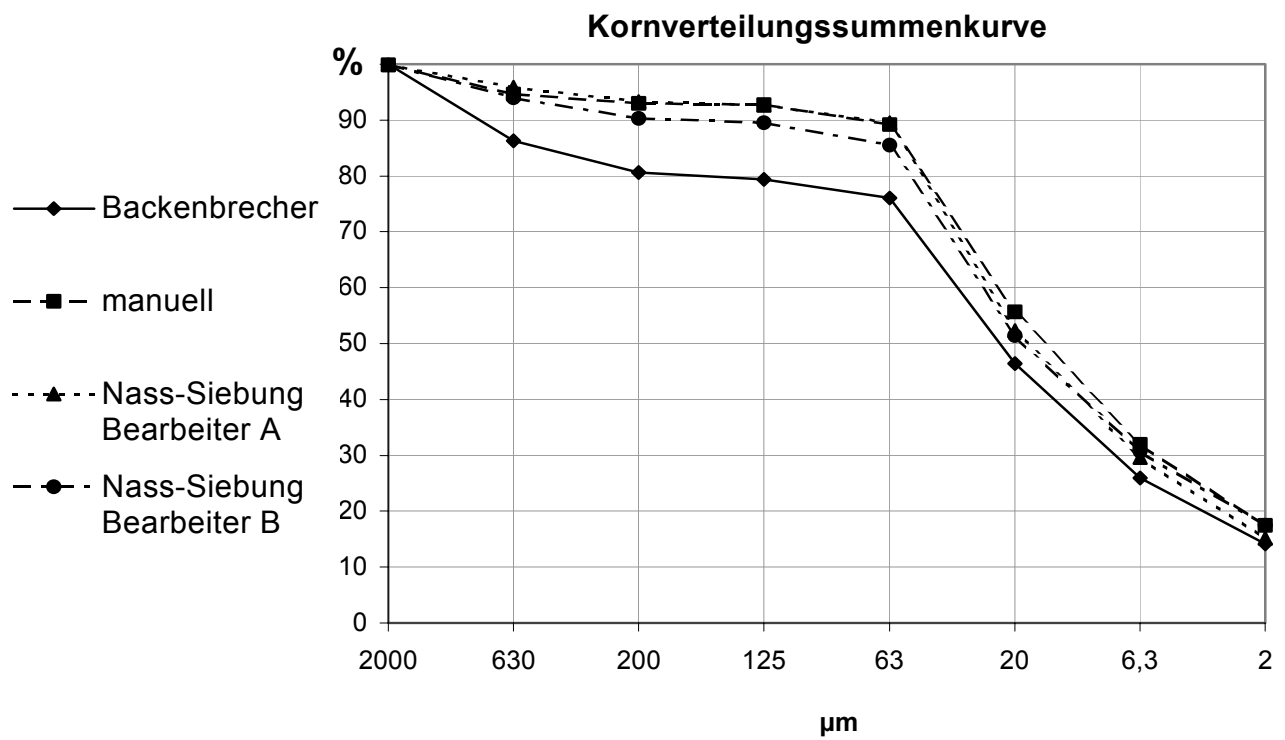
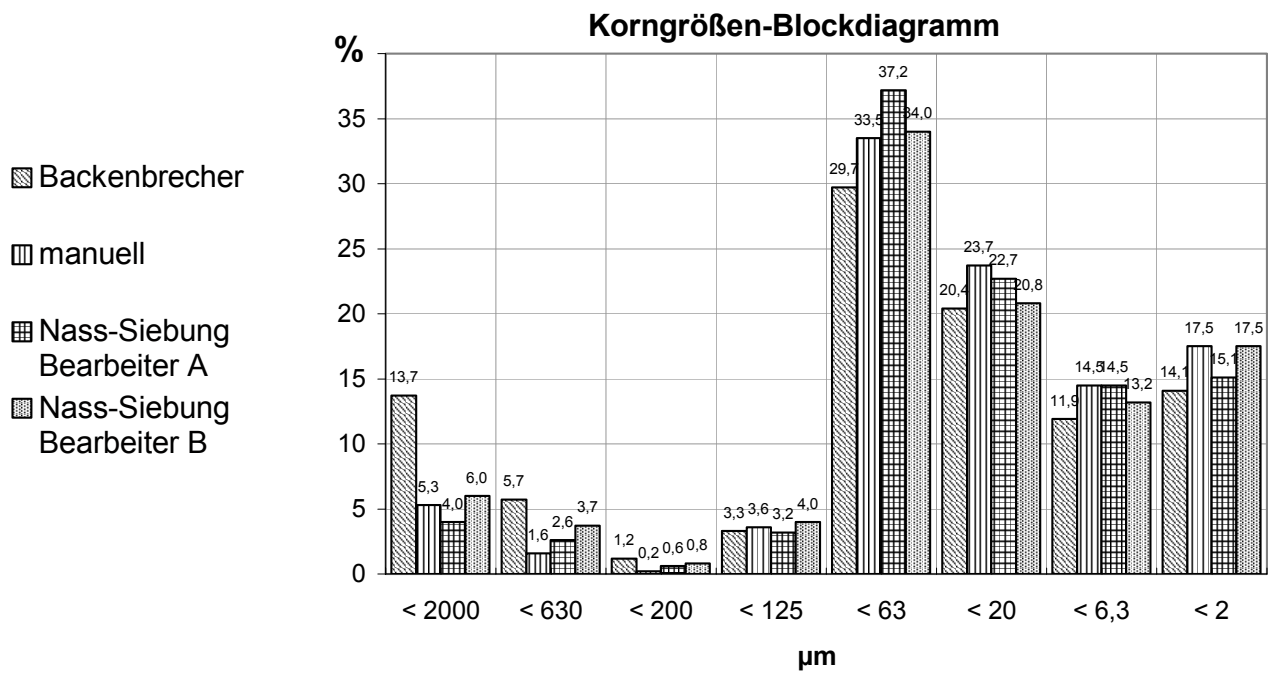
**Profil 2, unterer Horizont (Bv)**

Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	14,1	11,9	20,4	29,7	62,0	3,3	1,2	5,7	13,7	23,9	Uls
manuell	17,5	14,5	23,7	33,5	71,7	3,6	0,2	1,6	5,3	10,7	Ut4
Nass-Siebung Bearbeiter A	15,1	14,5	22,7	37,2	74,4	3,2	0,6	2,6	4,0	10,4	Ut3
Nass-Siebung Bearbeiter B	17,5	13,2	20,8	34,0	68,0	4,0	0,8	3,7	6,0	14,5	Ut4



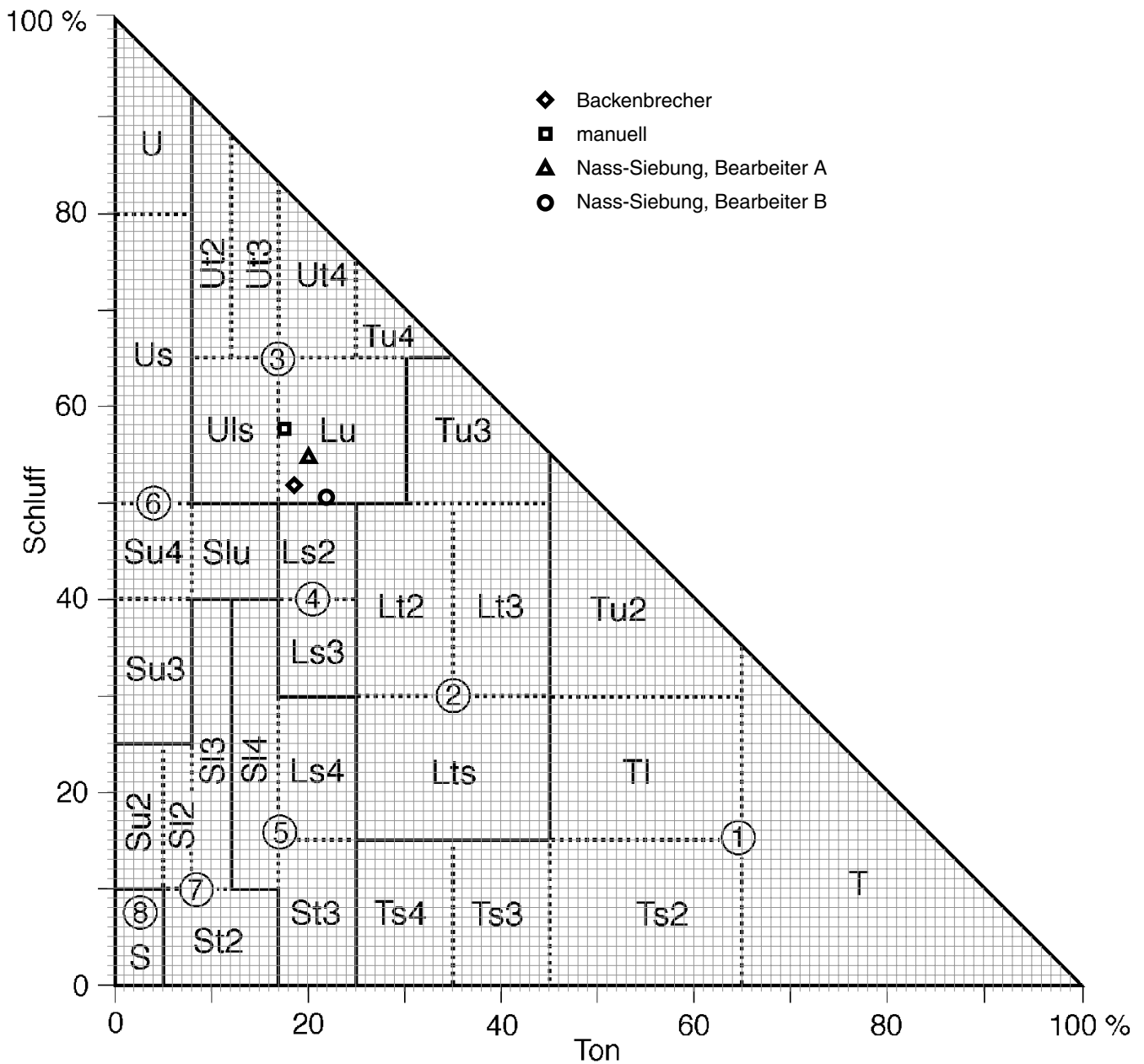


### Profil 2, unterer Horizont (Bv)

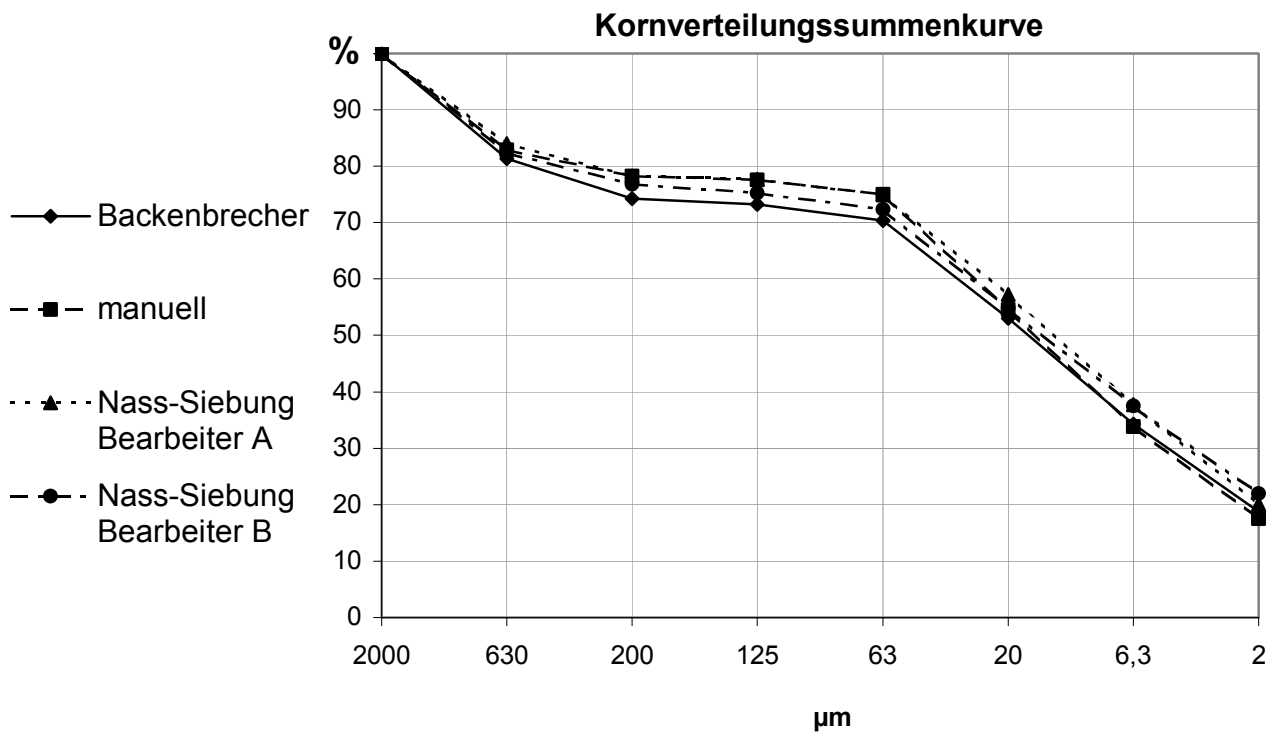
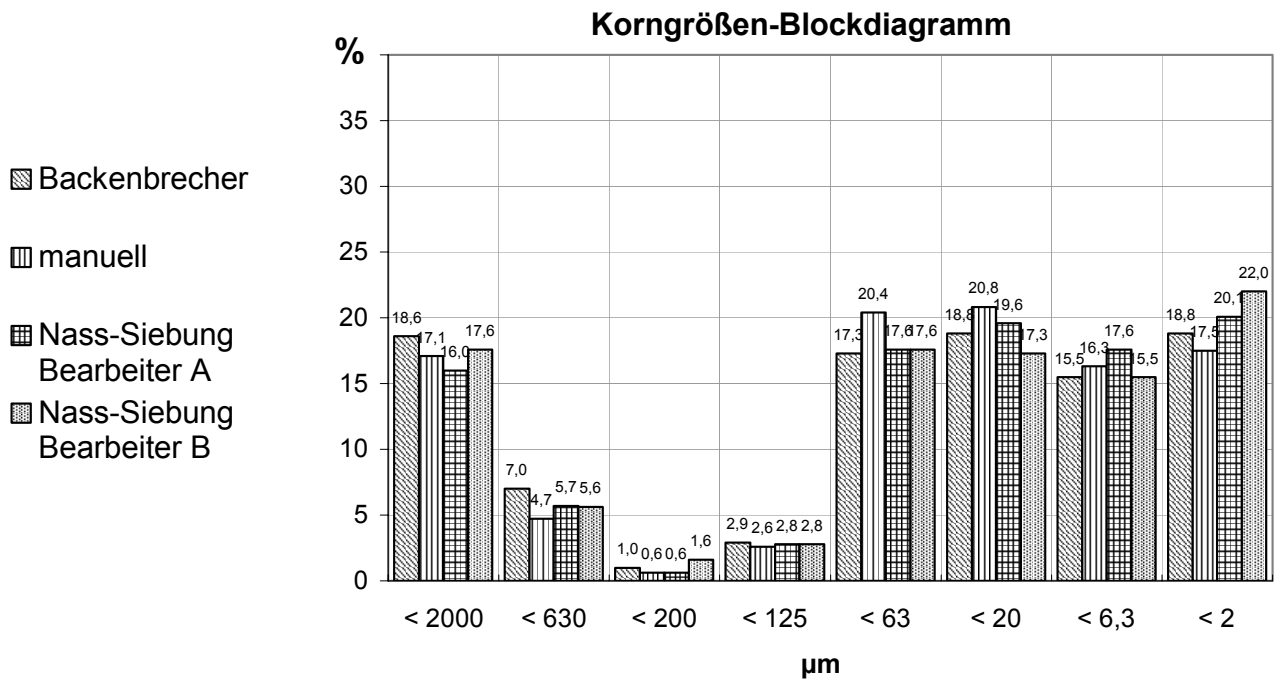


**Profil 6, oberer Horizont (Bv)**

Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	18,8	15,5	18,8	17,3	51,6	2,9	1,0	7,0	18,6	29,5	Lu
manuell	17,5	16,3	20,8	20,4	57,5	2,6	0,6	4,7	17,1	25,0	Lu
Nass-Siebung Bearbeiter A	20,1	17,6	19,6	17,6	54,8	2,8	0,6	5,7	16,0	25,1	Lu
Nass-Siebung Bearbeiter B	22,0	15,5	17,3	17,6	50,4	2,8	1,6	5,6	17,6	27,6	Lu

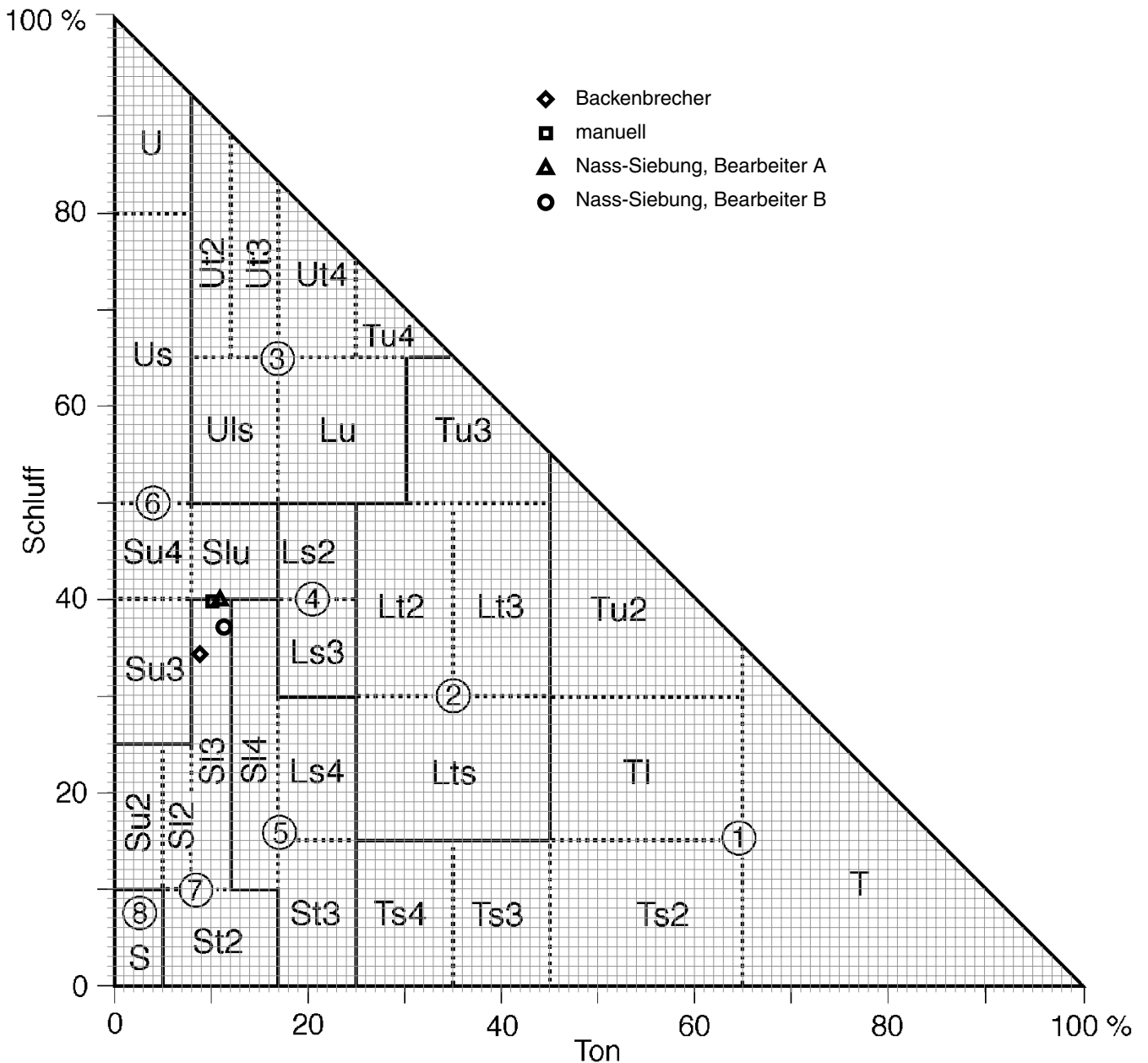


**Profil 6, oberer Horizont (Bv)**



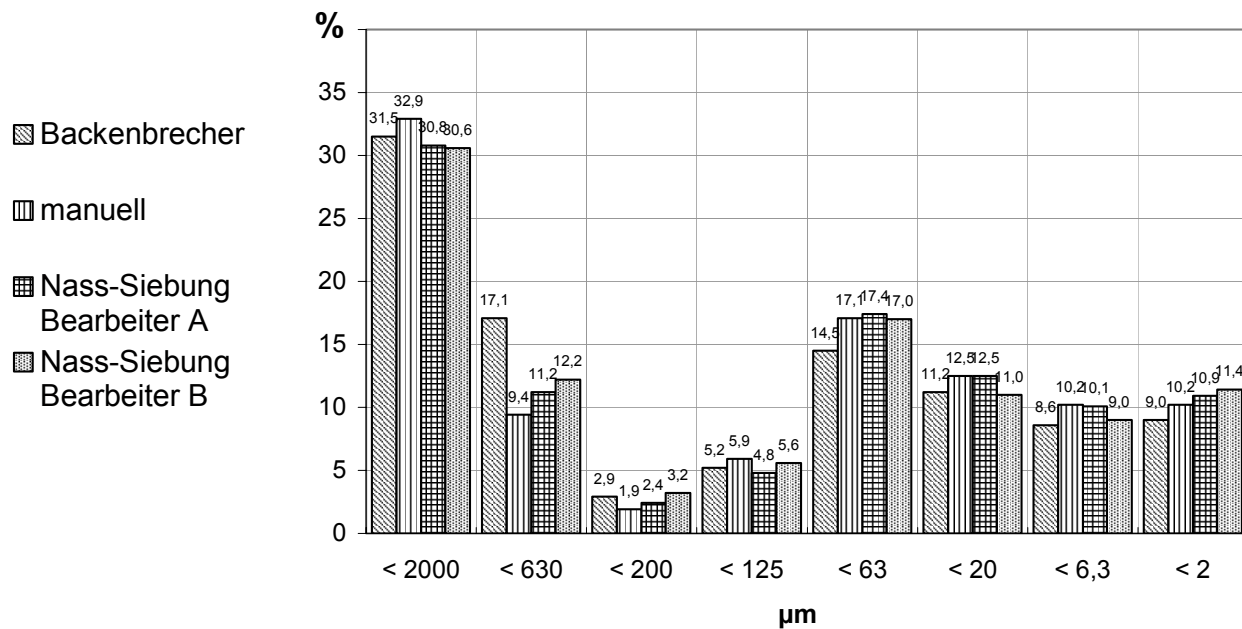
**Profil 6, unterer Horizont (Bv-Cv)**

Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	9,0	8,6	11,2	14,5	34,3	5,2	2,9	17,1	31,5	56,7	SI3
manuell	10,2	10,2	12,5	17,1	39,8	5,9	1,9	9,4	32,9	50,1	SI3
Nass-Siebung Bearbeiter A	10,9	10,1	12,5	17,4	40,0	4,8	2,4	11,2	30,8	49,2	SI3
Nass-Siebung Bearbeiter B	11,4	9,0	11,0	17,0	37,0	5,6	3,2	12,2	30,6	51,6	SI3

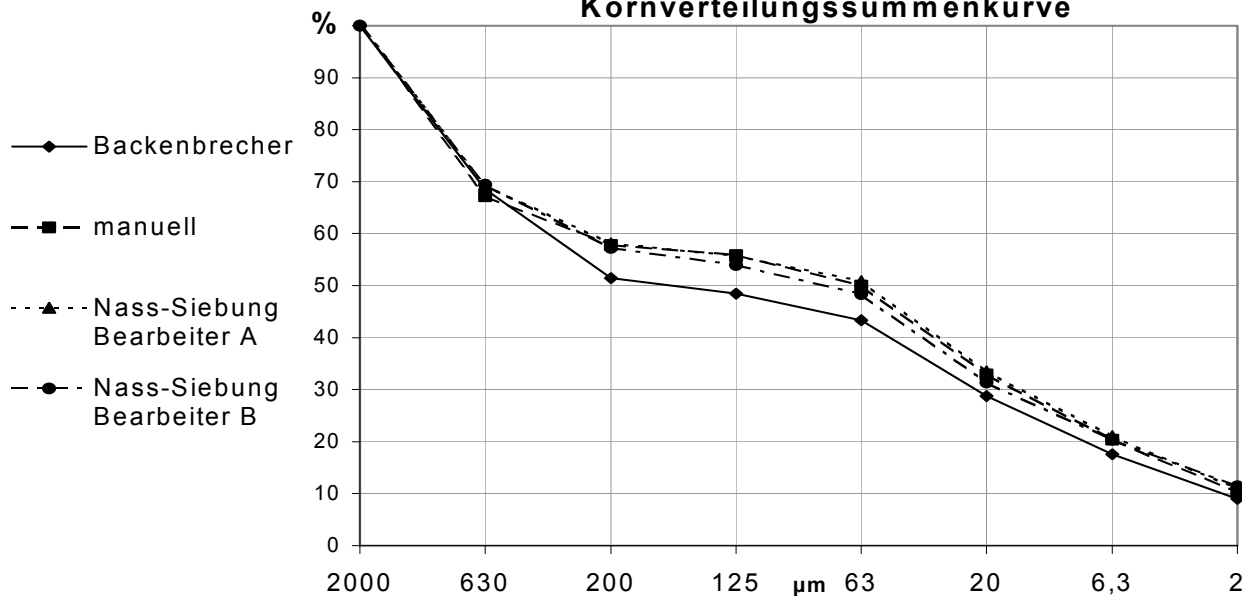


### Profil 6, unterer Horizont (Bv-Cv)

#### Korngrößen-Blockdiagramm

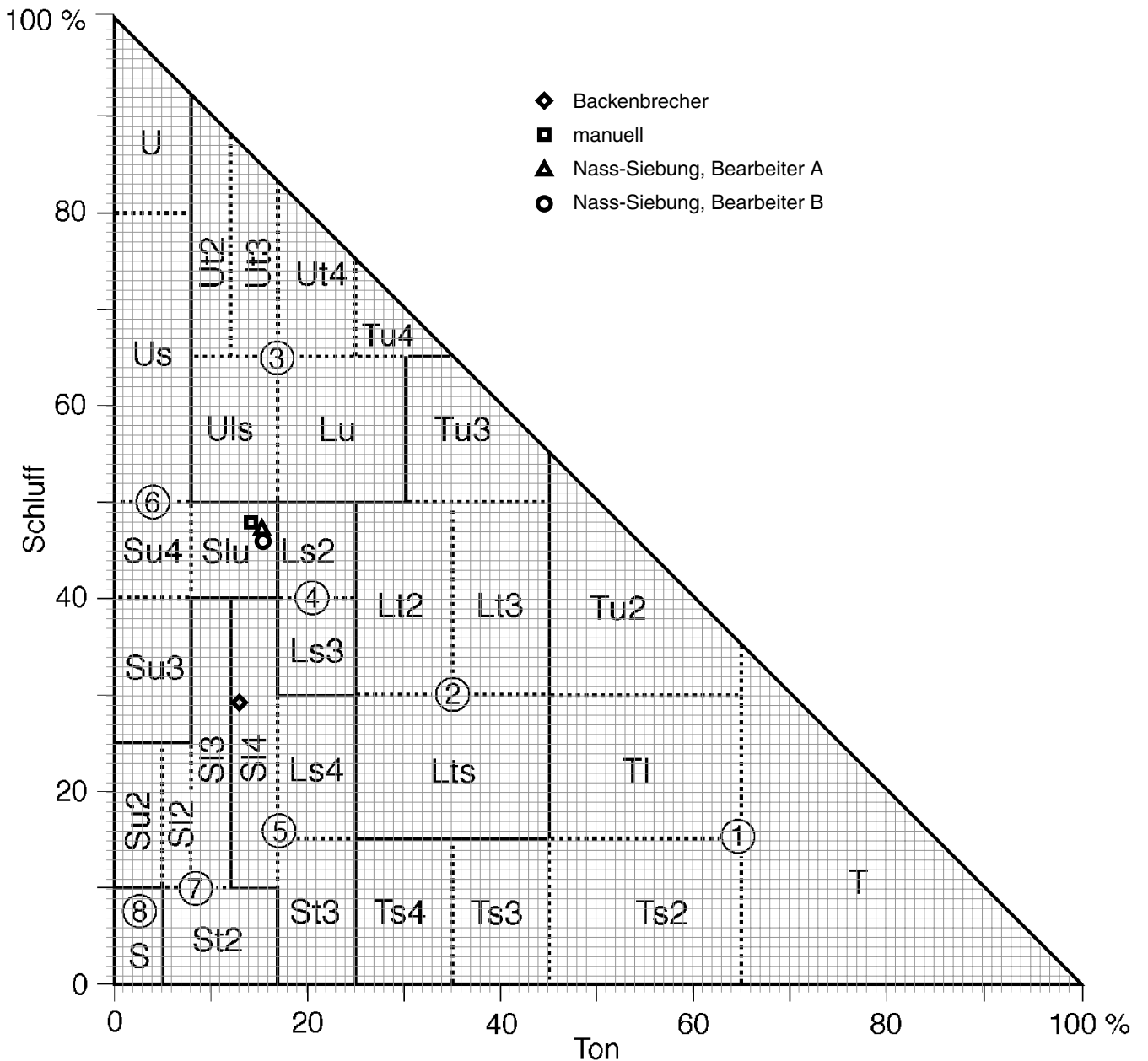


#### Kornverteilungssummenkurve

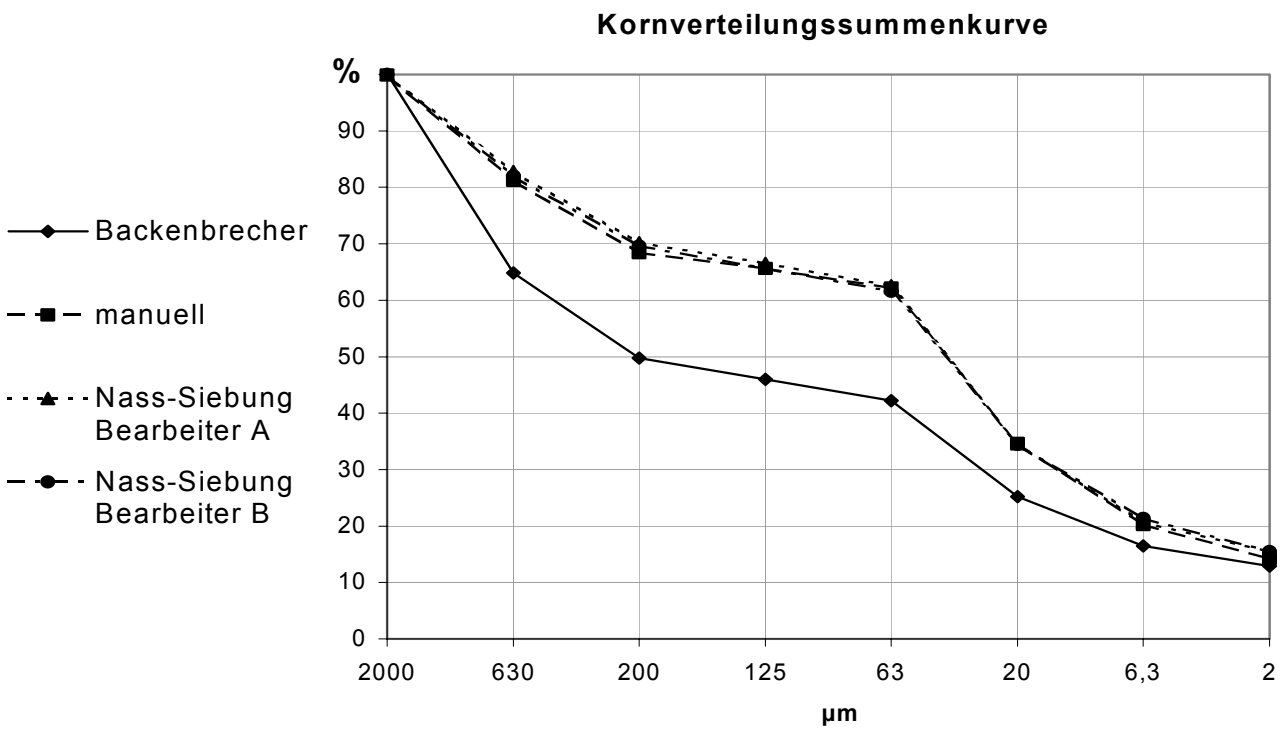
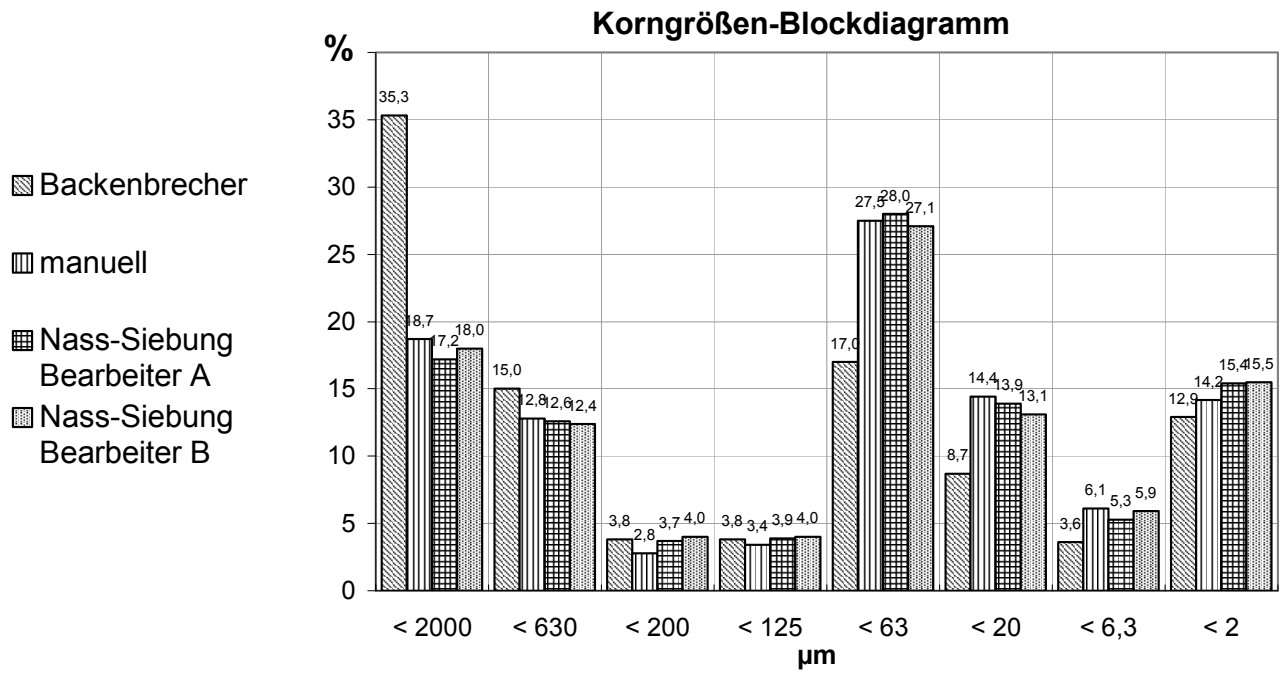


**Profil 20, oberer Horizont (Bvs)**

Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	12,9	3,6	8,7	17,0	29,3	3,8	3,8	15,0	35,3	57,9	SI4
manuell	14,2	6,1	14,4	27,5	48,0	3,4	2,8	12,8	18,7	37,7	Slu
Nass-Siebung Bearbeiter A	15,4	5,3	13,9	28,0	47,2	3,9	3,7	12,6	17,2	37,4	Slu
Nass-Siebung Bearbeiter B	15,5	5,9	13,1	27,1	46,1	4,0	4,0	12,4	18,0	38,4	Slu

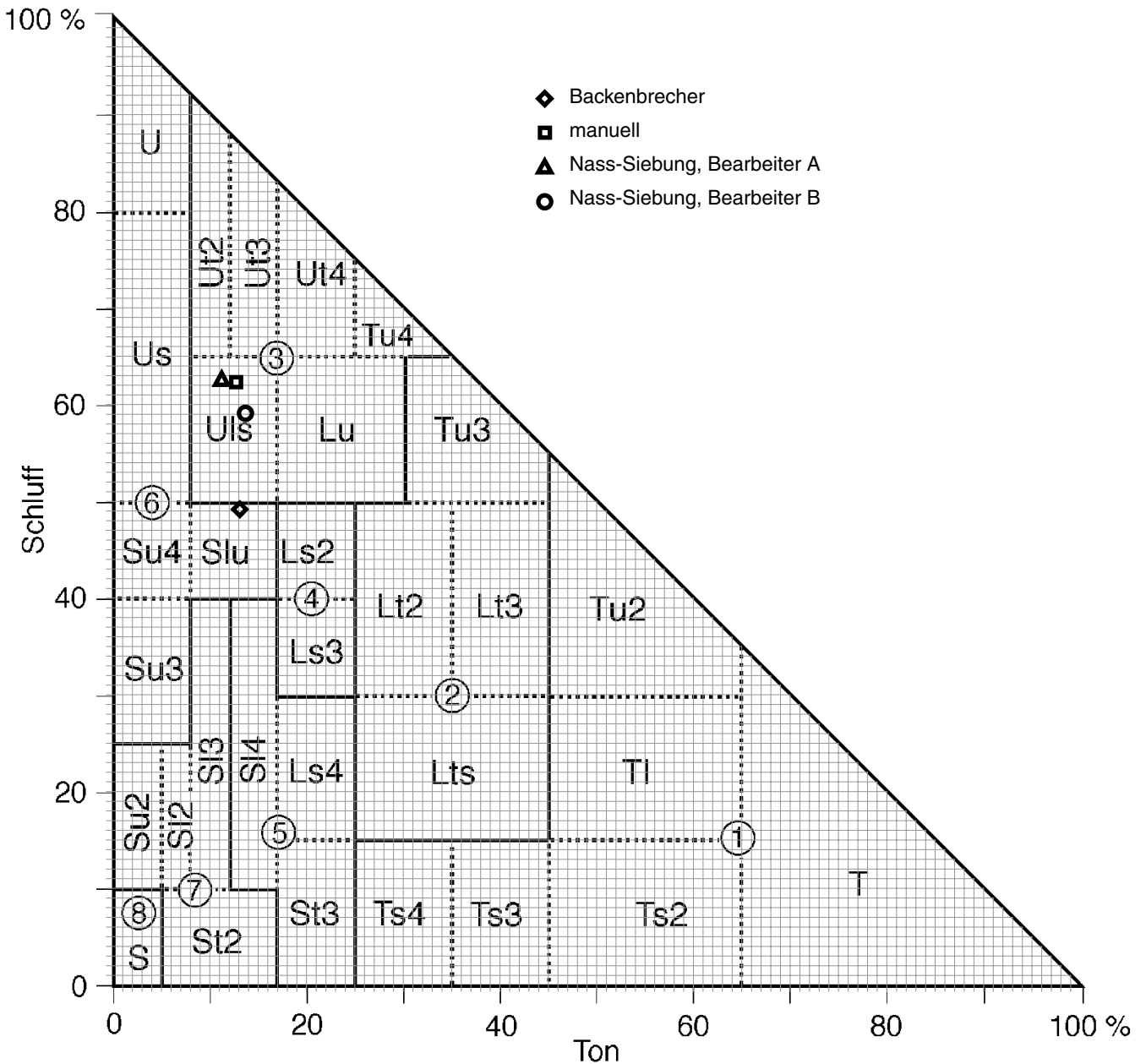


**Profil 20, oberer Horizont (Bvs)**



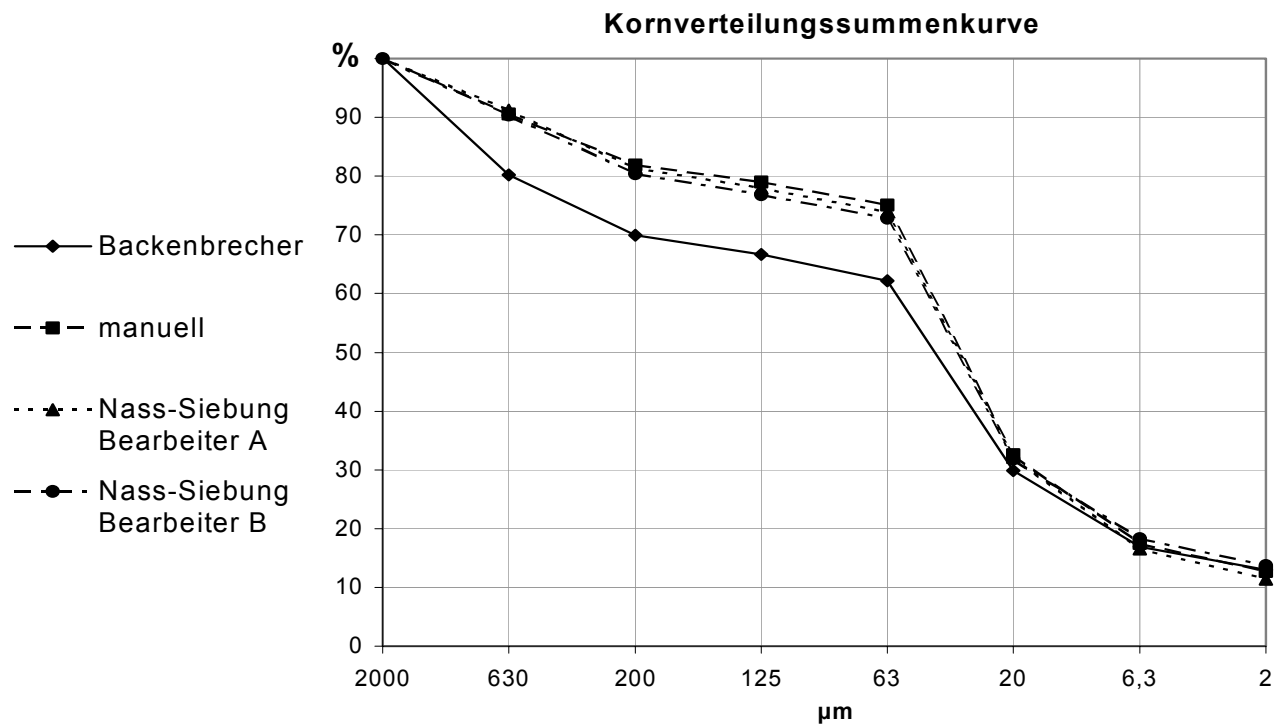
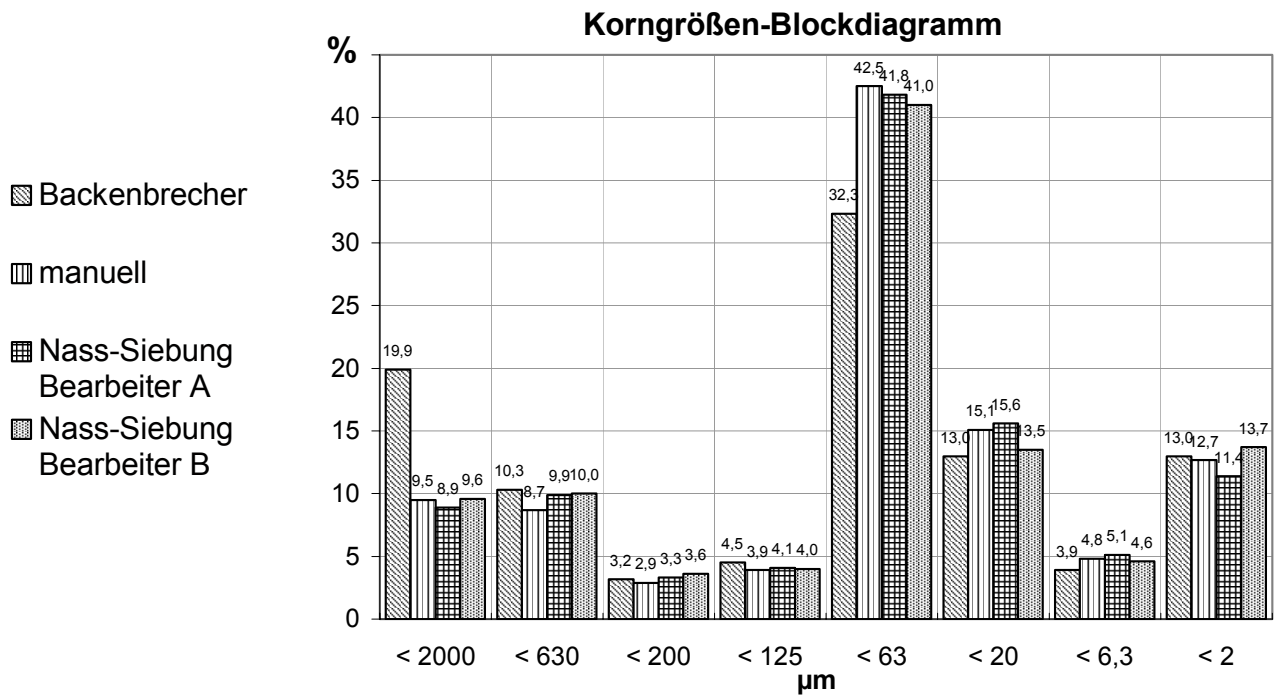
**Profil 20, unterer Horizont (Bv-Cv)**

Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	13,0	3,9	13,0	32,3	49,2	4,5	3,2	10,3	19,9	37,9	Slu
manuell	12,7	4,8	15,1	42,5	62,4	3,9	2,9	8,7	9,5	25,0	Uls
Nass-Siebung Bearbeiter A	11,4	5,1	15,6	41,8	62,5	4,1	3,3	9,9	8,9	26,2	Uls
Nass-Siebung Bearbeiter B	13,7	4,6	13,5	41,0	59,1	4,0	3,6	10,0	9,6	27,2	Uls



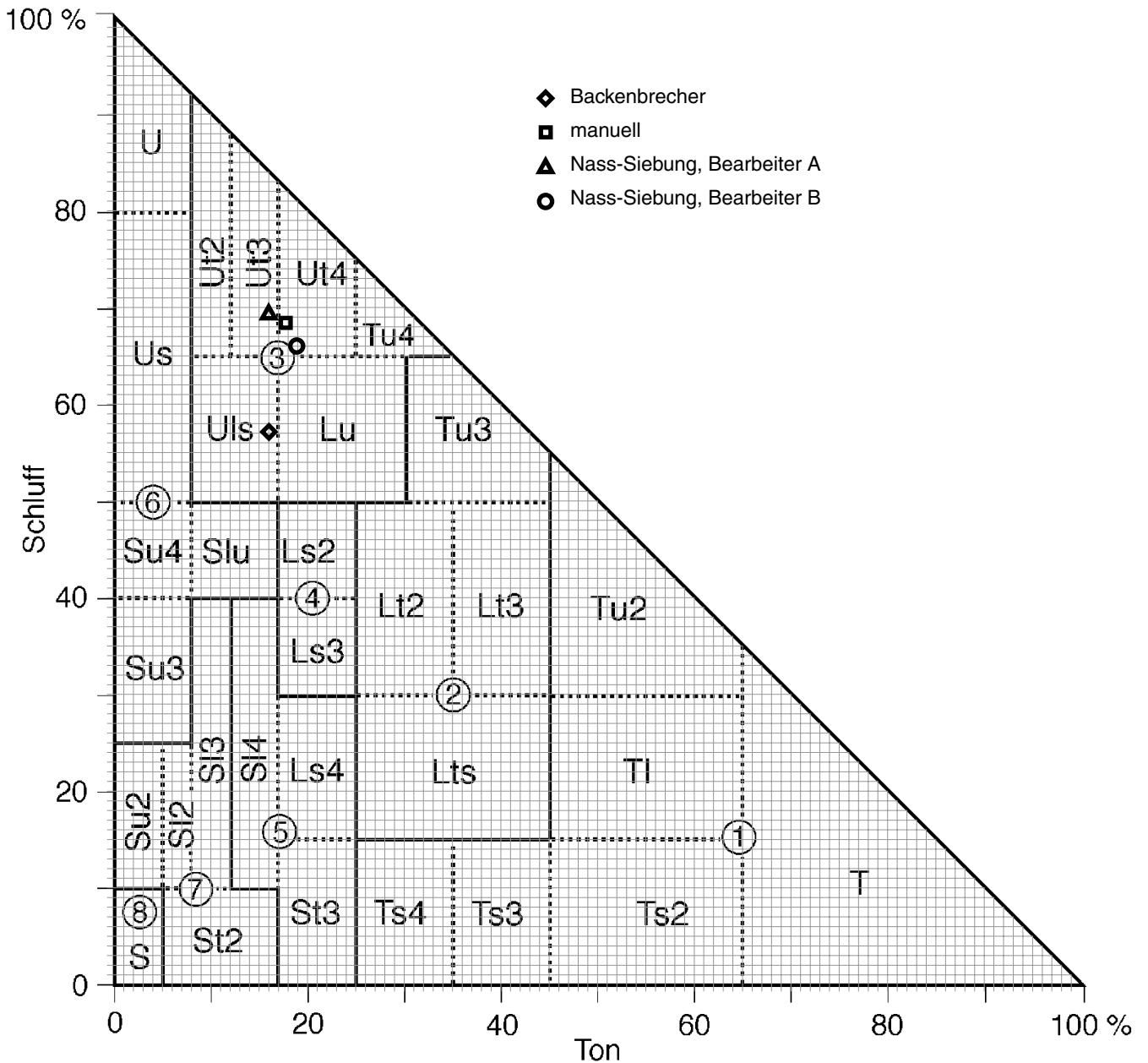


**Profil 20, unterer Horizont (Bv-Cv)**

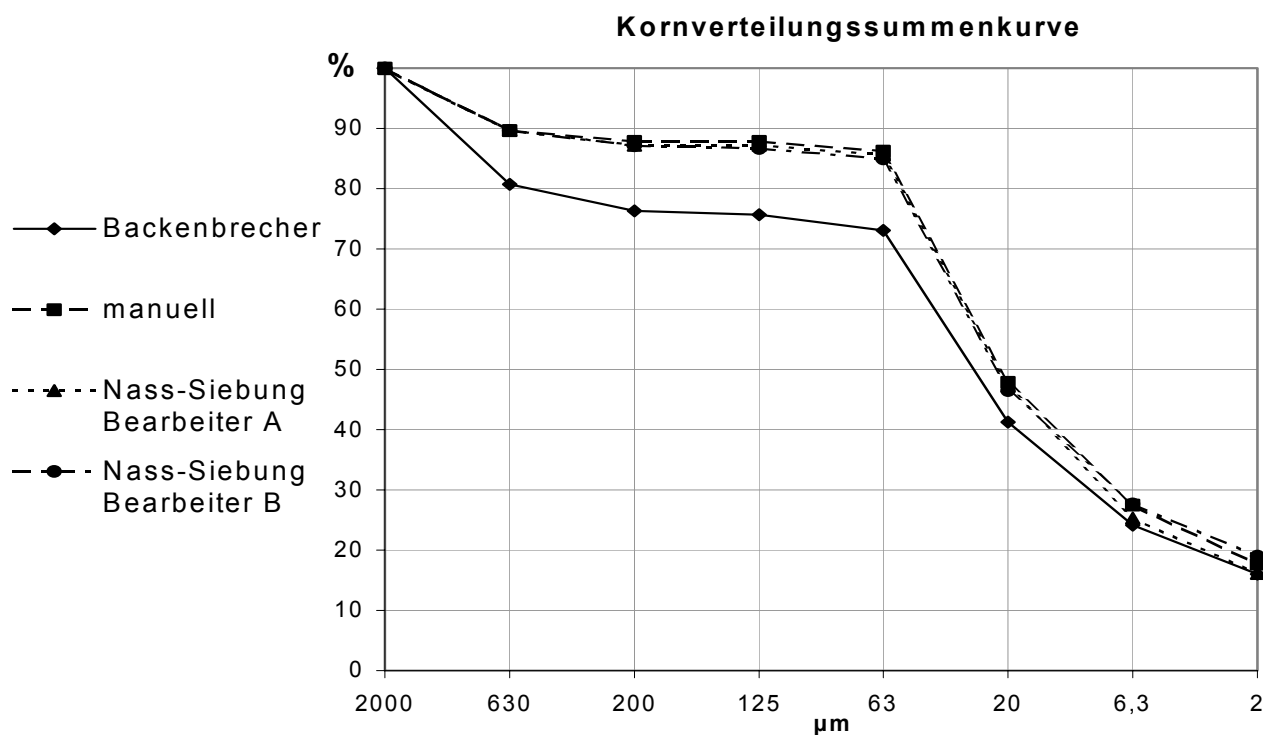
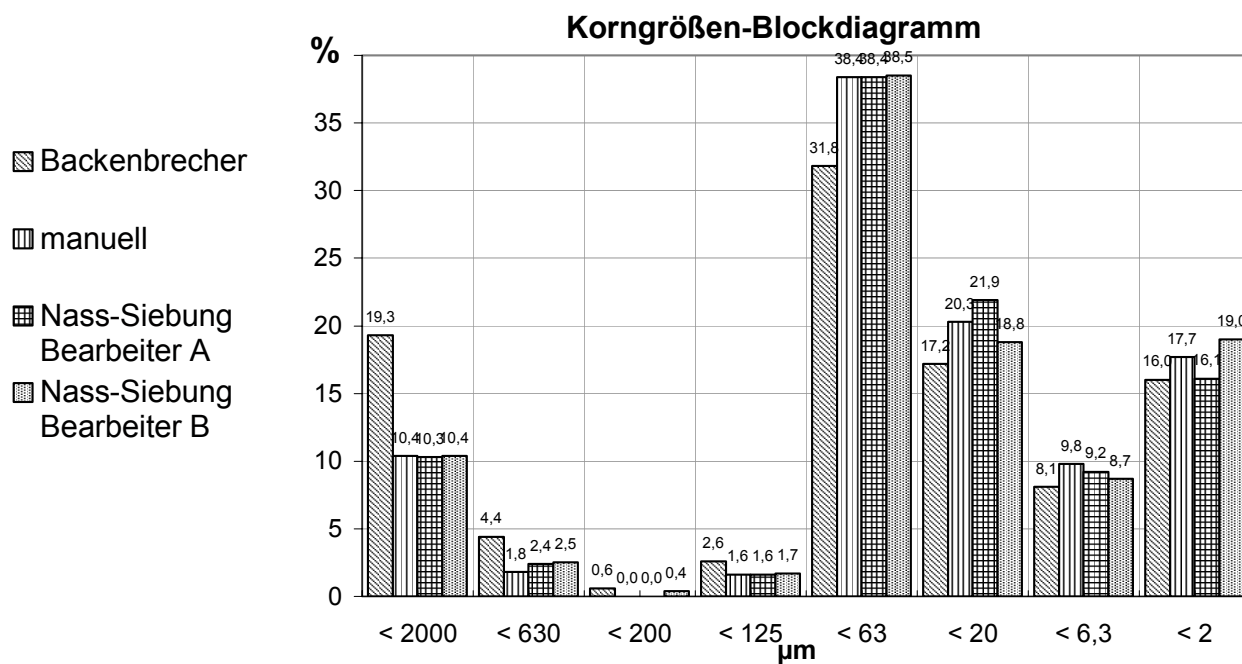


**Profil 22, oberer Horizont (Bv)**

Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	16,0	8,1	17,2	31,8	57,1	2,6	0,6	4,4	19,3	26,9	Uls
manuell	17,7	9,8	20,3	38,4	68,5	1,6	0,0	1,8	10,4	13,8	Ut4
Nass-Siebung Bearbeiter A	16,1	9,2	21,9	38,4	69,5	1,6	0,0	2,4	10,3	14,3	Ut3
Nass-Siebung Bearbeiter B	19,0	8,7	18,8	38,5	66,0	1,7	0,4	2,5	10,4	15,0	Ut4

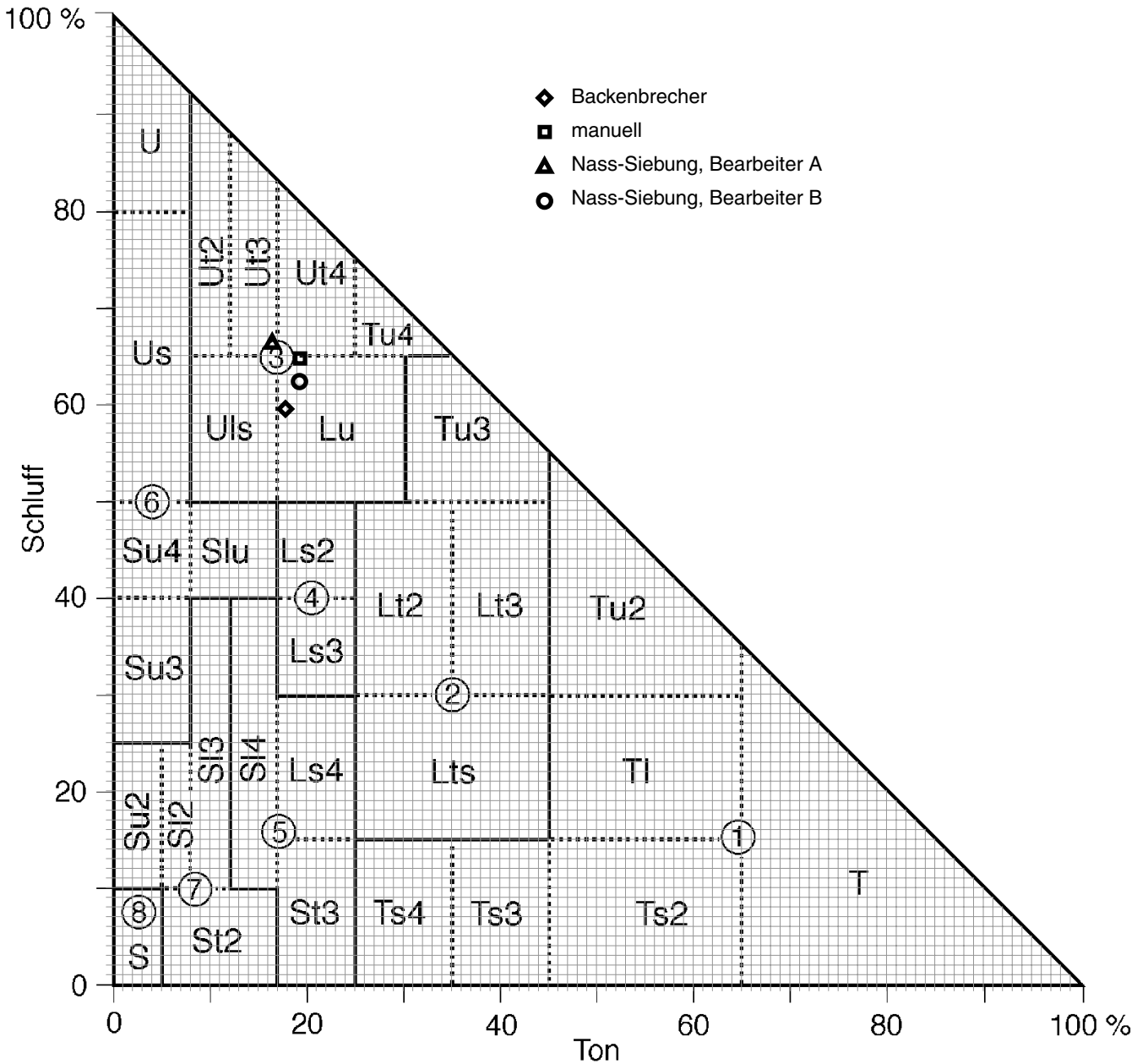


### Profil 22, oberer Horizont (Bv)

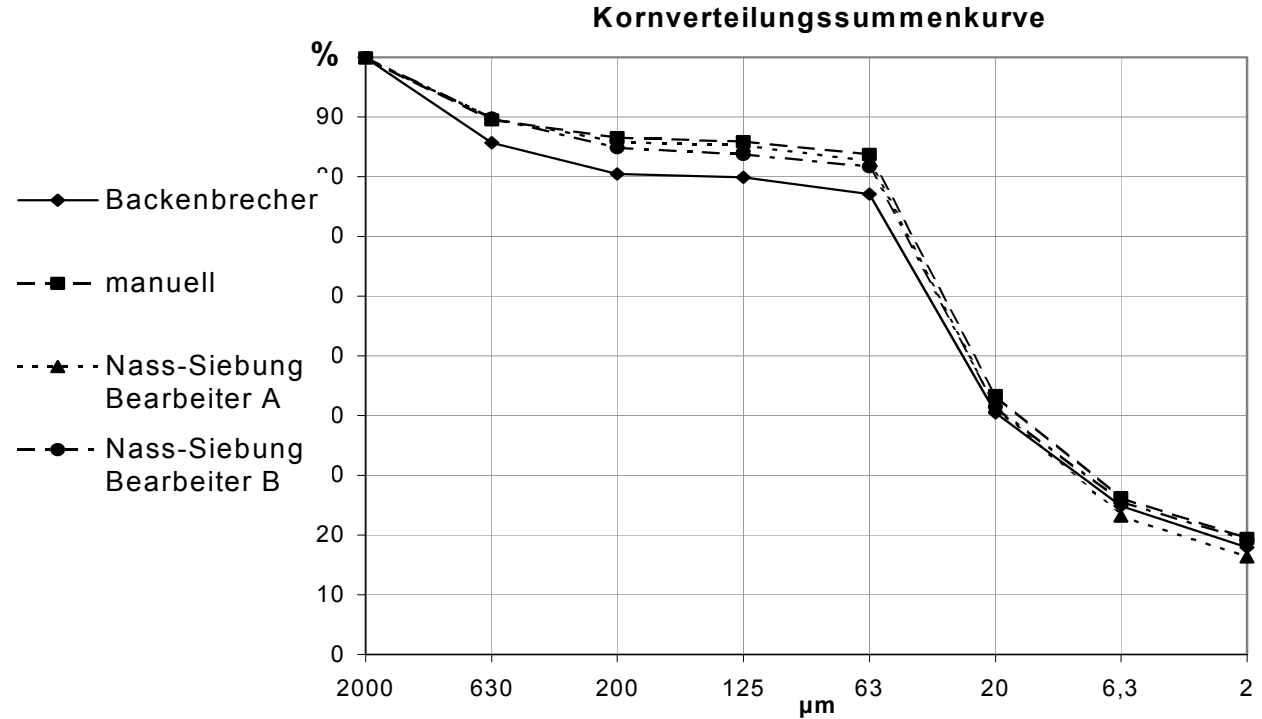
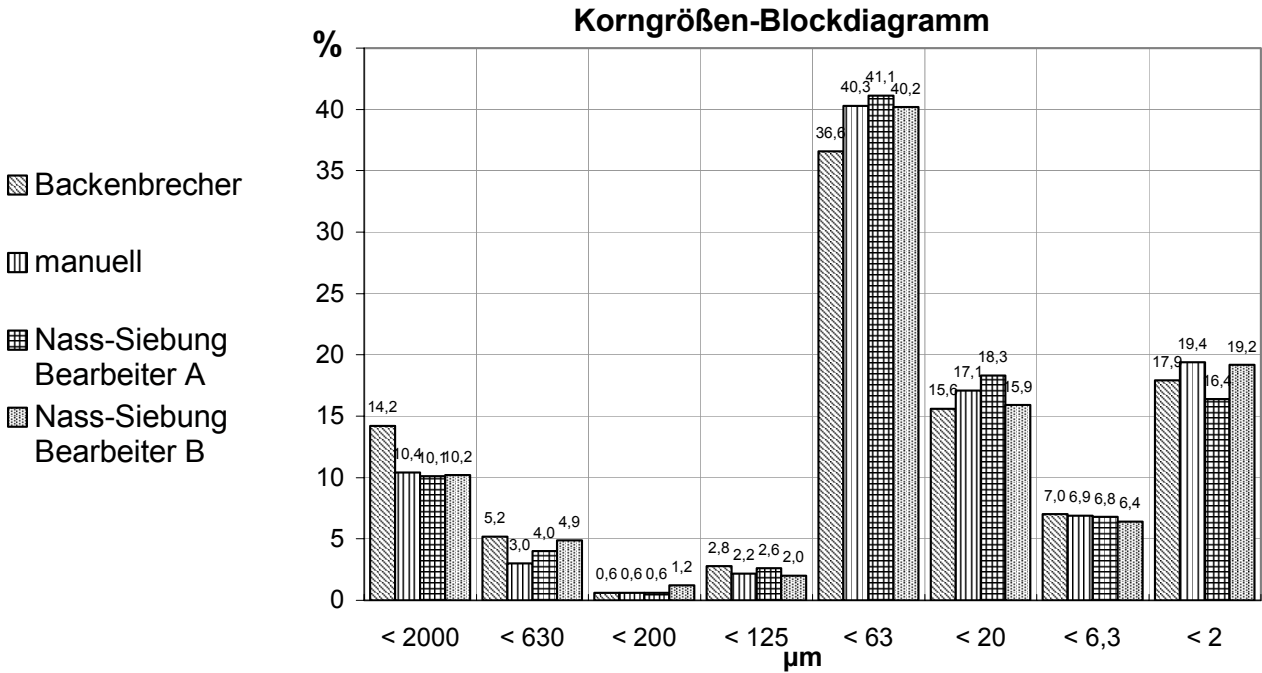


**Profil 22, unterer Horizont (Bv-Cv)**

Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	17,9	7,0	15,6	36,6	59,2	2,8	0,6	5,2	14,2	22,8	Lu
manuell	19,4	6,9	17,1	40,3	64,3	2,2	0,6	3,0	10,4	16,2	Lu
Nass-Siebung Bearbeiter A	16,4	6,8	18,3	41,1	66,2	2,6	0,6	4,0	10,1	17,3	Ut3
Nass-Siebung Bearbeiter B	19,2	6,4	15,9	40,2	62,5	2,0	1,2	4,9	10,2	18,3	Lu

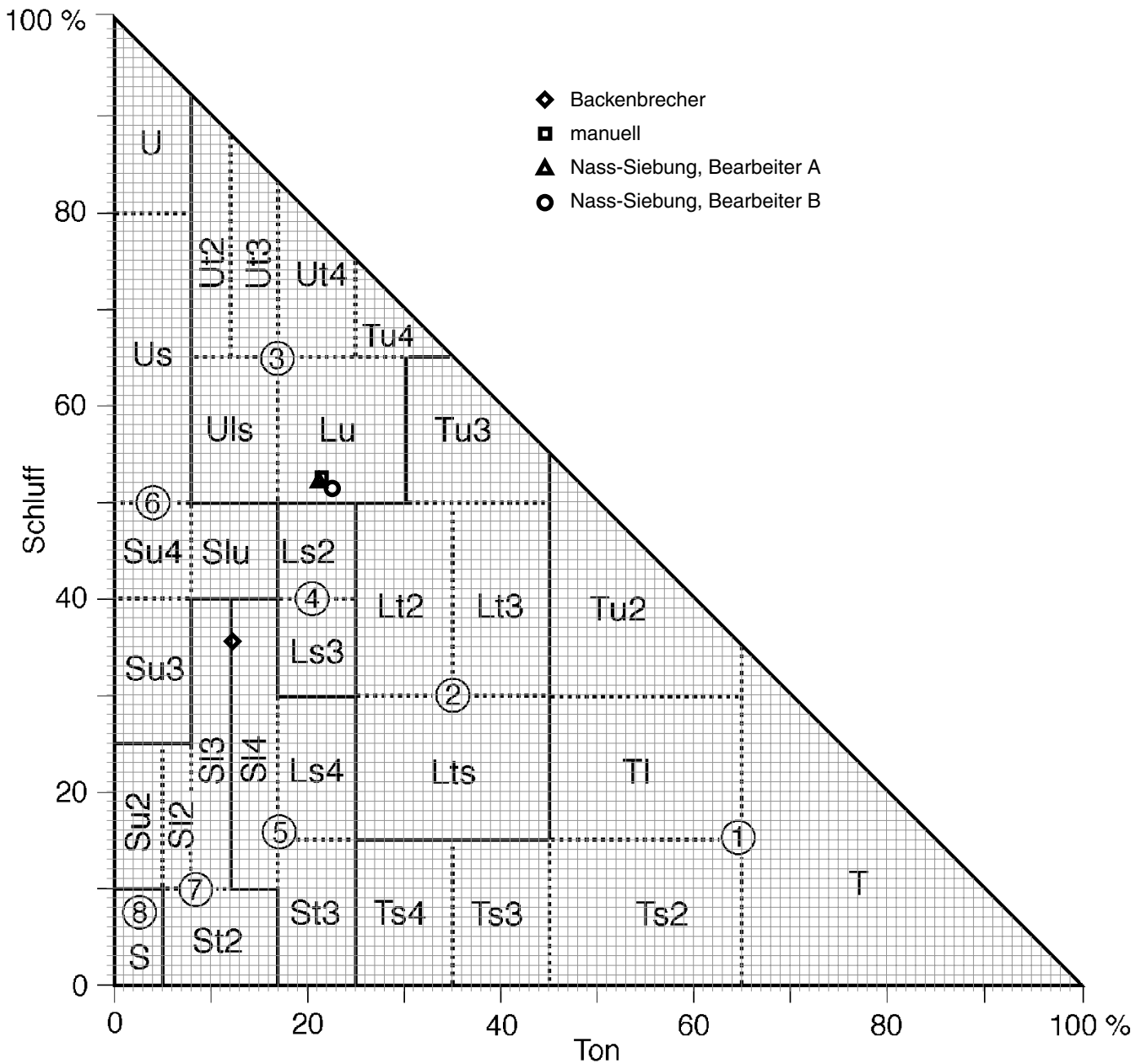


**Profil 22, unterer Horizont (Bv-Cv)**



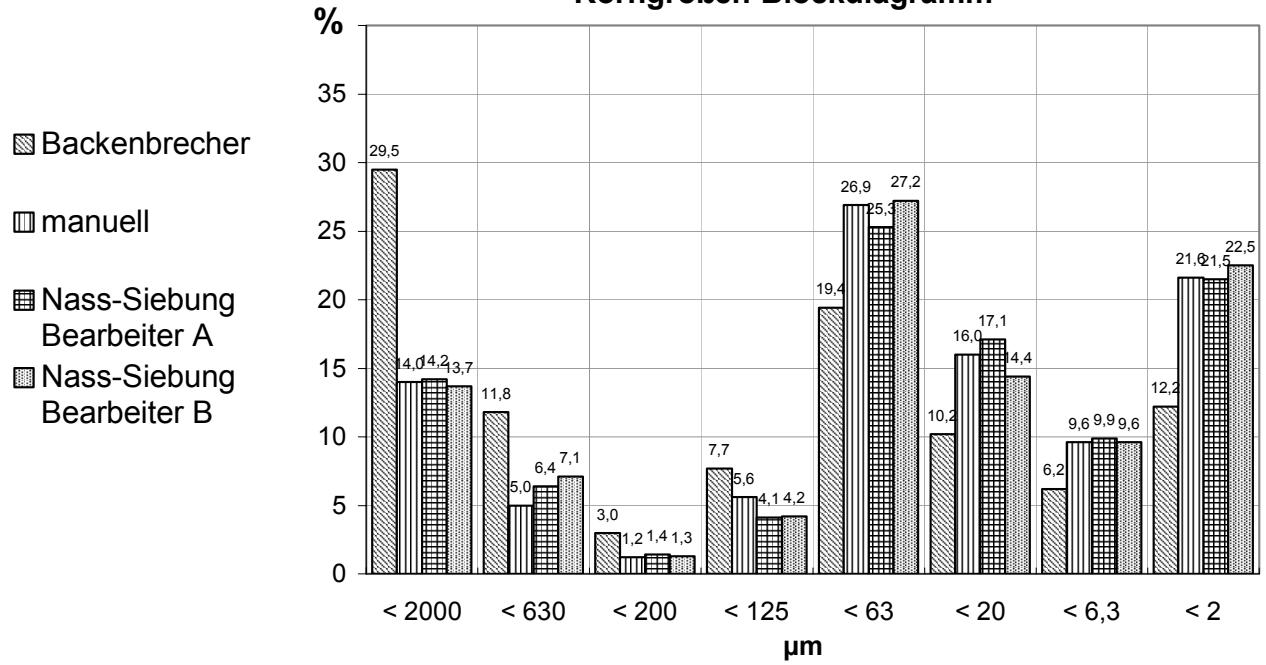
**Profil 25, oberer Horizont (Bvs)**

Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	12,2	6,2	10,2	19,4	35,8	7,7	3,0	11,8	29,5	52,0	Sl4
manuell	21,6	9,6	16,0	26,9	52,5	5,6	1,2	5,0	14,0	25,8	Lu
Nass-Siebung Bearbeiter A	21,5	9,9	17,1	25,3	52,3	4,1	1,4	6,4	14,2	26,1	Lu
Nass-Siebung Bearbeiter B	22,5	9,6	14,4	27,2	51,2	4,2	1,3	7,1	13,7	26,3	Lu

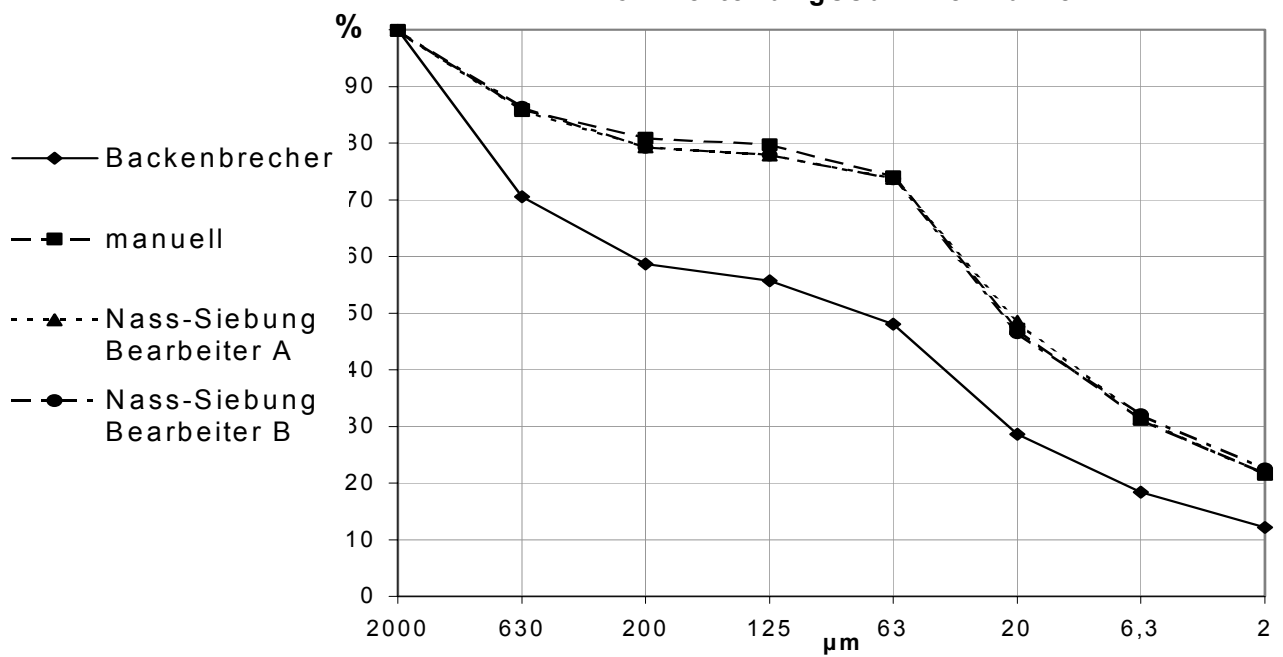


**Profil 25, oberer Horizont (Bvs)**

**Korngrößen-Blockdiagramm**

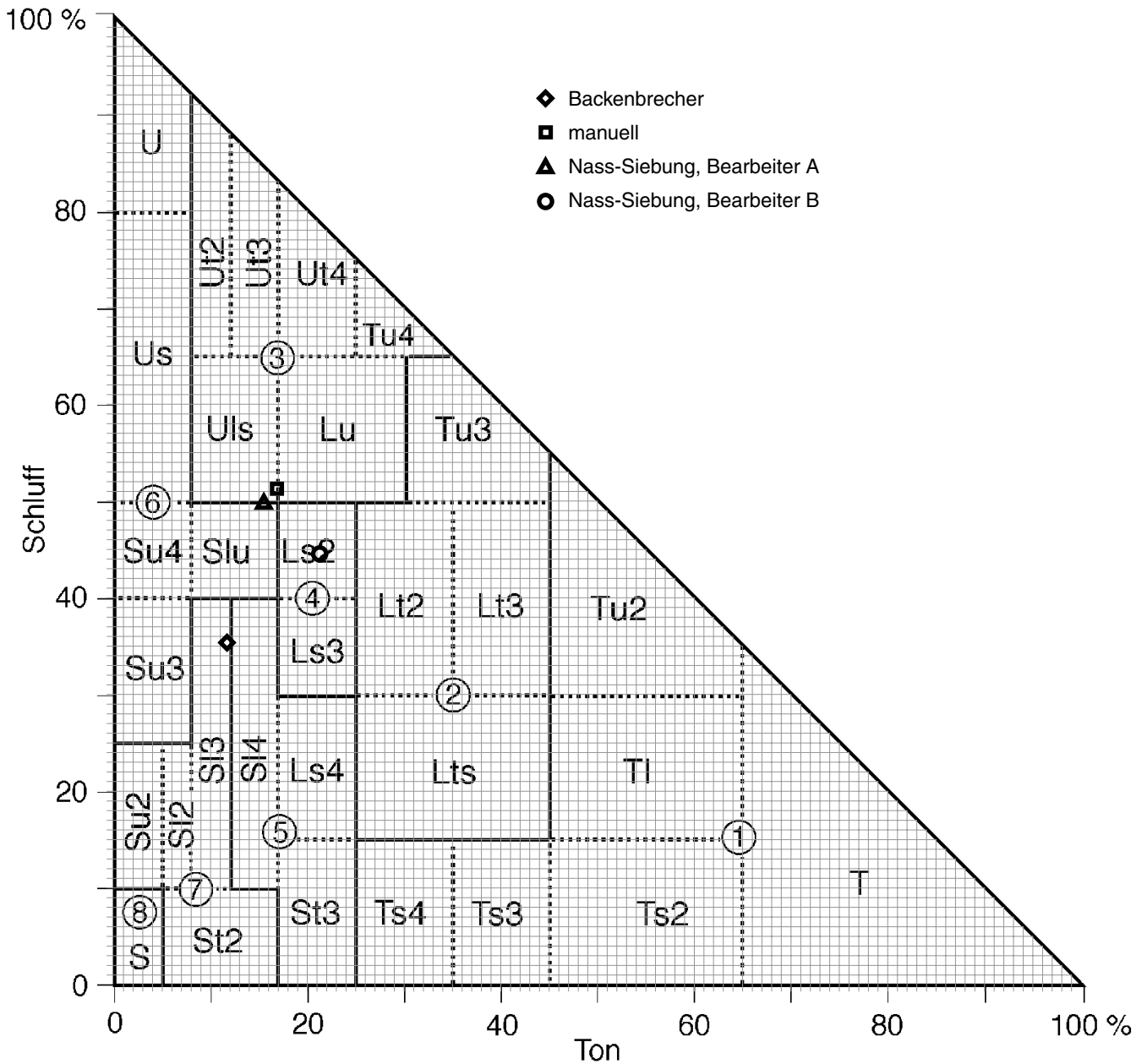


**Kornverteilungssummenkurve**



**Profil 25, unterer Horizont (Bv-Cv)**

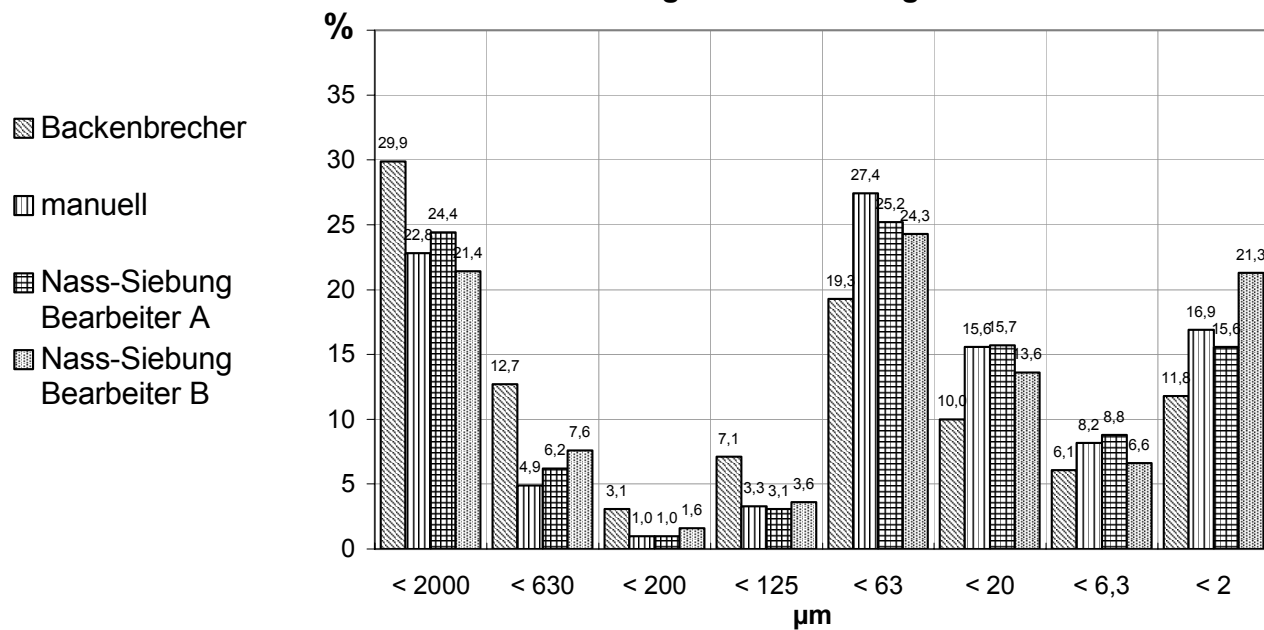
Proben- vorbereitung	Korngrößenverteilung (%)										Bodenart (KA4)
	< 0,002 T	< 0,0063 fU	< 0,020 mU	< 0,063 gU	Summe U	< 0,125 ffS	< 0,20 fS	< 0,63 mS	< 2,0 gS	Summe S	
Backenbrecher	11,8	6,1	10,0	19,3	35,4	7,1	3,1	12,7	29,9	52,8	Sl3
manuell	16,9	8,2	15,6	27,4	51,2	3,3	1,0	4,9	22,8	32,0	Uls
Nass-Siebung Bearbeiter A	15,6	8,8	15,7	25,2	49,7	3,1	1,0	6,2	24,4	34,7	Slu
Nass-Siebung Bearbeiter B	21,3	6,6	13,6	24,3	44,5	3,6	1,6	7,6	21,4	34,2	Ls2



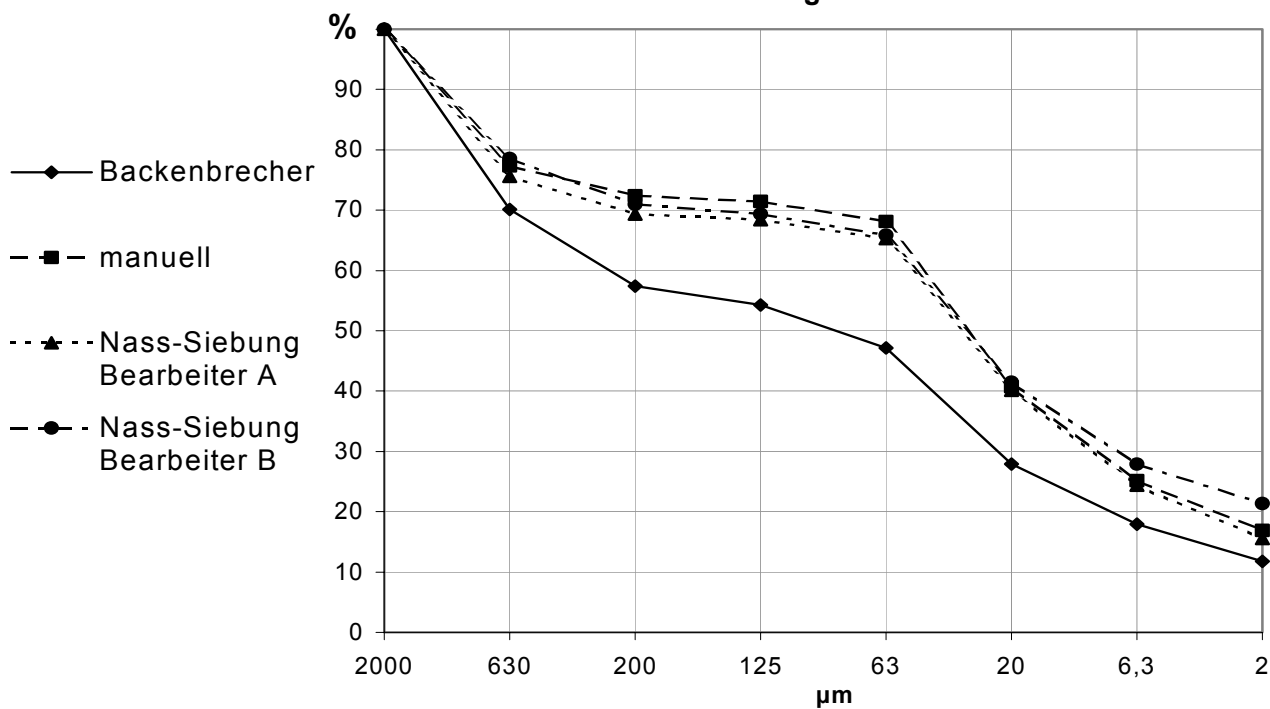


### Profil 25, unterer Horizont (Bv-Cv)

#### Korngrößen-Blockdiagramm



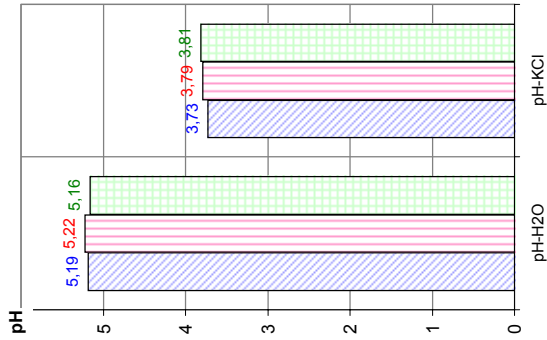
#### Kornverteilungssummenkurve



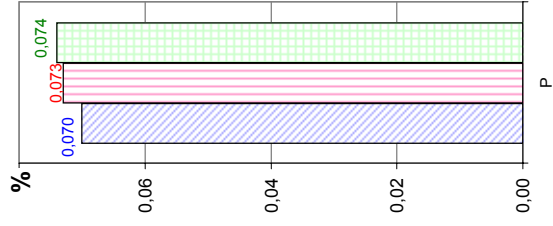
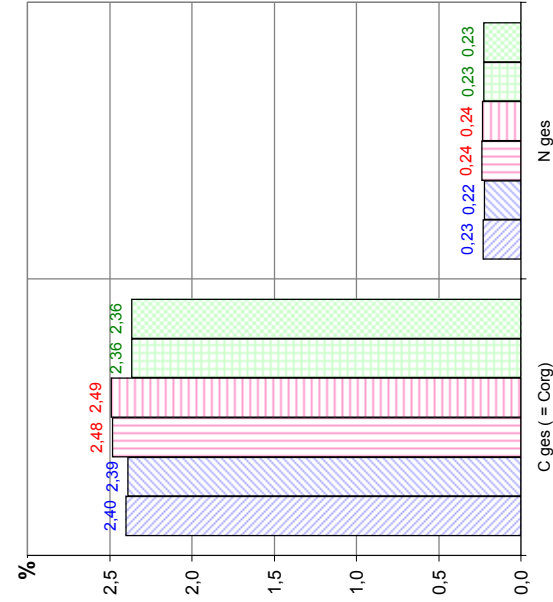
**Profil 2, oberer Horizont (Bv-Ah)**

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CN	N	P	C/N/P	
	ges. Masse	Grob-boden	pH	pH	C	C				C-org	Humus
	g	g			%	%	%	%	%	%	%
Backenbrecher	912	226	5,2	3,7	2,40	0,23	0,07	2,4	4,1	11	34
Manuell	839	223	5,2	3,8	2,49	0,24	0,07	2,5	4,3	11	34
Nass-Siebung	1154	0	5,2	3,8	2,36	0,23	0,07	2,4	4,1	11	32

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



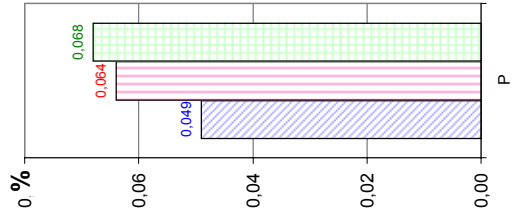
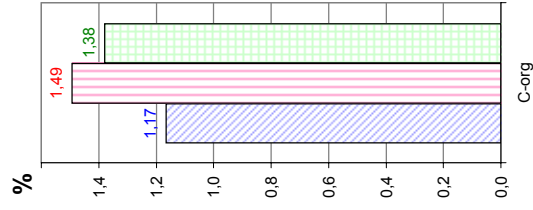
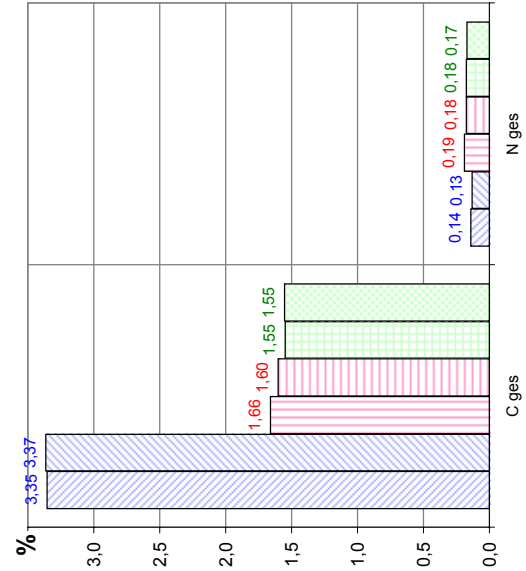
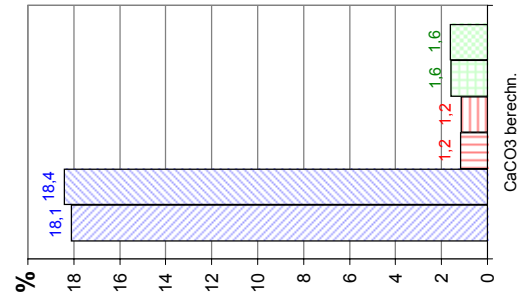
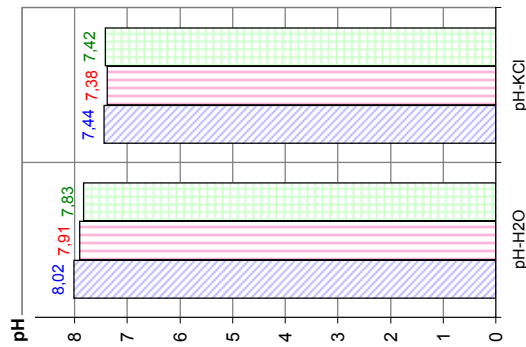
**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
A	4	GLA-NW/BZE1990	A-Probe, Probenvorbereitung
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE 1990	pH-Wert im Boden in wässr. Suspension
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE 1990	pH-Wert im Boden in 1m KCl
CN	4	GLA-NW	CHN-Elementaranalyse
P	2	GLA	Phosphor (gesamt)
C/N/P	5	GLA	Berechnete Parameter

# Profil 2, unterer Horizont (Bv)

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CO <sub>3</sub>		CN		P		C/NIP	
	ges. Masse	Grob-boden	pH	pH	CO <sub>3</sub>	CO <sub>3</sub>	C	N	P	C-org	Humus	C-org/N	C-org/P	
	g	g			%	%	%	%	%	%	%	%	%	
Backenbrecher B	1422	483	8,0	7,4	11,0	18,3	3,36	0,14	0,05	1,2	2,0	11	34	
manuell M	1333	535	7,9	7,4	0,70	1,2	1,63	0,18	0,06	1,5	2,6	11	34	
Nass-Siebung NS	1722	0	7,8	7,4	0,86	1,6	1,55	0,17	0,07	1,4	2,4	11	32	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

## Erläuterungen zur Methodik

Kurzname Version Vorschrift

Kurzname	Version	Vorschrift
A	4	GLA-NW/BZE 1990
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE 1990
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE 1990
CO <sub>3</sub>	2	GLA-NW/BZE 1990
CN	4	GLA-NW
P	2	GLA
C/NIP	5	GLA

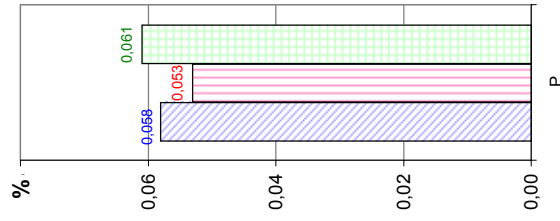
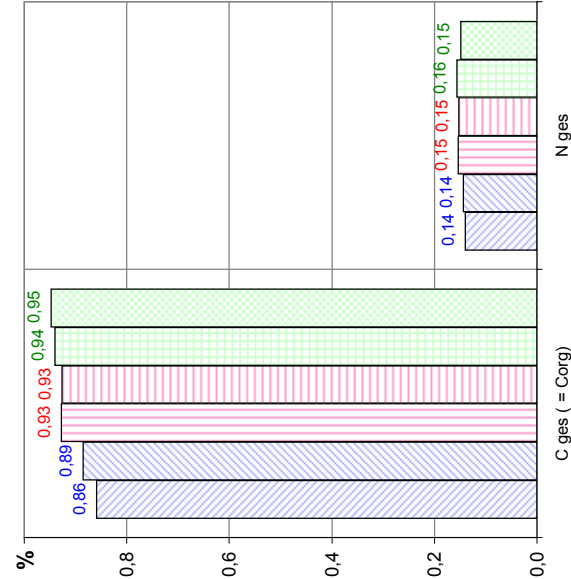
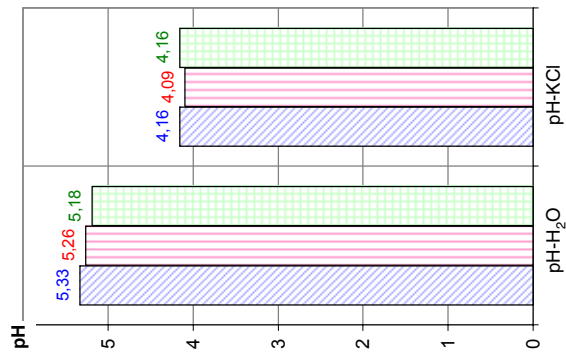
Methoden-Bezeichnung

- A-Probe, Probenvorbereitung (M: Manuell, B: Backenbrecher)
- pH-Wert im Boden in wässr. Suspension
- pH-Wert im Boden in 1m KCl
- Carbonat
- CHN-Elementaranalyse
- Phosphor (gesamt)
- Berechnete Parameter

**Profil 6, oberer Horizont (Bv)**

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CN	P		C/N/P	
	ges. Masse	Grob-boden	pH	pH	N	P		C-org	Humus	C-org/N	C-org/P
	g	g			%	%	%	%	%	%	%
Backenbrecher B	803	204	5,3	4,2	0,87	0,14	0,06	0,9	1,5	6	
Manuell M	818	269	5,3	4,1	0,93	0,15	0,05	0,9	1,6	6	
Nass-Siebung NS	1259	0	5,2	4,2	0,94	0,15	0,06	0,9	1,6	6	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname Version Vorschrift

Kurzname	Version	Vorschrift
A	4	GLA-NW/BZE1990
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE 1990
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE 1990
CN	4	GLA-NW
P	2	GLA
C/N/P	5	GLA

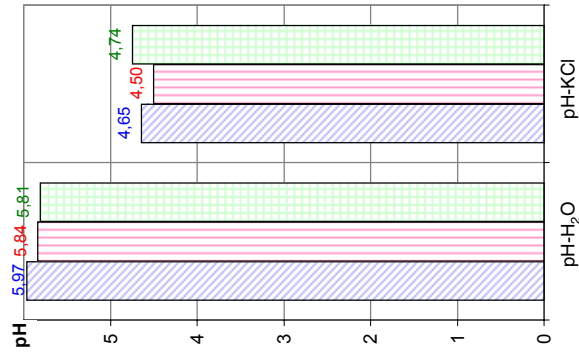
Methoden-Bezeichnung

- A-Probe, Probenvorbereitung (M: Manuell, B: Backenbrecher)
- pH-Wert im Boden in wässr. Suspension
- pH-Wert im Boden in 1m KCl
- CHN-Elementaranalyse
- Phosphor (gesamt)
- Berechnete Parameter

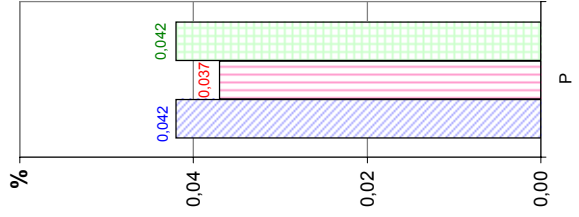
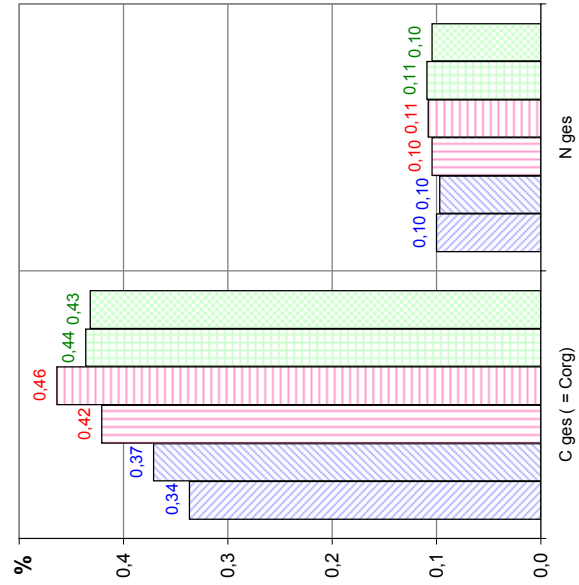
# Profil 6, unterer Horizont (Bv-Cv)

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CN	P		C/N/P	
	ges. Masse g	Grob-boden g	pH	pH	C	N		P	C-org	Humus	C-org/N
Backenbrecher	1433	424	6,0	4,6	0,35	0,10	0,04	0,4	0,6		
Manuell	1649	796	5,8	4,5	0,44	0,11	0,04	0,4	0,8		
Nass-Siebung	1469	0	5,8	4,7	0,43	0,11	0,04	0,4	0,7		

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



## Erläuterungen zur Methodik

Kurzname Version Vorschrift

A	4	GLA-NW/BZE:1990
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE:1990
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE:1990
CN	4	GLA-NW
P	2	GLA
C/N/P	5	GLA

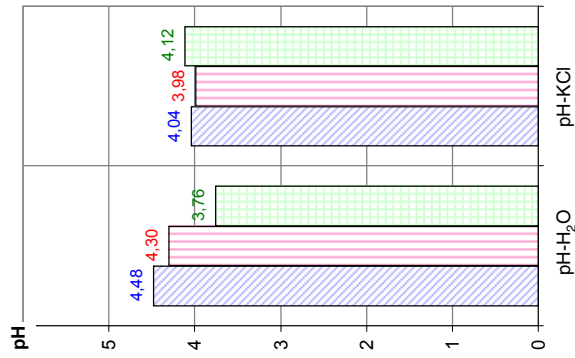
Methoden-Bezeichnung

A-Probe, Probenvorbereitung (M: Manuell, B: Backenbrecher)  
 pH-Wert im Boden in wässr. Suspension  
 pH-Wert im Boden in 1M KCl  
 CHN-Elementaranalyse  
 Phosphor (gesamt)  
 Berechnete Parameter

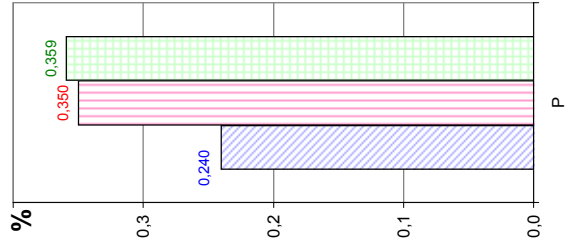
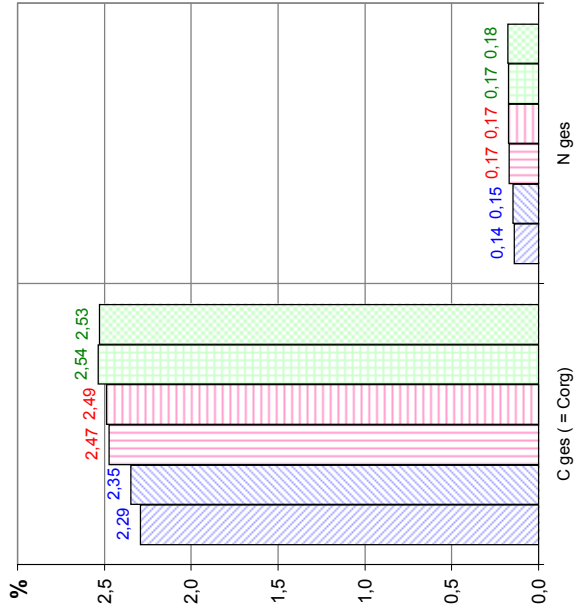
**Profil 20, oberer Horizont (Bvs)**

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CN		P		C/N/P	
	ges. Masse	Grob-boden	pH	pH	C	N	P	C-org	Humus	C-org/N	C-org/P	
	g	g			%	%	%	%	%	%	%	
Backenbrecher B	1325	555	4,5	4,0	2,32	0,14	0,24	2,3	4,0			
Manuell M	1316	774	4,3	4,0	2,48	0,17	0,35	2,5	4,3			
Nass-Siebung NS	904	0	3,8	4,1	2,53	0,18	0,36	2,5	4,3			

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



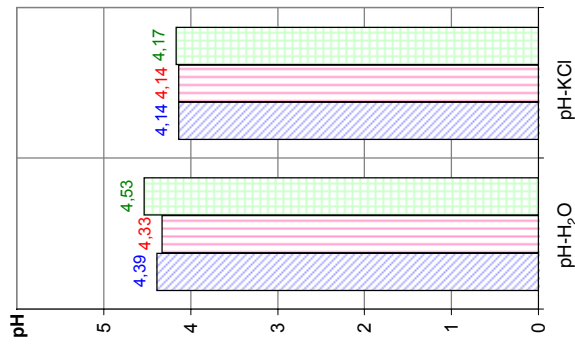
**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
A	4	GLA-NW/BZE1990	A-Probe, Probenvorbereitung (M: Manuell, B: Backenbrecher)
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE 1990	pH-Wert im Boden in wässr. Suspension
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE 1990	pH-Wert im Boden in 1m KCl
CN	4	GLA-NW	CHN-Elementaranalyse
P	4	GLA	Phosphor (gesamt)
C/N/P	5	GLA	Berechnete Parameter

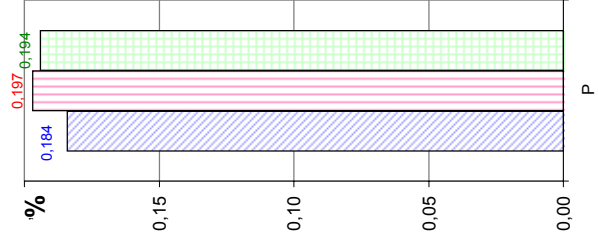
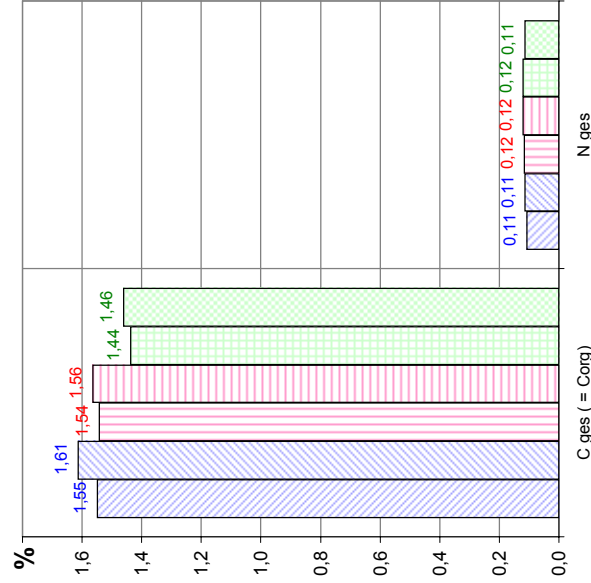
# Profil 20, unterer Horizont (Bv-Cv)

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CN	P	C/N/P	
	ges. Masse g	Grob-boden g	pH	pH	C	N				P
Backenbrecher	1035	340	4,4	4,1	1,58	0,11	0,18	1,6	2,7	
Manuell	1134	493	4,3	4,1	1,55	0,12	0,20	1,6	2,7	
Nass-Siebung	1336	0	4,5	4,2	1,45	0,12	0,19	1,4	2,5	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



## Erläuterungen zur Methodik

Kurzname Version Vorschrift

A	4	GLA-NW/BZE1990
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE 1990
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE 1990
CN	4	GLA-NW
P	2	GLA
C/N/P	5	GLA

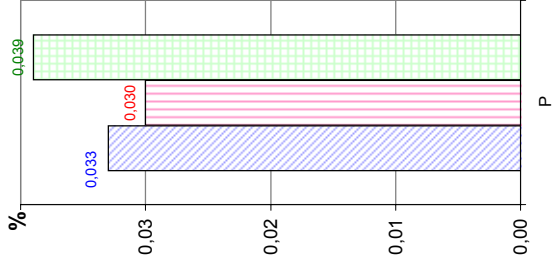
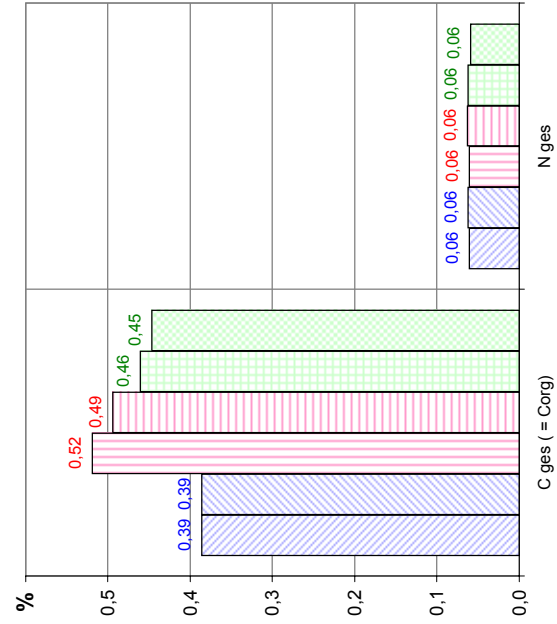
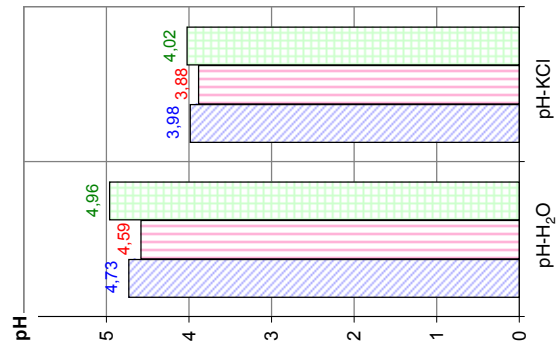
Methoden-Bezeichnung

A-Probe, Probenvorbereitung (M: Manuell, B: Backenbrecher)  
 pH-Wert im Boden in wässr. Suspension  
 pH-Wert im Boden in 1m KCl  
 CHN-Elementaranalyse  
 Phosphor (gesamt) Phosphor (gesamt)  
 Berechnete Parameter

**Profil 22, oberer Horizont (Bv)**

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CN		P		C/N/P	
	ges. Masse	Grob-boden	pH	pH	C	N	P	C-org	Humus	C-org/N	C-org/P	%
	g	g			%	%	%	%	%	%	%	%
Backenbrecher B	1769	543	4,7	4,0	0,39	0,06	0,03	0,4	0,7			
Manuell M	1607	723	4,6	3,9	0,51	0,06	0,03	0,5	0,9			
Nass-Siebung NS	1511	0	5,0	4,0	0,45	0,06	0,04	0,5	0,8			

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname Version Vorschrift

A	4	GLA-NW/BZE1990
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE 1990
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE 1990
CN	4	GLA-NW
P	2	GLA
C/N/P	5	GLA

Methoden-Bezeichnung

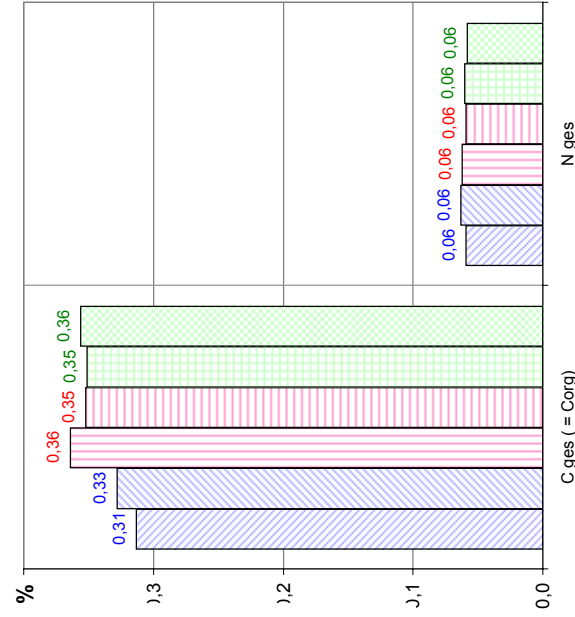
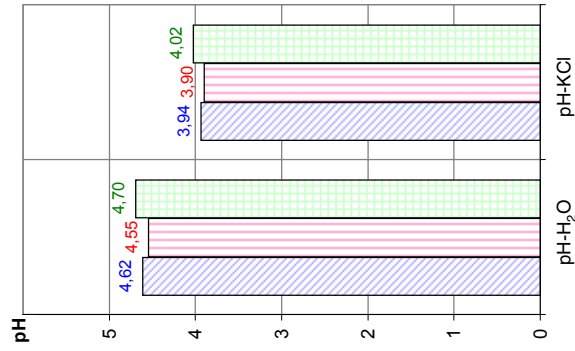
A-Probe, Probenvorbereitung (M: Manuell, B: Backenbrecher)  
 pH-Wert im Boden in wässr. Suspension  
 pH-Wert im Boden in 1m KCl  
 CHN-Elementaranalyse  
 Phosphor (gesamt)  
 Berechnete Parameter



# Profil 22, unterer Horizont (Bv-Cv)

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CN		P		C/N/P	
	ges. Masse	Grob-boden	pH	pH	C	N	P	C-org	Humus	C-org/N	C-org/P	
	g	g			%	%	%	%	%	%	%	
Backenbrecher	1263	349	4,6	3,9	0,32	0,06	0,04	0,3	0,6			
Manuell	1405	826	4,5	3,9	0,36	0,06	0,04	0,4	0,6			
Nass-Siebung	1824	0	4,7	4,0	0,35	0,06	0,04	0,4	0,6			

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

## Erläuterungen zur Methodik

Kurzname Version Vorschrift

Kurzname	Version	Vorschrift
A	4	GLA-NW/BZE1990
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE 1990
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE 1990
CN	4	GLA-NW
P	2	GLA
C/N/P	5	GLA

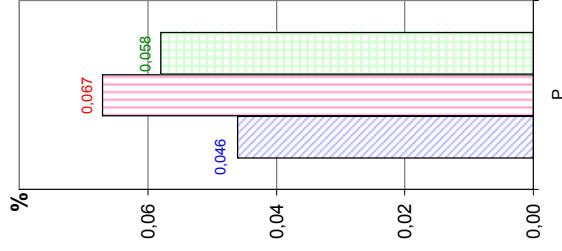
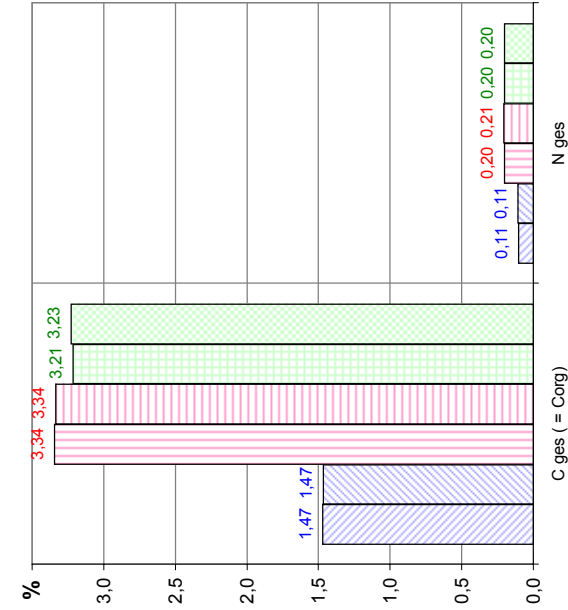
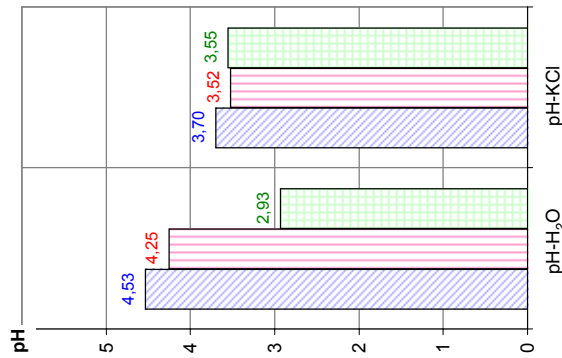
Methoden-Bezeichnung

A-Probe, Probenvorbereitung (M: Manuell, B: Backenbrecher)  
 pH-Wert im Boden in wässr. Suspension  
 pH-Wert im Boden in 1m KCl  
 CHN-Elementaranalyse  
 Phosphor (gesamt)  
 Berechnete Parameter

### Profil 25, oberer Horizont (Bvs)

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CN		P		C/N/P	
	ges. Masse g	Grob-boden g	pH	pH	C %	N %	P %	C-org %	Humus %	C-org/N	C-org/P	
Backenbrecher B	2183	1168	4,5	3,7	1,47	0,11	0,05	1,5	2,5			
Manuell M	2815	2488	4,3	3,5	3,34	0,20	0,07	3,3	5,7			
Nass-Siebung NS	758	0	2,9	3,6	3,22	0,20	0,06	3,2	5,5			

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

#### Erläuterungen zur Methodik

Kurzname Version Vorschrift

A	4	GLA-NW/BZE 1990
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE 1990
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE 1990
CN	4	GLA-NW
P	2	GLA
C/N/P	5	GLA

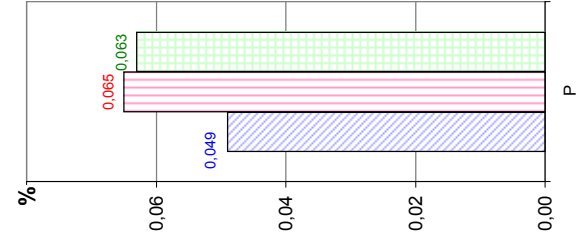
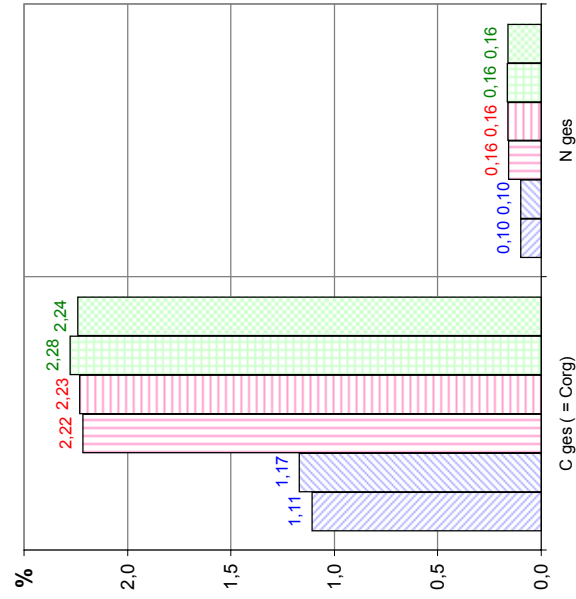
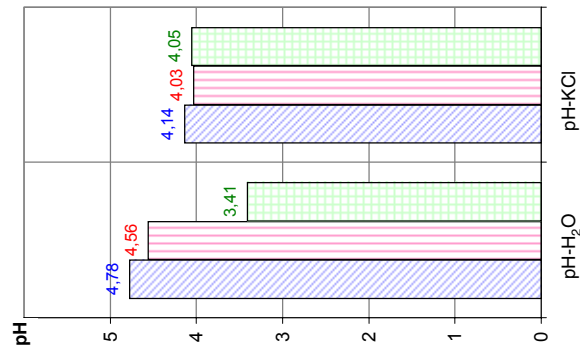
Methoden-Bezeichnung

- A-Probe, Probenvorbereitung (M: Manuell, B: Backenbrecher)
- pH-Wert im Boden in wässr. Suspension
- pH-Wert im Boden in 1m KCl
- CHN-Elementaranalyse
- Phosphor (gesamt)
- Berechnete Parameter

## Profil 25, unterer Horizont (Bv-Cv)

Probenvorbereitung	A		pH-H <sub>2</sub> O		pH-KCl		CN		P		C/NIP	
	ges. Masse	Grob-boden	pH	pH	C	N	P	C-org	Humus	C-org/N	C-org/P	
	g	g			%	%	%	%	%	%	%	
Backenbrecher B	2296	1119	4,8	4,1	1,14	0,10	0,05	1,1	2,0			
Manuell M	2169	1668	4,6	4,0	2,22	0,16	0,07	2,2	3,8			
Nass-Siebung NS	752	0	3,4	4,1	2,26	0,16	0,06	2,3	3,9			

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

### Erläuterungen zur Methodik

Kurzname Version Vorschrift

Kurzname	Version	Vorschrift
A	4	GLA-NW/BZE1990
pH-H <sub>2</sub> O	2	GLA-NW/BZE 1990
pH-KCl	2	GLA-NW/BZE 1990
CN	4	GLA-NW
P	2	GLA
C/NIP	5	GLA

Methoden-Bezeichnung

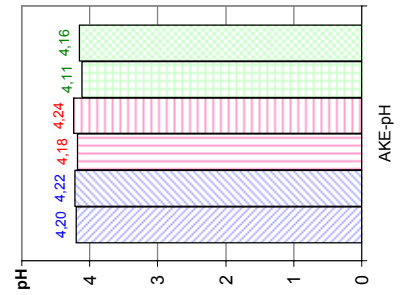
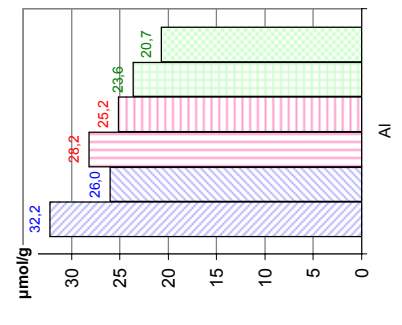
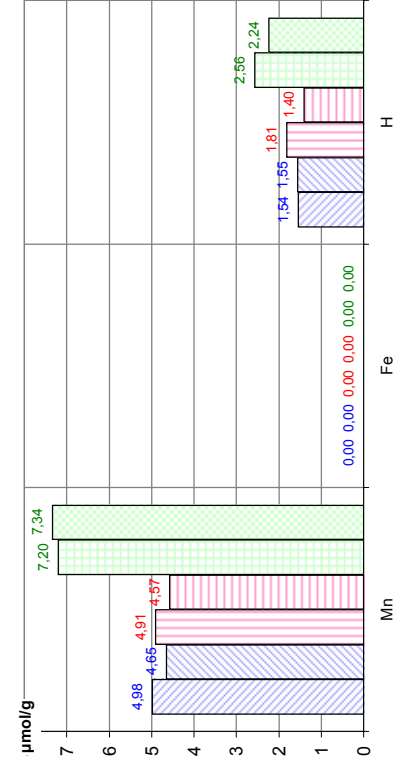
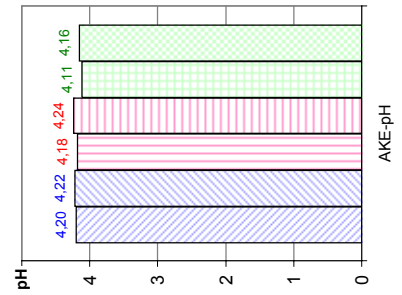
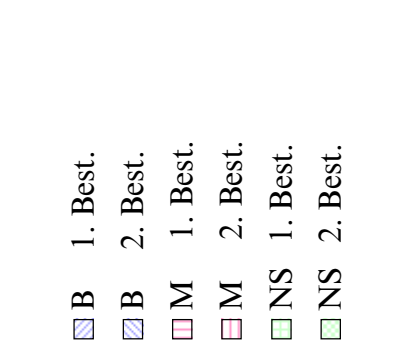
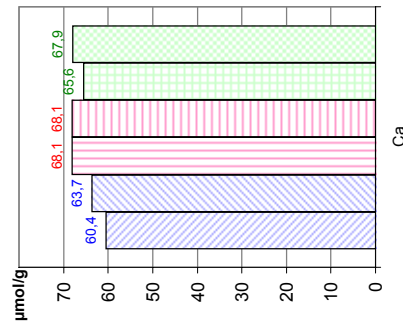
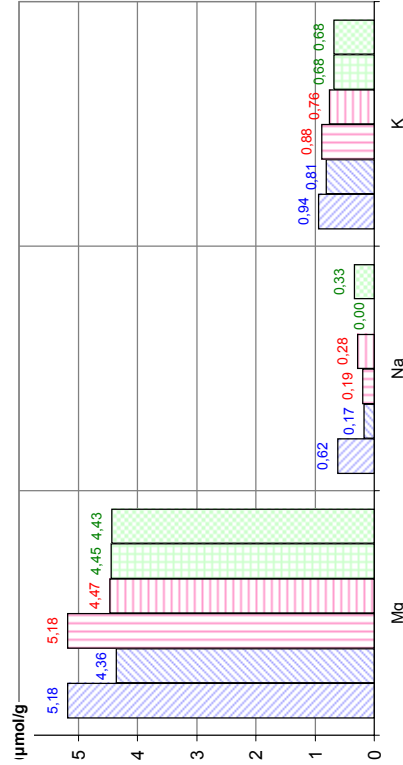
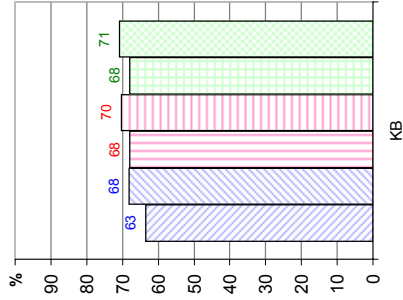
A- Probe, Probenvorbereitung (M: Manuell, B: Backenbrecher)  
 pH-Wert im Boden in wässr. Suspension  
 pH-Wert im Boden in 1m KCl  
 CHN-Elementaranalyse  
 Phosphor (gesamt)  
 Berechnete Parameter

Profil 2, oberer Horizont (Bv-Ah)

Probenvorbereitung	AKE		AKE-pH										Erläuterungen zur Methodik		Methoden-Bezeichnung		
	Ca	Mg	Na	K	Al	Mn	Fe	H	Sum-AK	KB	pH	Kurzname	Version	Vorschrift		AKE	Effektive Austauschkapazität (Ulrich)
	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	%	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{eq}/\text{g}$				
Backenbrecher B	62,1	4,8	0,4	0,9	29,1	4,8	<0,1	2	104	66	4,2				3	BZE 1990/94	
Manuell M	68,1	4,8	0,2	0,8	26,7	4,7	<0,1	2	107	69	4,2				4	BZE 1990/1994	
Nass-Siebung NS	66,7	4,4	<0,2	0,7	22,2	7,3	<0,1	2	104	69	4,1						pH-Werte zur AKE

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



# Profil 2, unterer Horizont (Bv)

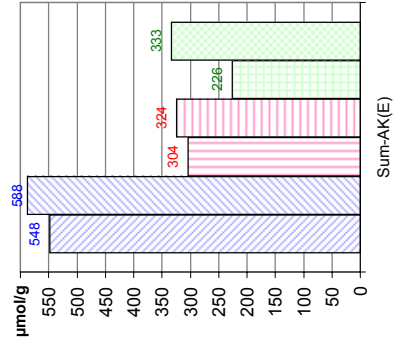
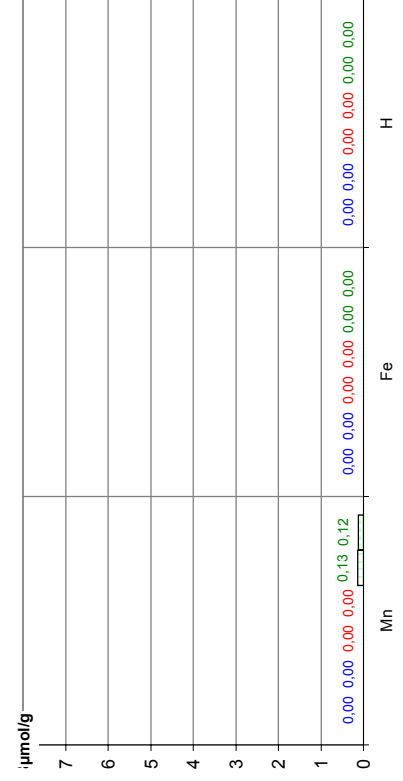
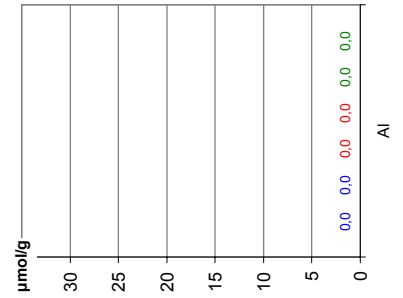
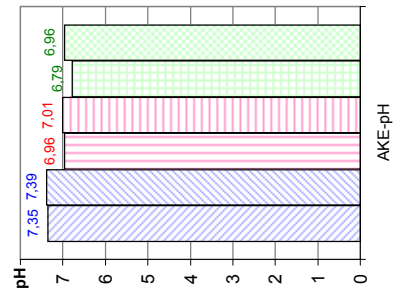
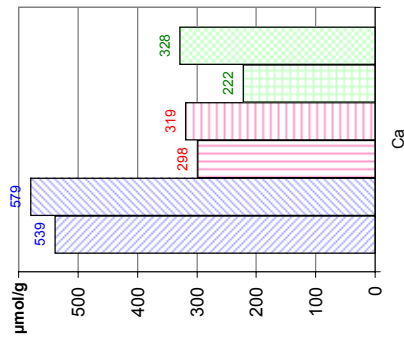
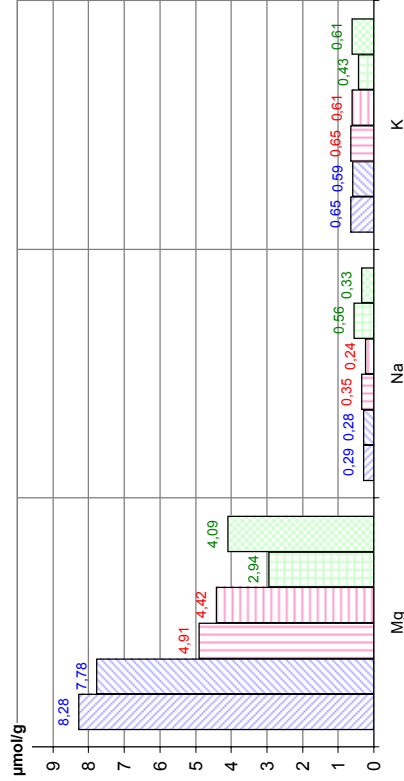
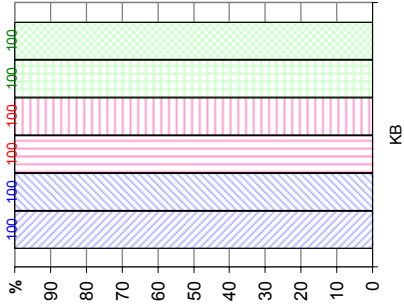
Probenvorbereitung	AKE										AKE-pH	
	Ca	Mg	Na	K	Al	Mn	Fe	H	Sum-AK	KB	pH	
	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	%	
Backenbrecher B	559	8,0	0,3	0,6	<0,4	<0,1	<0,1	0	568	100	4,2	
Manuell M	308	4,7	0,3	0,6	<0,4	<0,1	<0,1	0	314	100	4,2	
Nass-Siebung NS	275	3,5	0,4	0,5	<0,4	0,1	<0,1	0	279	100	4,1	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

## Erläuterungen zur Methodik

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKE	3	BZE 1990/94	Effektive Austauschkapazität (Ulrich)
AKE-pH	4	BZE 1990/1994	pH-Werte zur AKE

- 1. Best.
- 2. Best.
- 1. Best.
- 2. Best.
- 1. Best.
- 2. Best.



Profil 6, oberer Horizont (Bv)

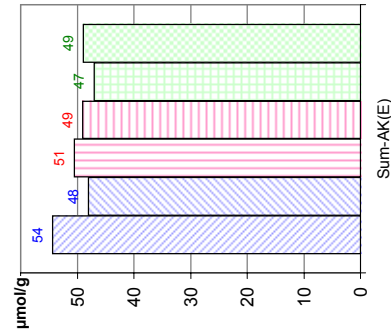
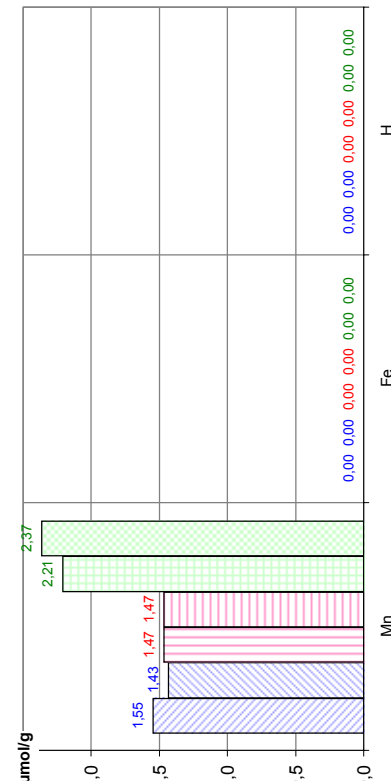
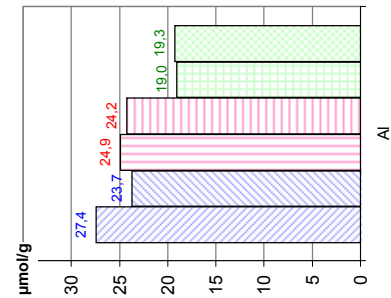
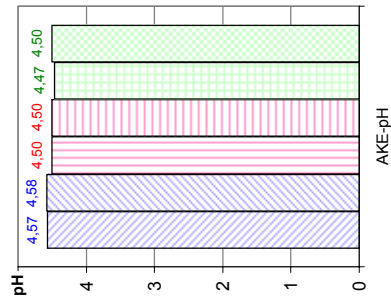
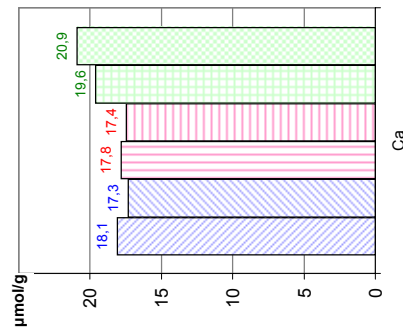
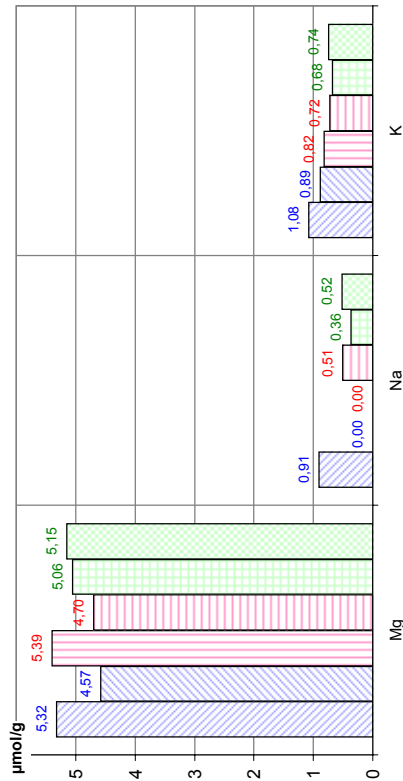
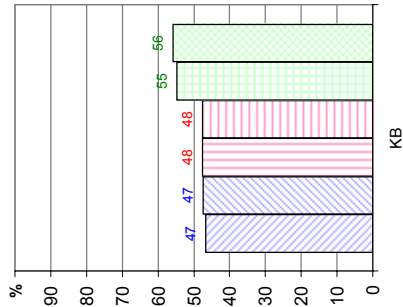
Probenvorbereitung	AKE											AKE-pH	
	Ca	Mg	Na	K	Al	Mn	Fe	H	Sum-AK	KB	pH	AKK	AKK
	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	%		
Backenbrecher B	17,7	4,9	<0,5	1,0	25,5	1,5	<0,1	0	51	47	4,6		
Manuell M	17,6	5,0	<0,3	0,8	24,6	1,5	<0,1	0	50	48	4,5		
Nass-Siebung NS	20,3	5,1	0,4	0,7	19,1	2,3	<0,1	0	48	55	4,5		

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKE	3	BZE 1990/94	Effektive Austauschkapazität (Ulrich)
AKE-pH	4	BZE 1990/1994	pH-Werte zur AKE

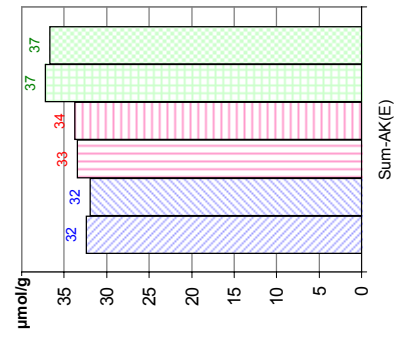
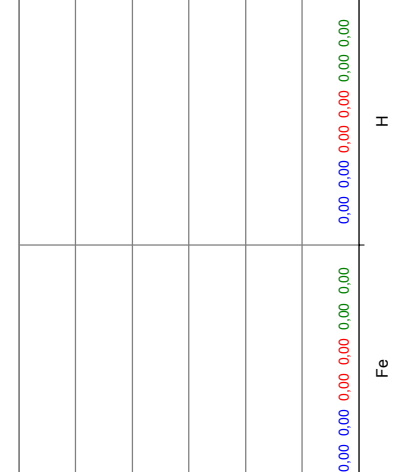
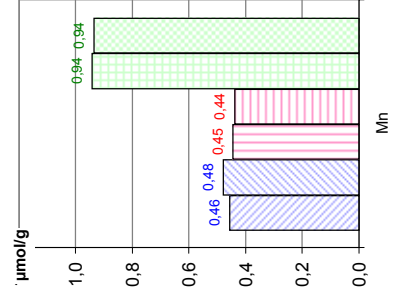
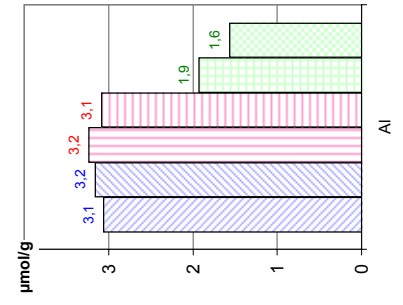
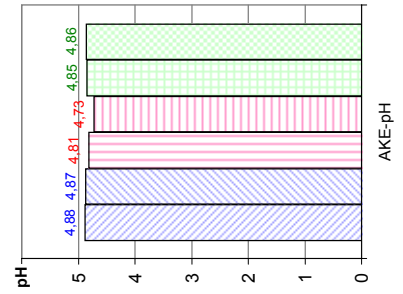
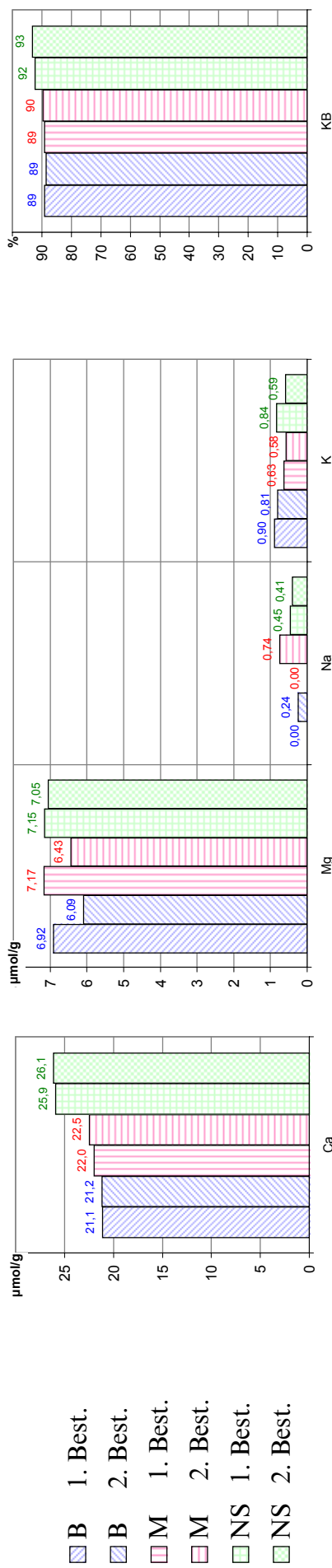
- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



# Profil 6, unterer Horizont (Bv-Cv)

Probenvorbereitung	AKE		AKE-pH										AKE-pH		Erläuterungen zur Methodik		
	Ca	Mg	Mg	Mn	Al	K	Na	Mn	Fe	H	Sum-AK	KB	pH	Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
Backenbrecher B	21,1	6,5	<0,2	0,9	3,1	0,5	<0,1	0	<0,1	0	32	89	4,9	AKE	3	BZE 1990/94	Effektive Austauschkapazität (Ulrich)
Manuell M	22,2	6,8	<0,4	0,6	3,2	0,4	<0,1	0	<0,1	0	34	90	4,8	AKE-pH	4	BZE 1990/1994	pH-Werte zur AKE
Nass-Siebung NS	26,0	7,1	0,4	0,7	1,7	0,9	<0,1	0	<0,1	0	37	93	4,9				

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



Profil 20, oberer Horizont (Bvs)

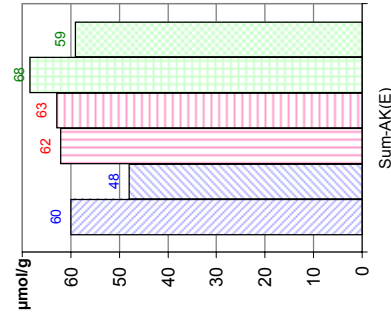
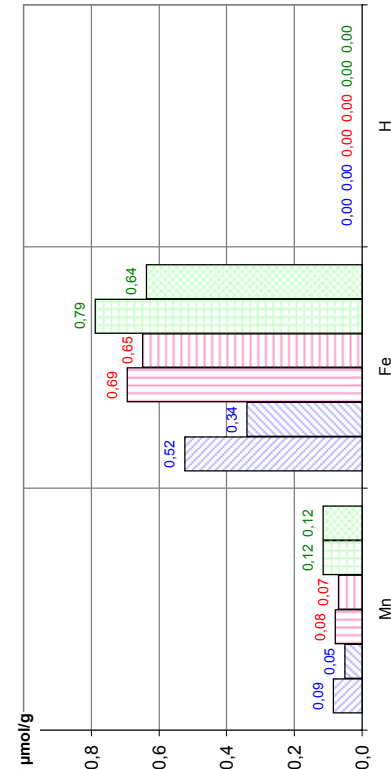
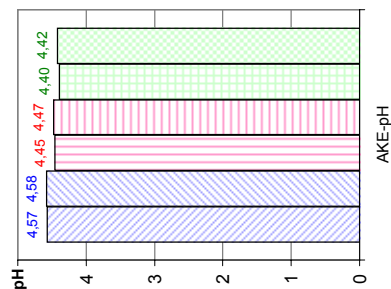
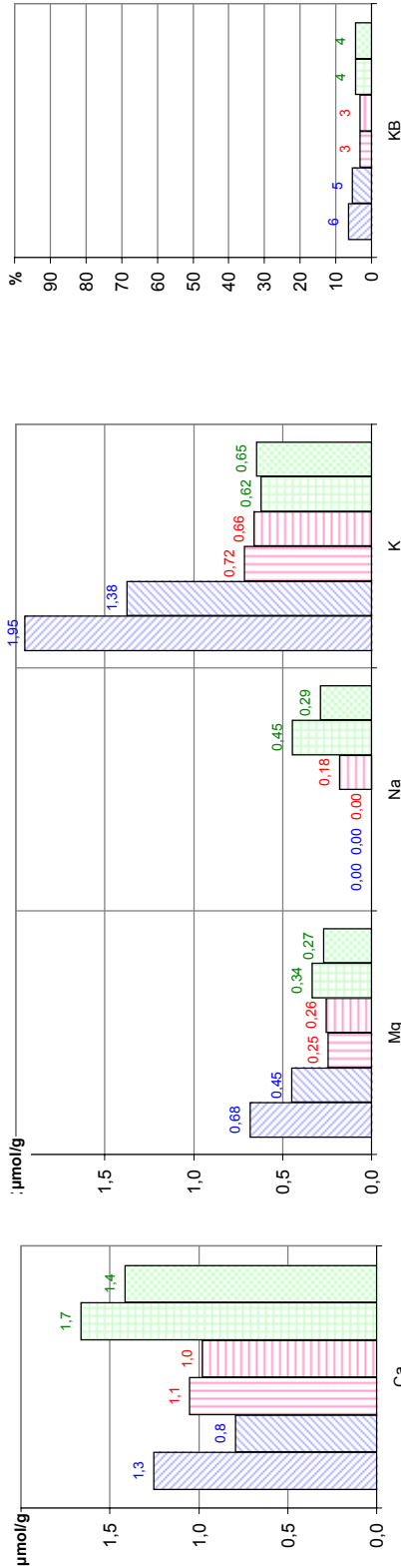
Probenvorbereitung	AKE		AKE-pH									
	Ca	Mg	Na	K	Al	Mn	Fe	H	Sum-AK	KB	pH	
	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	%	
Backenbrecher B	1,0	0,6	<0,2	1,7	50,2	0,1	0,4	0	54	6	4,5	
Manuell M	1,0	0,3	<0,2	0,7	59,7	0,1	0,7	0	63	3	4,5	
Nass-Siebung NS	1,5	0,3	0,4	0,6	60,1	0,1	0,7	0	64	4	4,4	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

Erläuterungen zur Methodik

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKE	3	BZE 1990/94	Effektive Austauschkapazität (Ulrich)
AKE-pH	4	BZE 1990/1994	pH-Werte zur AKE

- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.





# Profil 20, unterer Horizont (Bv-Cv)

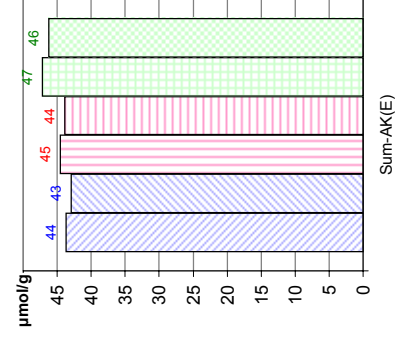
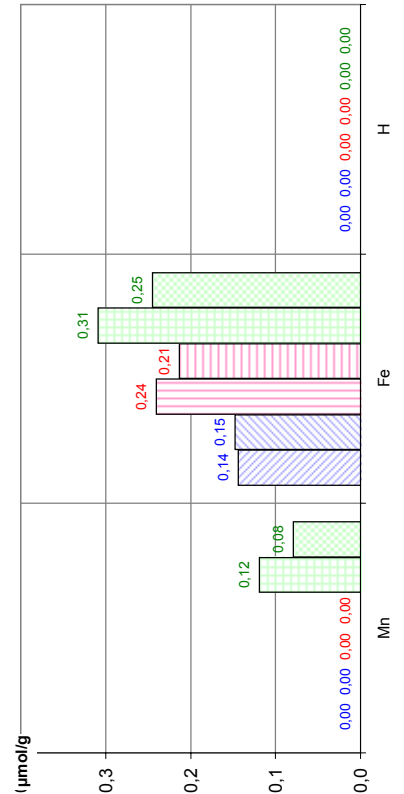
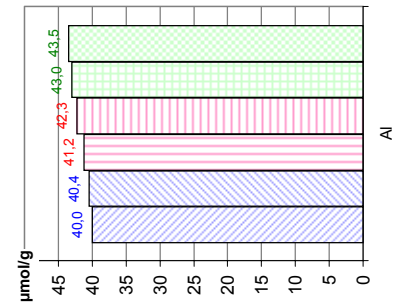
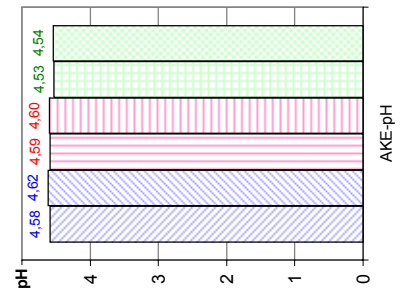
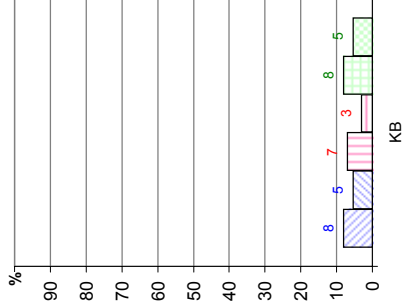
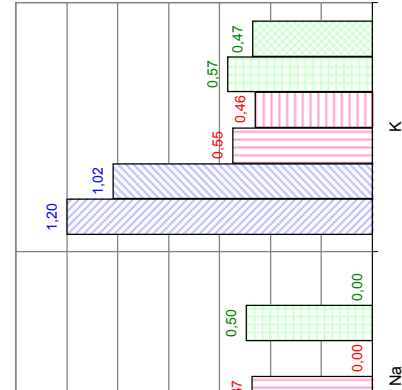
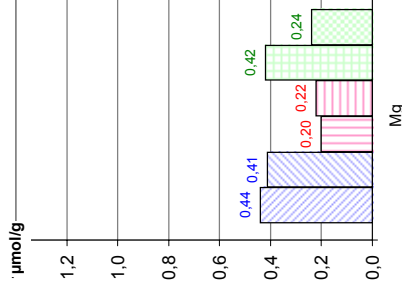
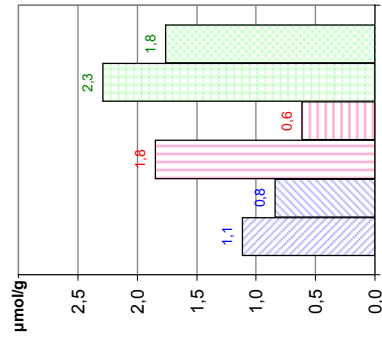
Probenvorbereitung	AKE		AKE-pH									
	Ca µmol(eq)/g	Mg µmol(eq)/g	Na µmol(eq)/g	K µmol(eq)/g	Al µmol(eq)/g	Mn µmol(eq)/g	Fe µmol(eq)/g	H µmol(eq)/g	Sum-AK µmol(eq)/g	KB %	pH	
Backenbrecher B	1,0	0,4	<0,5	1,1	40,2	<0,1	0,1	0	43	7	4,6	
Manuell M	1,2	0,2	<0,3	0,5	41,7	<0,1	0,2	0	44	5	4,6	
Nass-Siebung NS	2,0	0,3	<0,3	0,5	43,2	0,1	0,3	0	47	7	4,5	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

## Erläuterungen zur Methodik

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKE	3	BZE 1990/94	Effektive Austauschkapazität (Ulrich)
AKE-pH	4	BZE 1990/1994	pH-Werte zur AKE

- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



Profil 22, oberer Horizont (Bv)

Probenvorbereitung	AKE											AKE-pH	
	Ca	Mg	Na	K	Al	Mn	Fe	H	Sum-AK	KB	pH		
	$\mu\text{mol(eq)/g}$											$\mu\text{mol(eq)/g}$	
Backenbrecher B	1,4	1,6	<0,2	1,2	35,0	1,1	<0,1	0	40	11	4,5		
Manuell M	1,3	0,5	<0,2	0,6	42,4	1,1	<0,1	0	46	6	4,4		
Nass-Siebung NS	16,3	3,3	2,1	0,6	28,4	2,2	<0,1	0	53	42	4,4		

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

Erläuterungen zur Methodik

Methoden-Bezeichnung

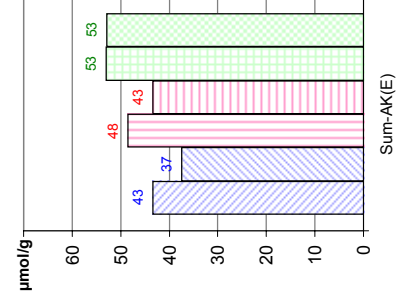
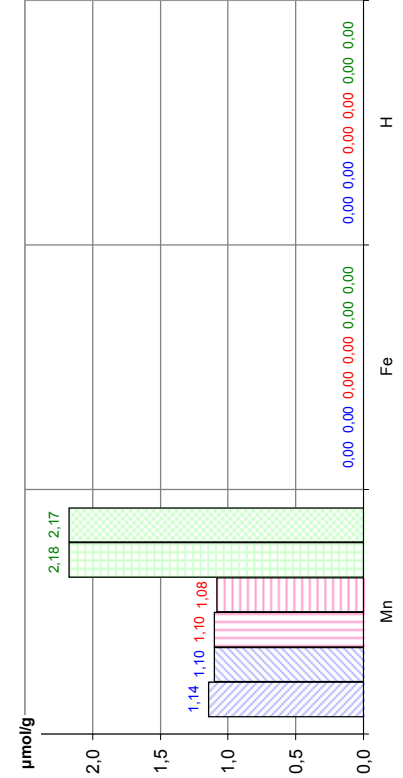
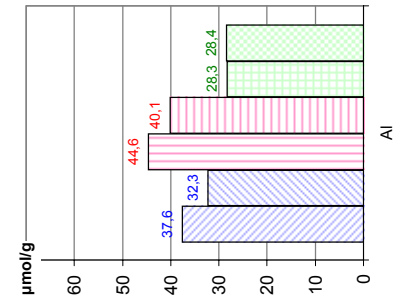
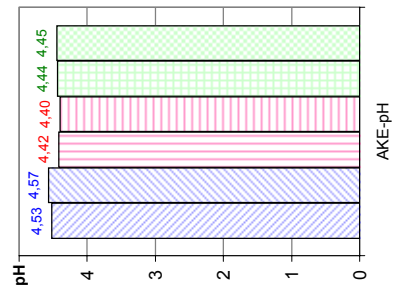
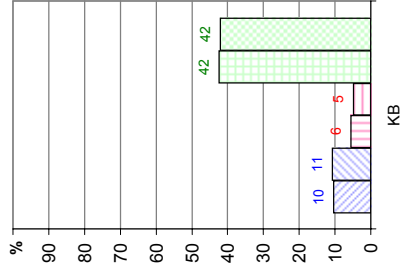
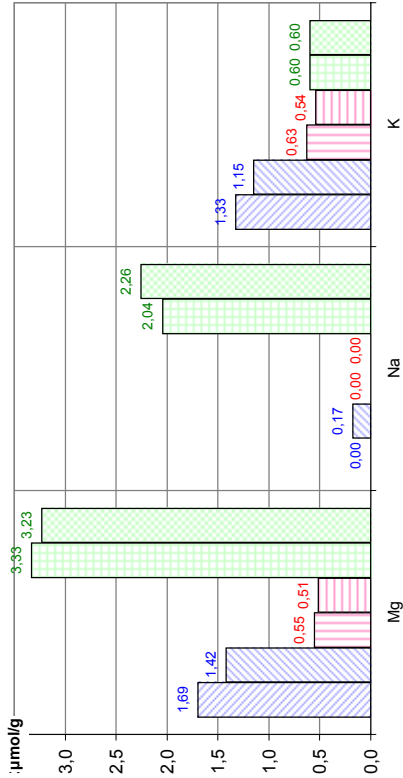
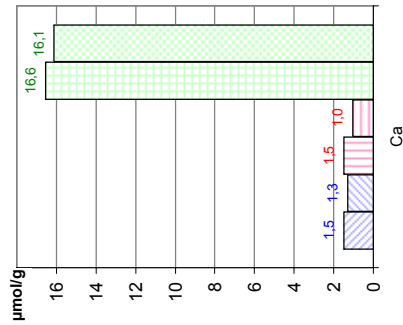
Kurzname

Version

Vorschrift

AKE 3 BZE 1990/94 Effektive Austauschkapazität (Ulrich)  
 AKE-pH 4 BZE 1990/1994 pH-Werte zur AKE

- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



# Profil 22, unterer Horizont (Bv-Cv)

Probenvorbereitung	AKE		AKE-pH									
	Ca	Mg	Na	K	Al	Mn	Fe	H	Sum-AK	KB	pH	
	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	%	
Backenbrecher B	1,4	1,0	<0,2	1,1	41,2	0,8	<0,1	0	46	8	4,5	
Manuell M	1,5	0,7	<0,2	0,9	45,5	0,8	<0,1	0	49	7	4,5	
Nass-Siebung NS	15,4	3,2	1,5	0,9	32,0	1,7	<0,1	0	55	38	4,5	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

## Erläuterungen zur Methodik

Methoden-Bezeichnung

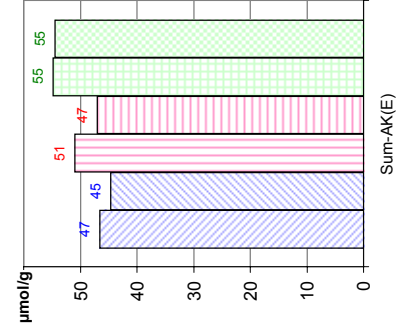
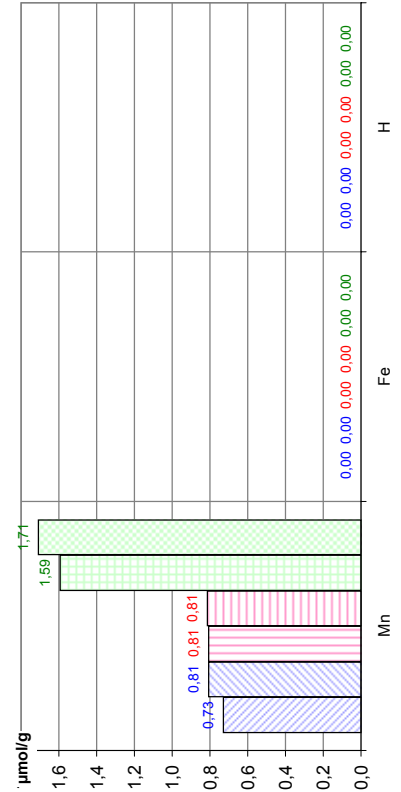
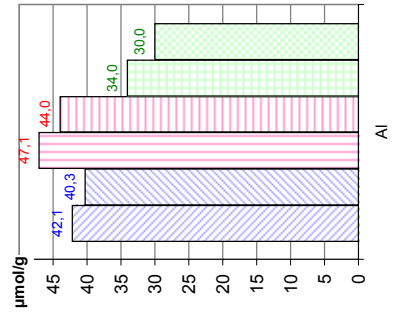
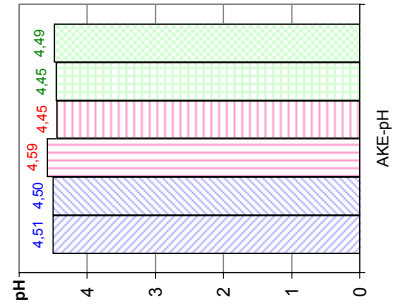
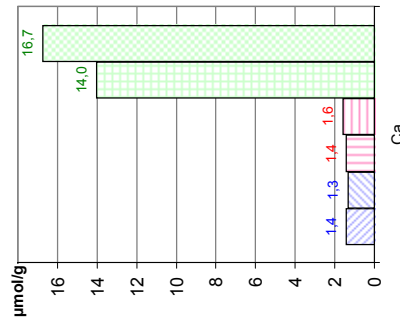
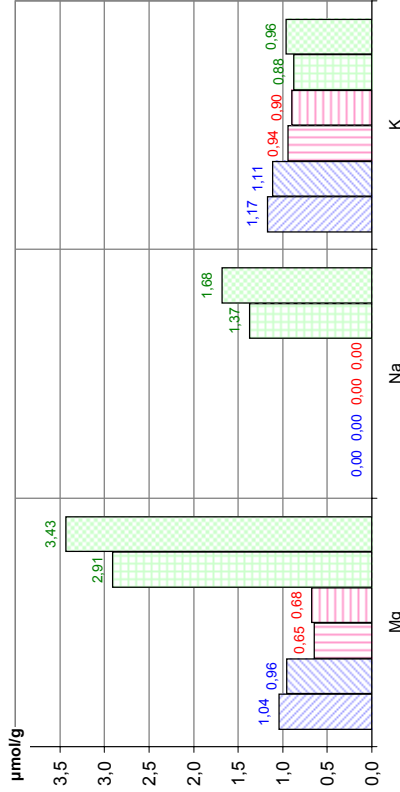
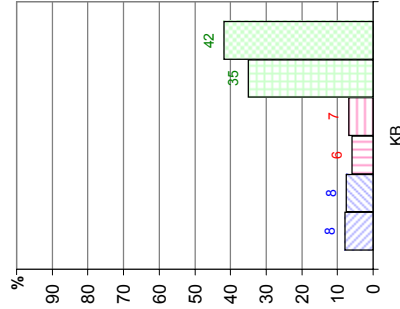
Kurzname

Version

Vorschrift

AKE 3 BZE 1990/94 Effektive Austauschkapazität (Ulrich)  
 AKE-pH 4 BZE 1990/1994 pH-Werte zur AKE

- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



Profil 25, oberer Horizont (Bvs)

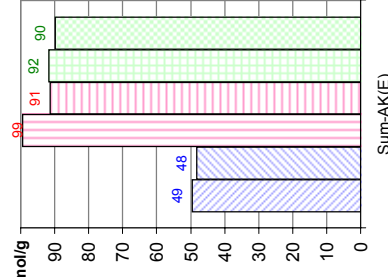
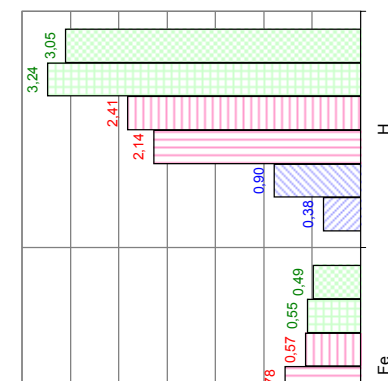
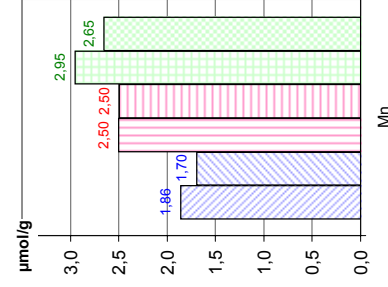
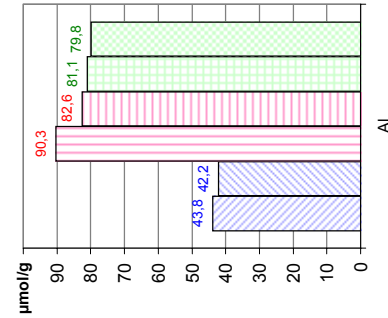
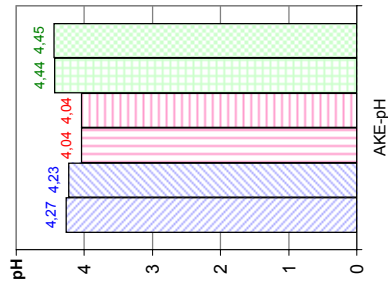
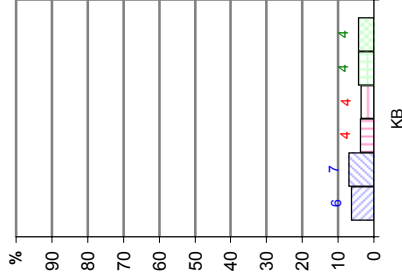
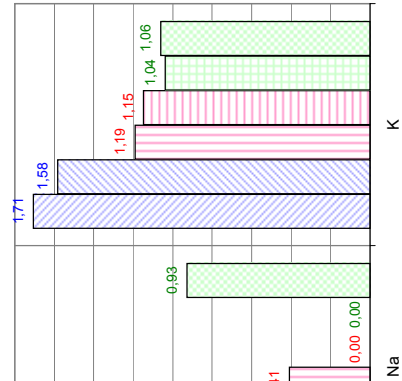
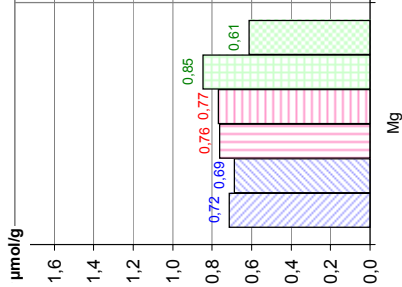
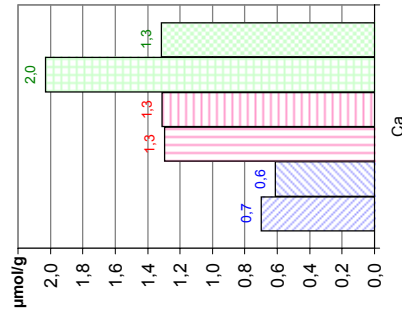
Probenvorbereitung	AKE		AKE-pH									
	Ca	Mg	Na	K	Al	Mn	Fe	H	Sum-AK	KB	pH	
	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	%	
Backenbrecher B	0,7	0,7	<0,3	1,6	43,0	1,8	0,1	1	49	7	4,3	
Manuell M	1,3	0,8	<0,3	1,2	86,5	2,5	0,7	2	95	4	4,0	
Nass-Siebung NS	1,7	0,7	<0,5	1,0	80,5	2,8	0,5	3	91	4	4,0	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

Erläuterungen zur Methodik

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKE	3	BZE 1990/94	Effektive Austauschkapazität (Ulrich)
AKE-pH	4	BZE 1990/1994	pH-Werte zur AKE

- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.



# Profil 25, unterer Horizont (Bv-Cv)

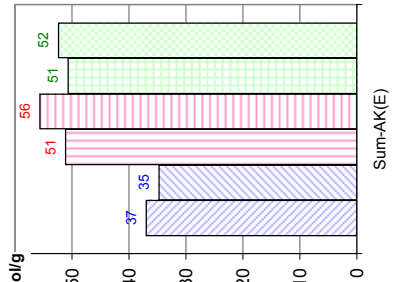
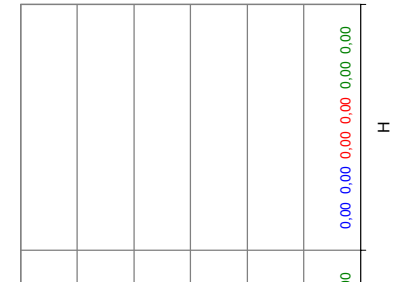
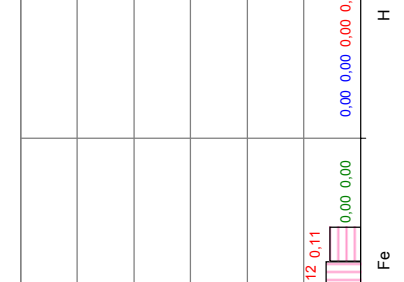
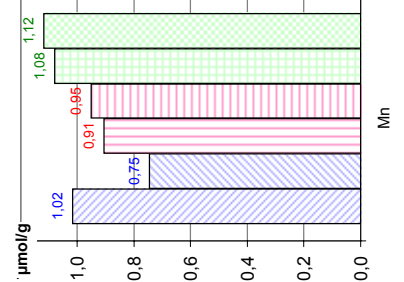
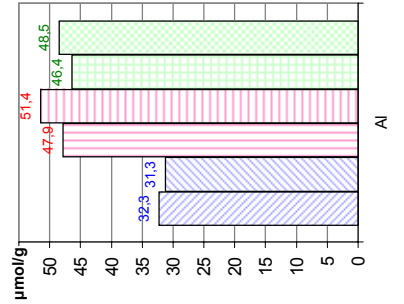
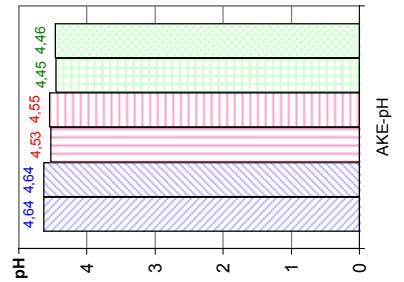
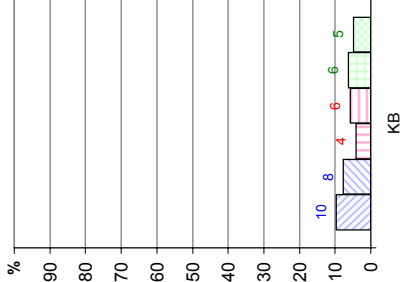
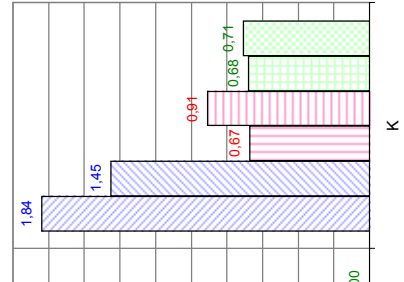
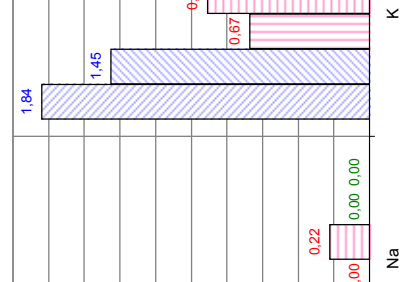
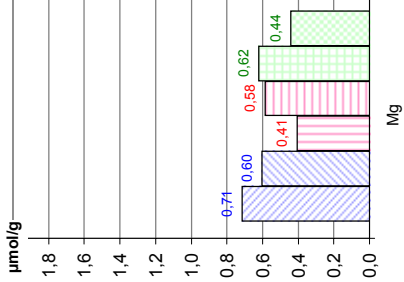
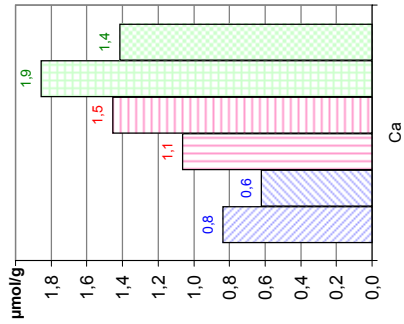
Probenvorbereitung	AKE		AKE-pH									
	Ca	Mg	Mg	Na	K	Al	Mn	Fe	H	Sum-AK	KB	pH
	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	%	
Backenbrecher B	0,7	0,7	<0,2	1,6	31,8	0,9	<0,1	0	36	9	4,6	
Manuell M	1,3	0,5	<0,2	0,8	49,7	0,9	0,1	0	53	5	4,5	
Nass-Siebung NS	1,6	0,5	<0,2	0,7	47,4	1,1	<0,1	0	52	6	4,5	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

## Erläuterungen zur Methodik

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKE	3	BZE 1990/94	Effektive Austauschkapazität (Ulrich)
AKE-pH	4	BZE 1990/1994	pH-Werte zur AKE







- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

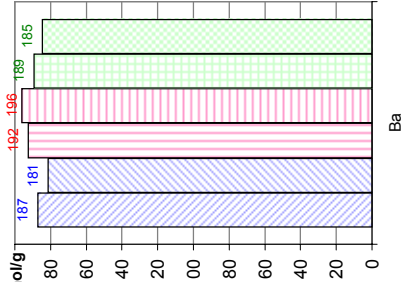
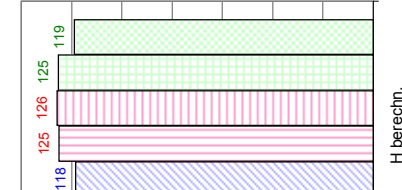
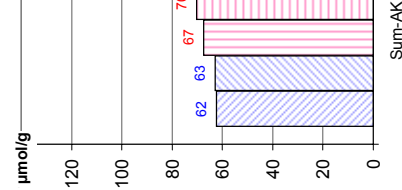
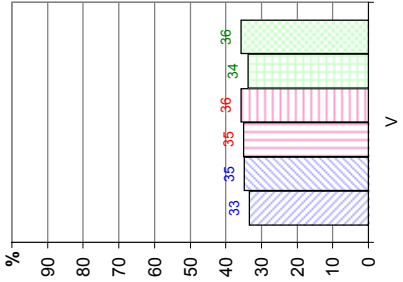
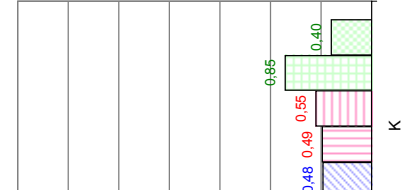
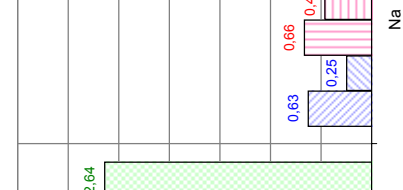
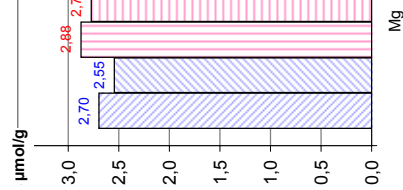
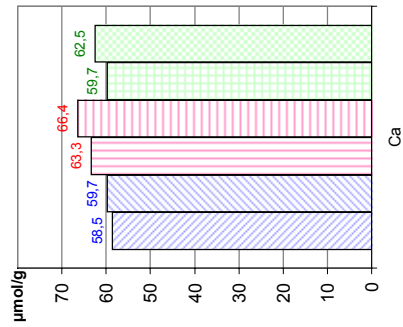


Profil 2, oberer Horizont (Bv-Ah)

Probenvorbereitung	AKP		AKP-RT					
	Ca	Mg	Na	K	Sum-AK	H berechn.	Ba	V
	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	%
Backenbrecher B	59,1	2,6	0,4	0,5	63	121	184	34
Manuell M	64,8	2,8	0,6	0,5	69	125	194	35
Nass-Siebung NS	61,1	2,8	0,4	0,6	65	122	187	35

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

-  B 1. Best.
-  B 2. Best.
-  M 1. Best.
-  M 2. Best.
-  NS 1. Best.
-  NS 2. Best.



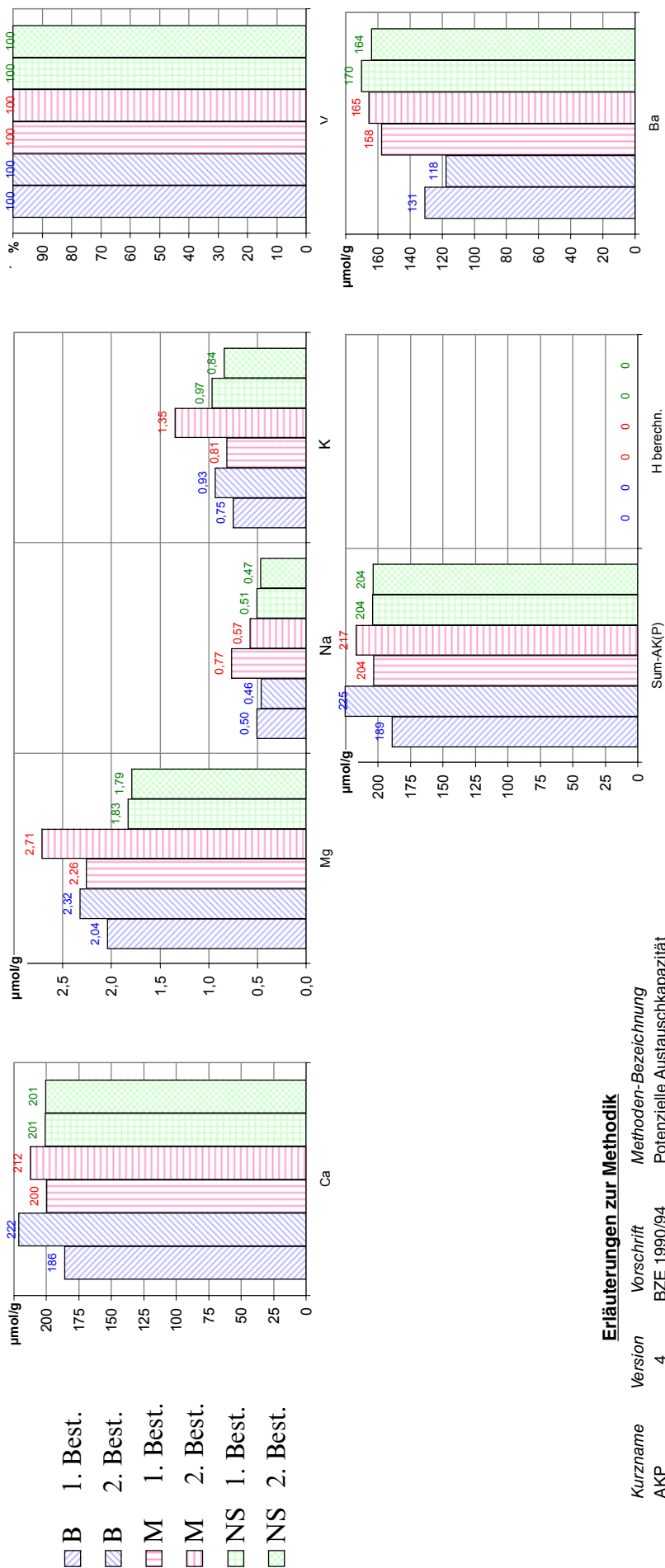
Erläuterungen zur Methodik

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

**Profil 2, unterer Horizont (Bv)**

Probenvorbereitung	AKP		AKP-RT							
	Ca berechn.	Ca berechn.	Ca	Mg	Na	K	Sum-AK	H berechn.	Ba	V
	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$
Backenbrecher B	204	121	2,2	0,5	0,8	0	207	0	124	100
Manuell M	206	157	2,5	0,7	1,1	2,10	0	162	100	
Nass-Siebung NS	201	164	1,8	0,5	0,9	204	0	167	100	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



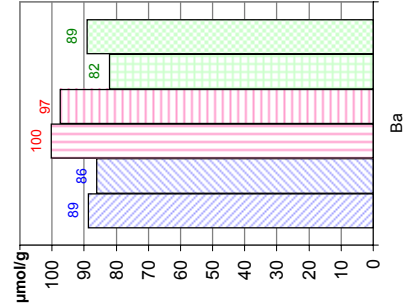
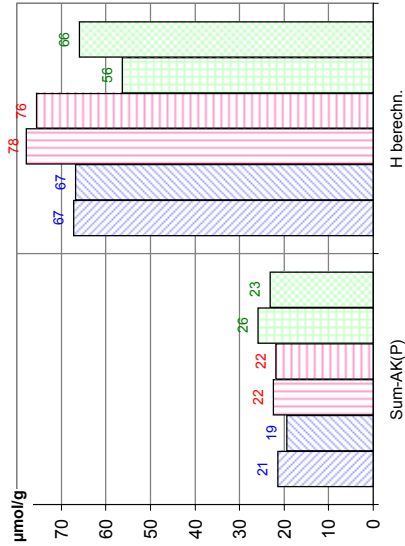
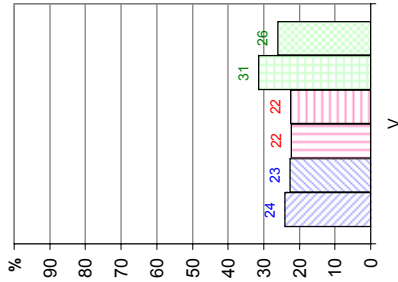
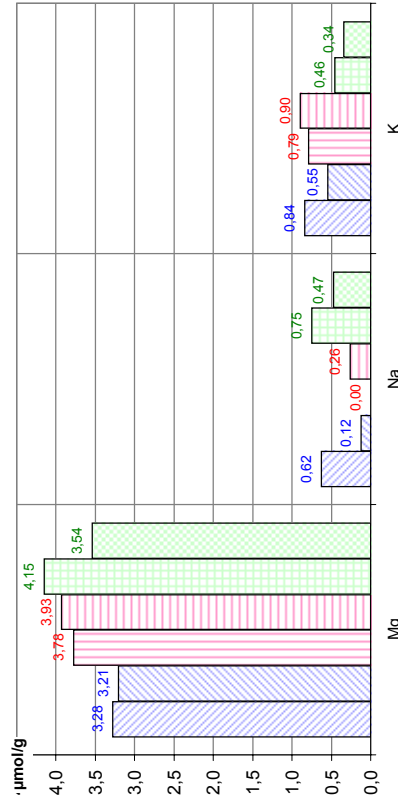
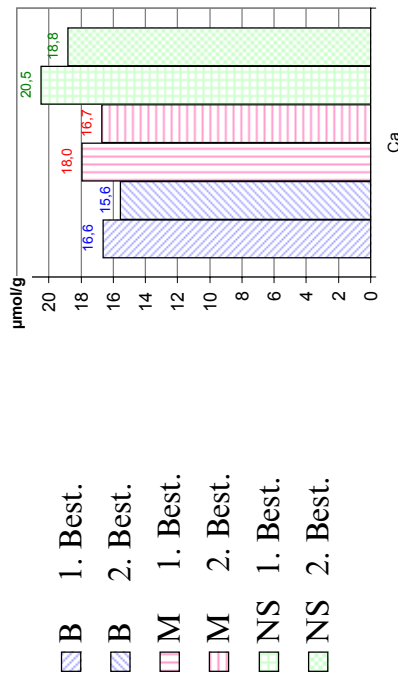
**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

Profil 6, oberer Horizont (Bv)

Probenvorbereitung	AKP		AKP-RT					
	Ca µmol(eq)/g	Mg µmol(eq)/g	Na µmol(eq)/g	K µmol(eq)/g	Sum-AK H berechn. µmol(eq)/g	Ba µmol(eq)/g	V µmol(eq)/g	%
Backenbrecher B	16,1	3,2	0,4	0,7	20	67	88	23
Manuell M	17,3	3,9	<0,2	0,8	22	77	99	22
Nass-Siebung NS	19,6	3,8	0,6	0,4	25	61	86	29

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



Erläuterungen zur Methodik







Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

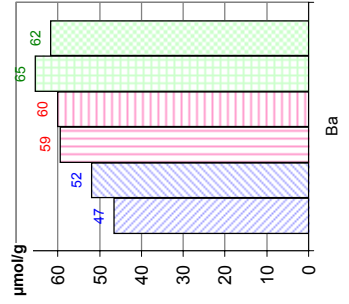
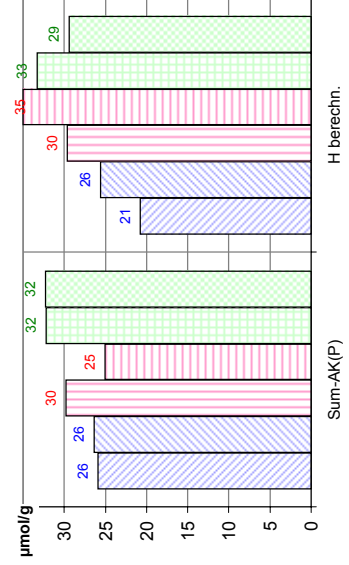
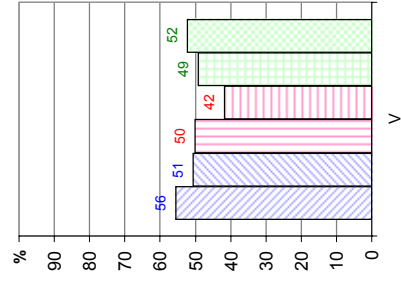
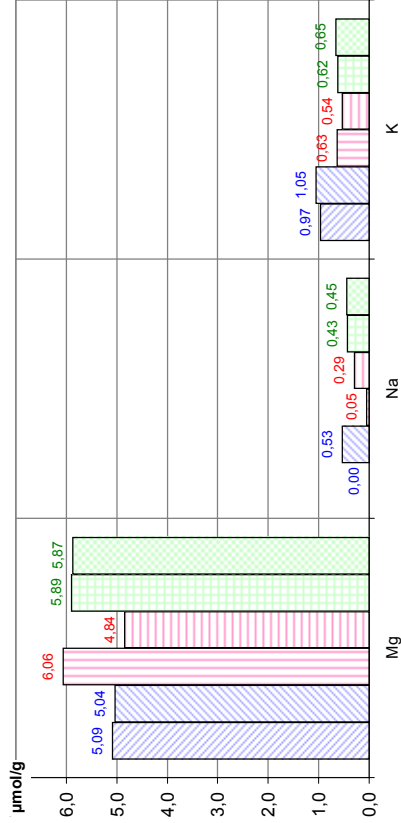
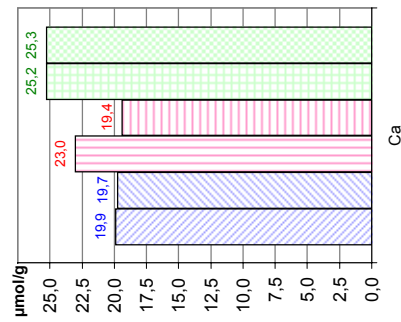


**Profil 6, unterer Horizont (Bv-Cv)**

Probenvorbereitung	AKP			AKP-RT				
	Ca	Mg	Na	K	Sum-AK	H berechn.	Ba	V
	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	%
Backenbrecher B	19,8	5,1	< 0,3	1,0	26	25	51	52
Manuell M	21,2	5,4	0,2	0,6	27	32	60	46
Nass-Siebung NS	25,3	5,9	0,4	0,6	32	31	64	51

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

-  B 1. Best.
-  B 2. Best.
-  M 1. Best.
-  M 2. Best.
-  NS 1. Best.
-  NS 2. Best.



**Erläuterungen zur Methodik**

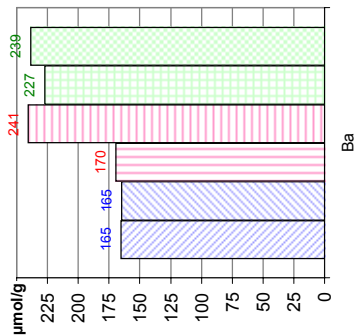
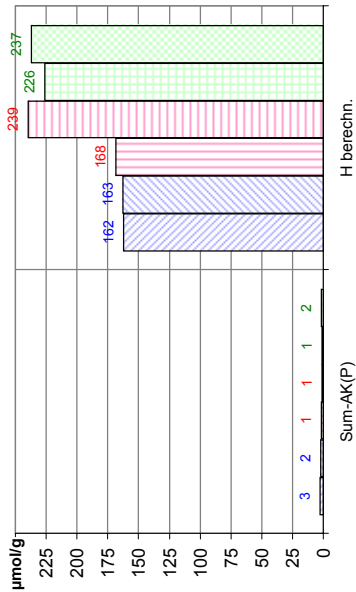
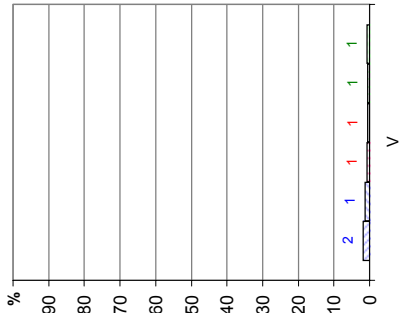
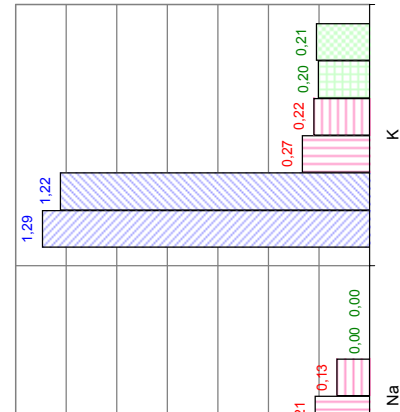
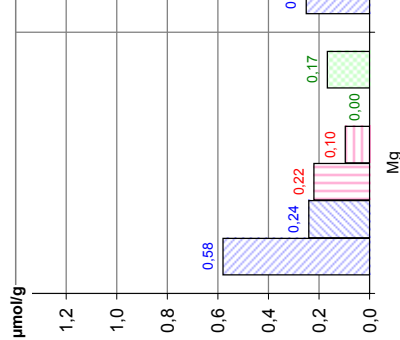
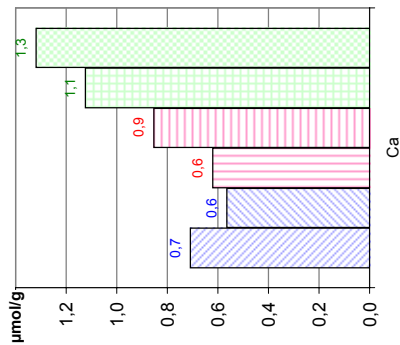
Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

Profil 20, oberer Horizont (Bvs)

Probenvorbereitung	AKP			AKP-RT			
	Ca	Mg	Na	K	Sum-AK H berechn.	Ba	V
	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	%
Backenbrecher B	0,6	0,4	0,2	1,3	3	162	165
Manuell M	0,7	0,2	0,2	0,2	1	204	205
Nass-Siebung NS	1,2	< 0,1	< 0,1	0,2	1	232	233

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.









**Erläuterungen zur Methodik**

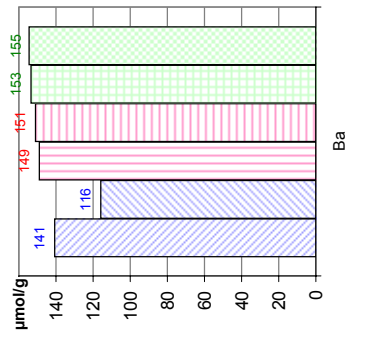
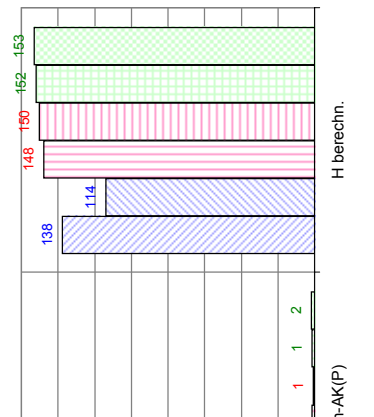
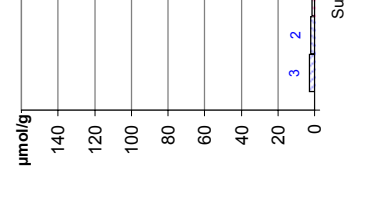
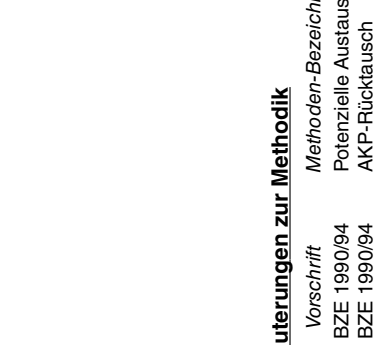
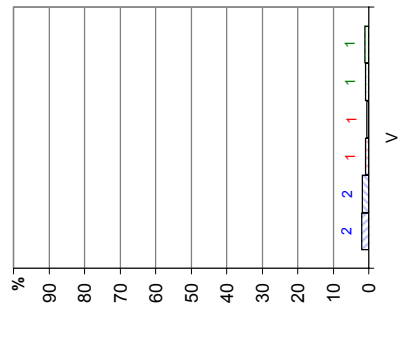
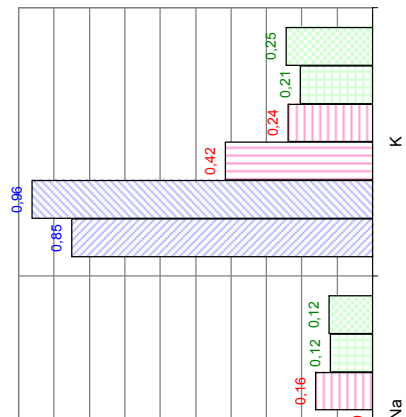
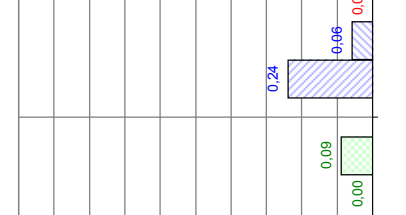
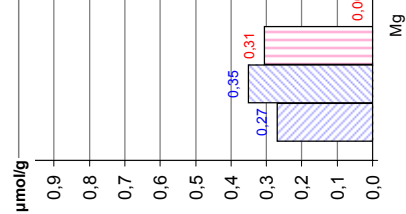
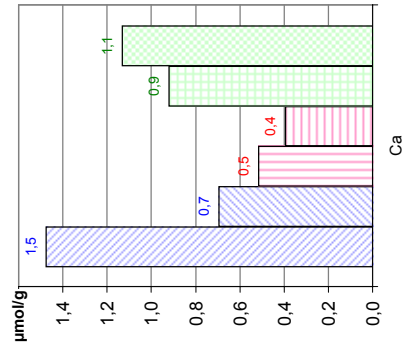
Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

# Profil 20, unterer Horizont (Bv-Cv)

Probenvorbereitung	AKP		AKP-RT				
	Ca	Mg	Na	K	Sum-AK H berechn.	Ba	V
	$\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}$	$\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}$	$\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}$	$\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}$	$\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}$	$\mu\text{mol}(\text{eq})/\text{g}$	%
Backenbrecher B	1,1	0,3	0,1	0,9	2	128	2
Manuell M	0,5	< 0,2	< 0,1	0,3	1	149	1
Nass-Siebung NS	1,0	< 0,1	0,1	0,2	1	153	1

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

-  B 1. Best.
-  B 2. Best.
-  M 1. Best.
-  M 2. Best.
-  NS 1. Best.
-  NS 2. Best.









## Erläuterungen zur Methodik

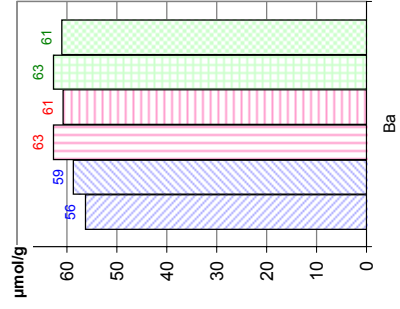
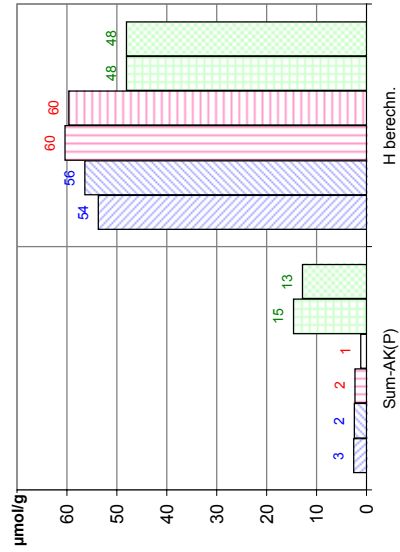
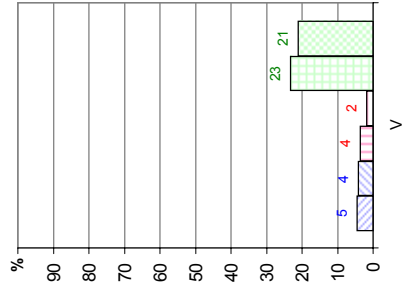
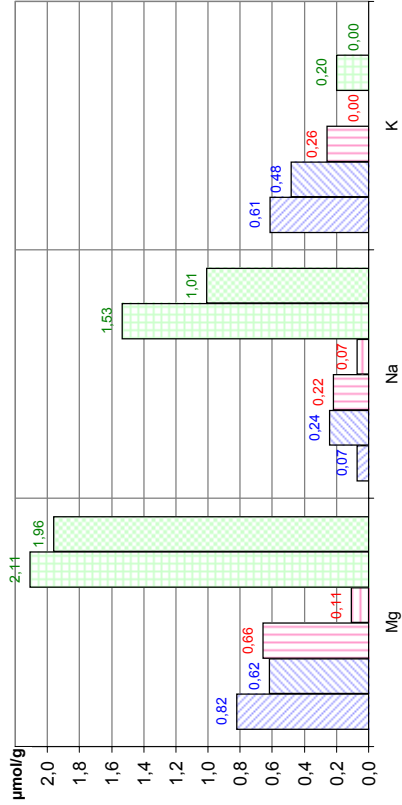
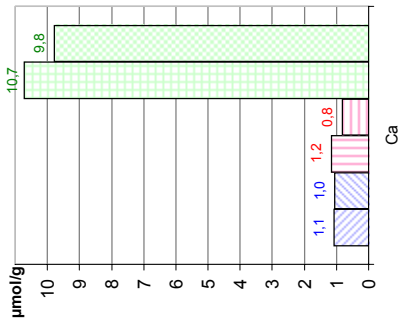
Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

**Profil 22, oberer Horizont (Bv)**

Probenvorbereitung	AKP		AKP-RT					
	Ca	Mg	Na	K	Sum-AK	H berechn.	Ba	V
	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	$\mu\text{mol}/\text{g}$	%
Backenbrecher B	1,1	0,7	0,2	0,5	2	55	57	4
Manuell M	1,0	0,4	0,1	<0,2	2	60	62	3
Nass-Siebung NS	10,3	2,0	1,3	<0,2	14	48	62	22

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte

-  B 1. Best.
-  B 2. Best.
-  M 1. Best.
-  M 2. Best.
-  NS 1. Best.
-  NS 2. Best.



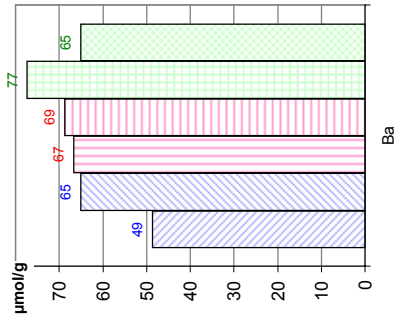
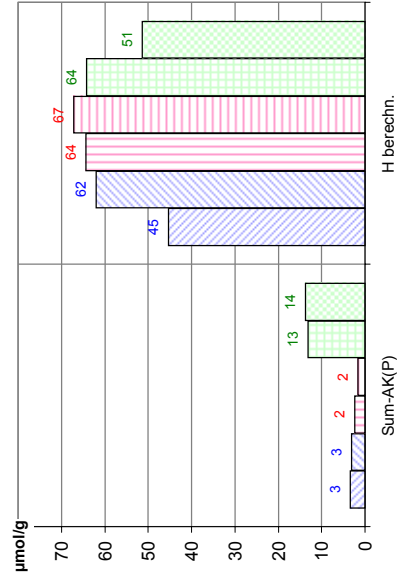
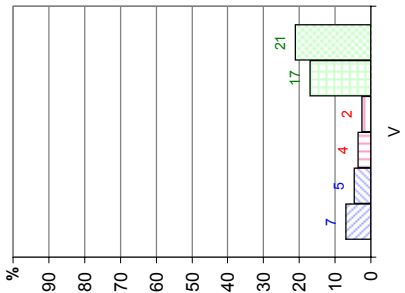
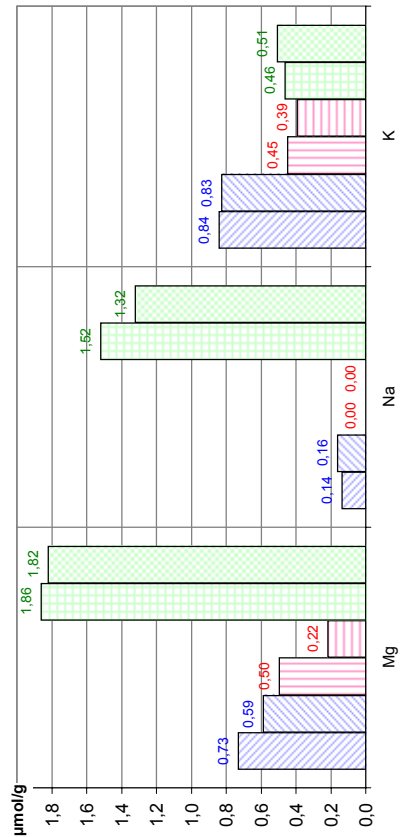
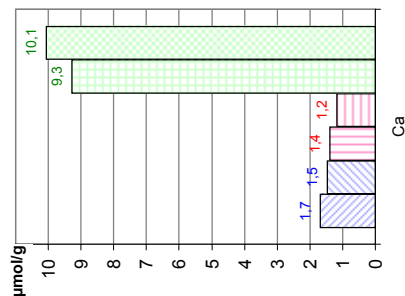
**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

### Profil 22, unterer Horizont (Bv-Cv)

Probenvorbereitung	AKP		AKP-RT				
	Ca	Mg	Na	K	Sum-AK H berechn.	Ba	V
	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	%
Backenbrecher B	1,6	0,7	0,1	0,8	3	54	6
Manuell M	1,3	0,4	<0,1	0,4	2	66	3
Nass-Siebung NS	9,7	1,8	1,4	0,5	13	58	19

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

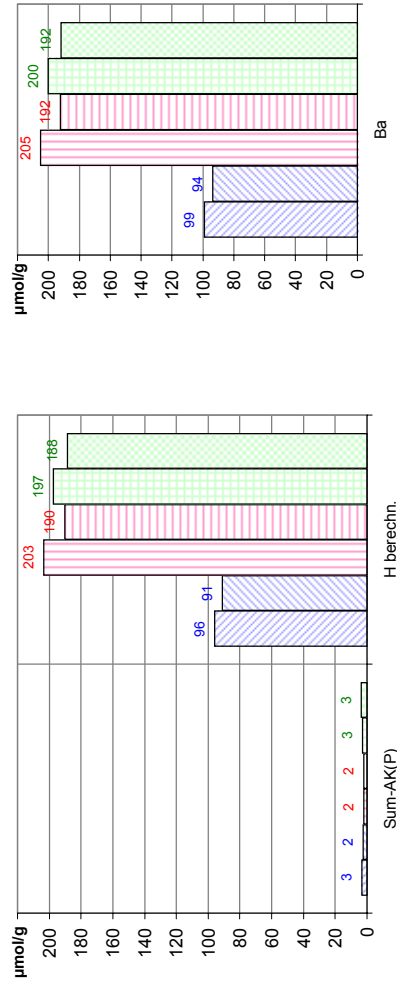
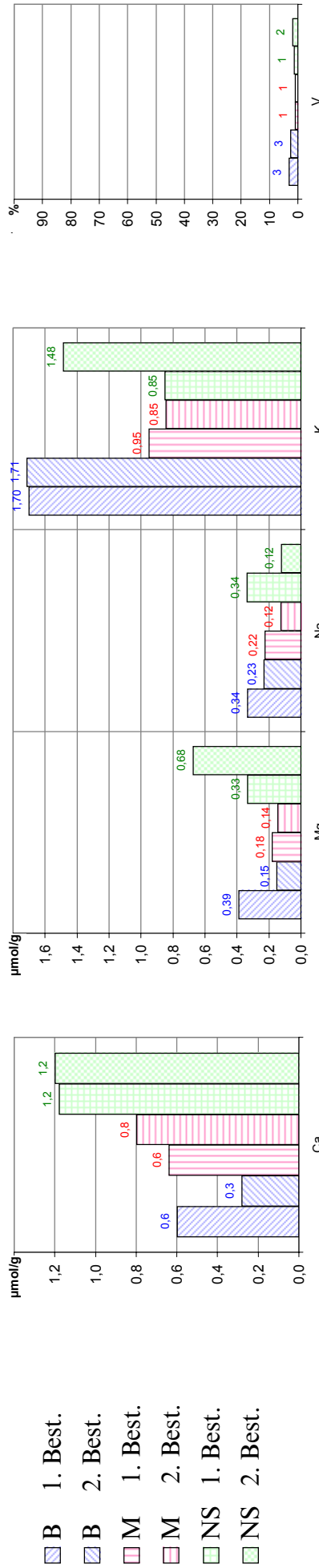
#### Erläuterungen zur Methodik

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

**Profil 25, oberer Horizont (Bvs)**

Probenvorbereitung	AKP			AKP-RT			
	Ca µmol(eq)/g	Mg µmol(eq)/g	Sum-AK µmol(eq)/g	Na µmol(eq)/g	K µmol(eq)/g	H berechn. µmol(eq)/g	V µmol(eq)/g
Backenbrecher B	0,4	0,3	0,3	1,7	3	93	96
Manuell M	0,7	0,2	0,2	0,9	2	197	199
Nass-Siebung NS	1,2	0,5	0,2	1,2	3	193	196

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



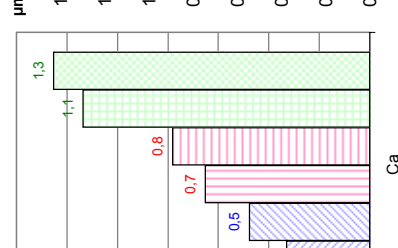
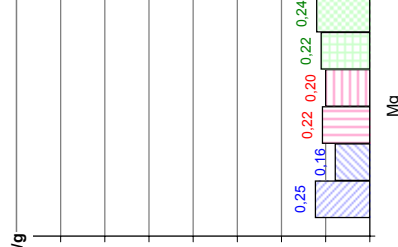
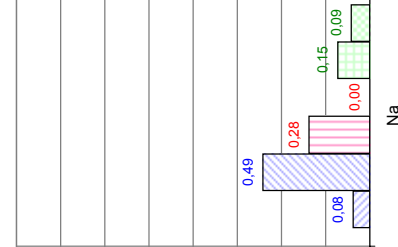
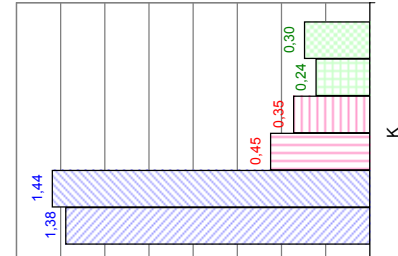
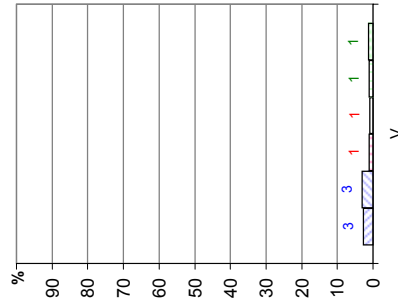
**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

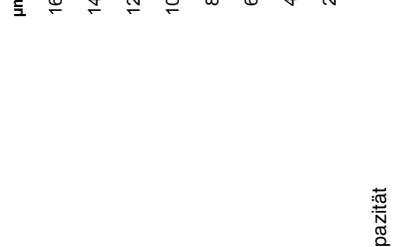
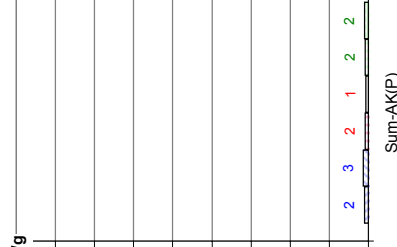
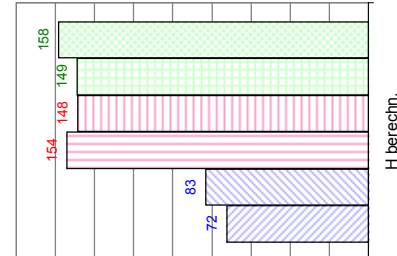
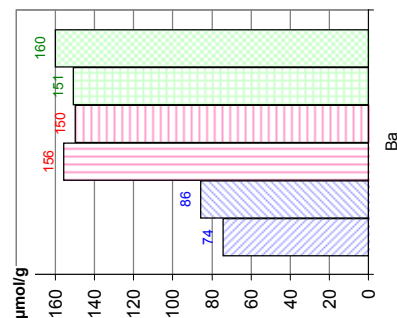
**Profil 25, unterer Horizont (Bv-Cv)**

Probenvorbereitung	AKP		AKP-RT					
	Ca	Mg	Na	K	Sum-AK	H berechn.	Ba	V
	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	$\mu\text{mol(eq)/g}$	%
Backenbrecher B	0,4	0,2	0,3	1,4	2	78	80	3
Manuell M	0,7	0,2	<0,2	0,4	1	151	153	1
Nass-Siebung NS	1,2	0,2	0,1	0,3	2	154	155	1

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

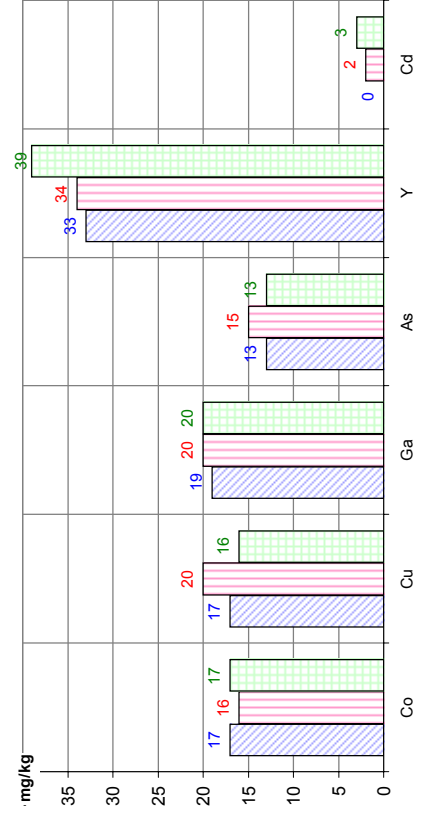
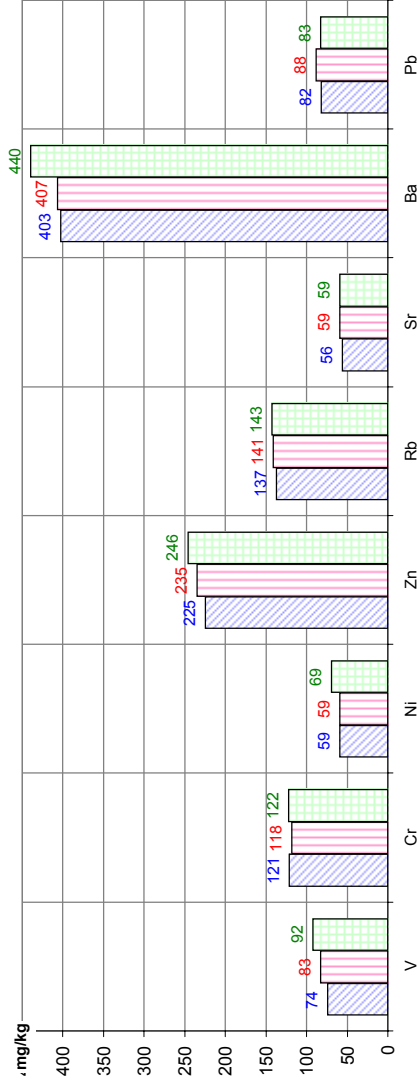
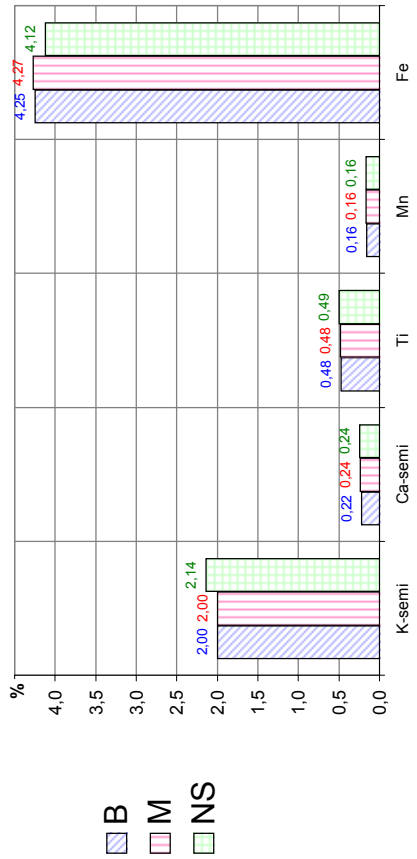


**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
AKP	4	BZE 1990/94	Potenzielle Austauschkapazität
AKP-RT	2	BZE 1990/94	AKP-Rücktausch

Profil 2, oberer Horizont (Bv-Ah)

Probenvorbereitung	RFA-SM																		
	K-semi %	Ca-semi %	Ti mg/kg	V mg/kg	Cr mg/kg	Mn mg/kg	Fe %	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Ga mg/kg	As mg/kg	Rb mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Cd mg/kg	Ba mg/kg	Pb mg/kg
Backenbrecher B	2,0	0,2	4762	74	121	1596	4,2	17	59	17	225	19	13	137	56	33	< 2	403	82
Manuell M	2,0	0,2	4814	83	118	1634	4,3	16	59	20	235	20	15	141	59	34	2	407	88
Nass-Siebung NS	2,1	0,2	4935	92	122	1645	4,1	17	69	16	246	20	13	143	59	39	3	440	83



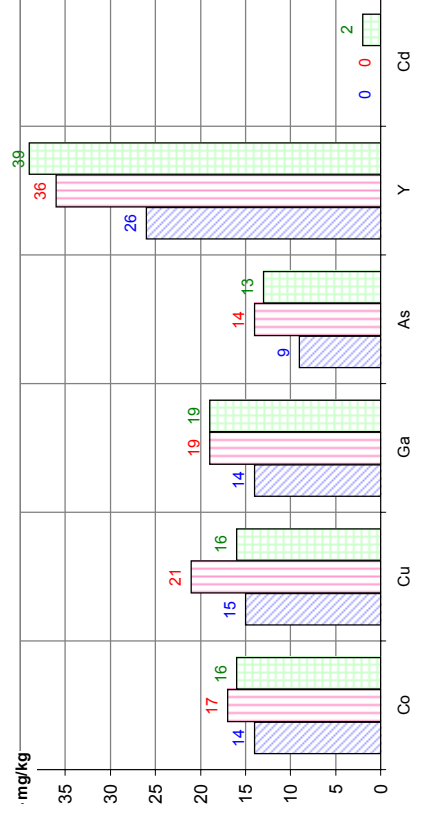
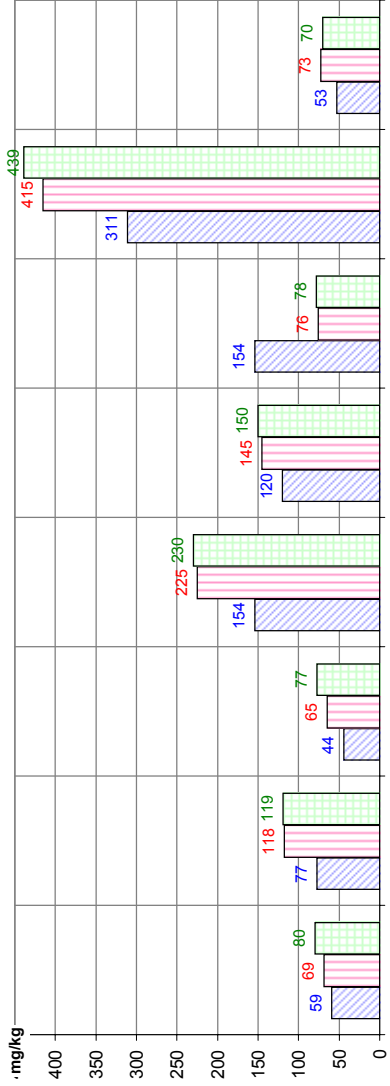
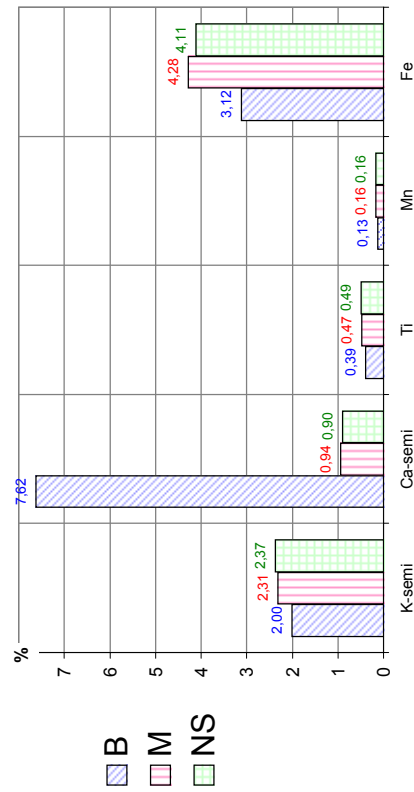
Erläuterungen zur Methodik

Kurzname RFA-SM    Version 4    Vorschrift GLA    Methoden-Bezeichnung Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)



**Profil 2, unterer Horizont (Bv)**

Probenvorbereitung	RFA-SM																		
	K-semi	Ca-semi	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Cd	Ba	Pb
	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Backenbrecher B	2,0	7,6	3924	59	77	1273	3,1	14	44	15	154	14	9	120	154	26	< 2	311	53
Manuell M	2,3	0,9	4732	69	118	1637	4,3	17	65	21	225	19	14	145	76	36	< 2	415	73
Nass-Siebung NS	2,4	0,9	4853	80	119	1633	4,1	16	77	16	230	19	13	150	78	39	2	439	70

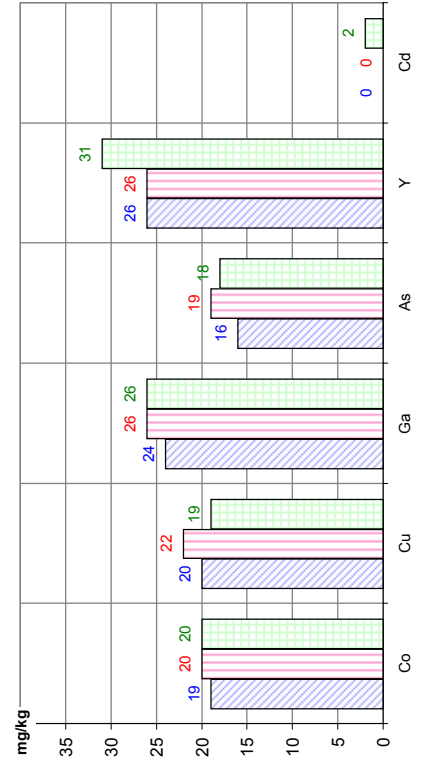
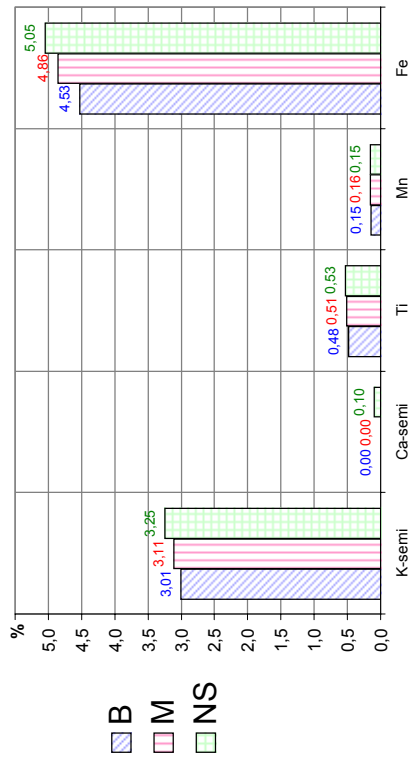


**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
RFA-SM	4	GLA	Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)

**Profil 6, oberer Horizont (Bv)**

		RFA-SM																		
Probenvorbereitung	K-semi %	Ca-semi %	Ti mg/kg	V mg/kg	Cr mg/kg	Mn mg/kg	Fe %	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Ga mg/kg	As mg/kg	Rb mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Cd mg/kg	Ba mg/kg	Pb mg/kg	
																				B
Backenbrecher	3,0	< 0,1	4802	80	106	1462	4,5	19	57	20	178	24	16	187	37	26	< 2	397	422	39
Manuell	3,1	< 0,1	5111	92	111	1557	4,9	20	59	22	189	26	19	197	38	26	< 2	422	41	41
Nass-Siebung	3,2	0,1	5322	103	119	1549	5,1	20	72	19	199	26	18	202	43	31	2	439	40	40

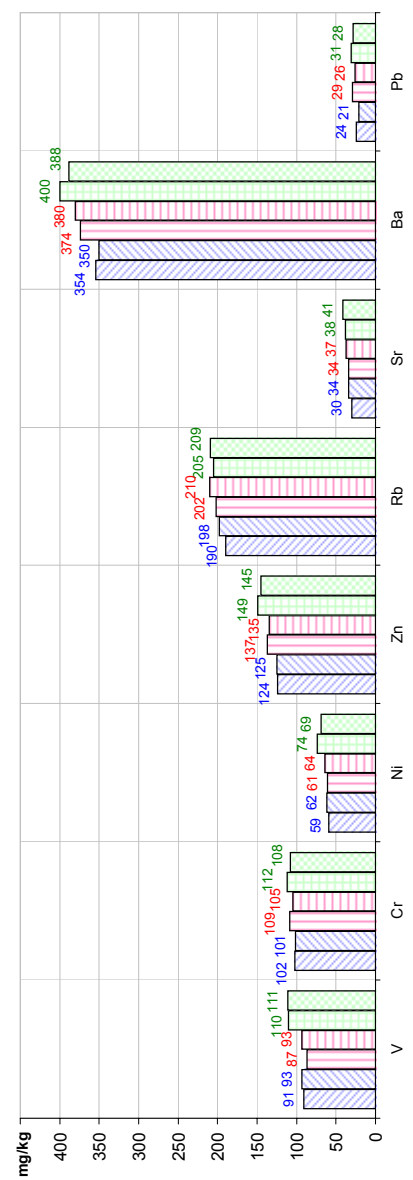
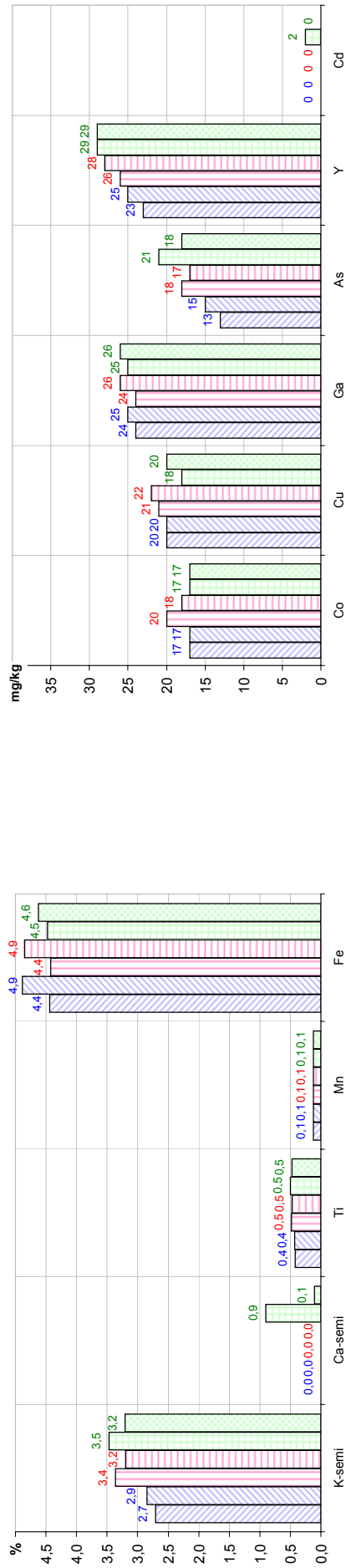


**Erläuterungen zur Methodik**  
 Kurzname RFA-SM    Version 4    Vorschrift GLA    Methoden-Bezeichnung Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)

**Profil 6, unterer Horizont (Bv-Cv)**

Probenvorbereitung	RFA-SM																			
	K-semi %	Ca-semi %	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Cd	Ba	Pb	
mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Backenbrecher B	2,8	<0,1	4265	92	102	1233	4,7	17	61	20	125	25	14	194	32	24	<2	352	23	
Manuell M	3,3	<0,1	4778	90	107	1203	4,6	19	63	22	136	25	18	206	36	27	<2	377	28	
Nass-Siebung NS	3,3	0,5	4842	111	110	1197	4,5	17	72	19	147	26	20	207	40	29	<2	394	30	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

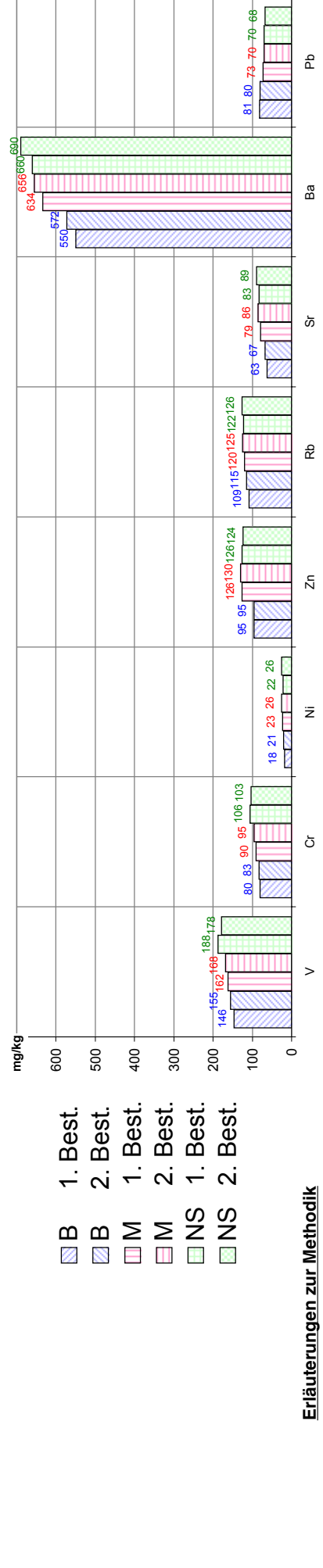
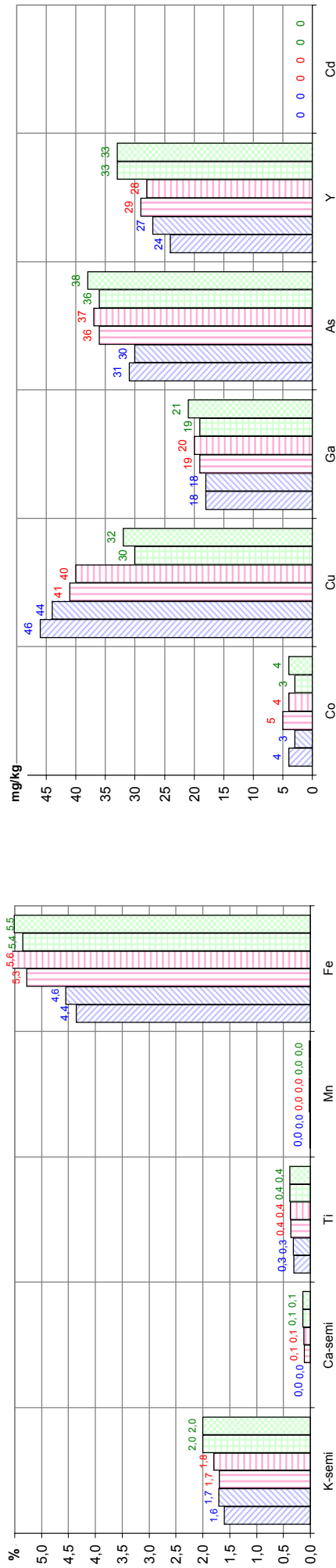
**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
RFA-SM	4	GLA	Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)

**Profil 20, oberer Horizont (Bvs)**

Probenvorbereitung	RFA-SM																		
	K-semi	Ca-semi	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Sr	Y	Cd	Ba	Pb	
%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
Backenbrecher B	1,7	<0,1	3117	151	82	104	4,5	4	20	45	95	18	31	112	65	26	<2	561	81
Manuell M	1,7	0,1	3666	165	93	147	5,4	5	25	41	128	20	37	123	83	29	<2	645	72
Nass-Siebung NS	2,0	0,1	3805	183	105	160	5,4	4	24	31	125	20	37	124	86	33	<2	675	69

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



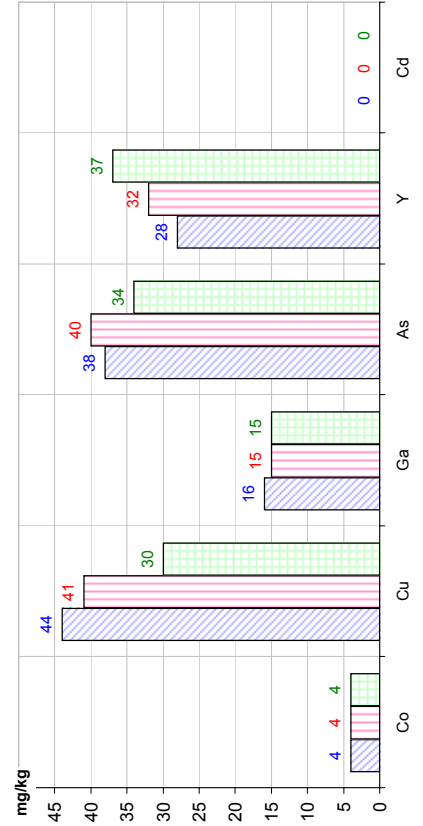
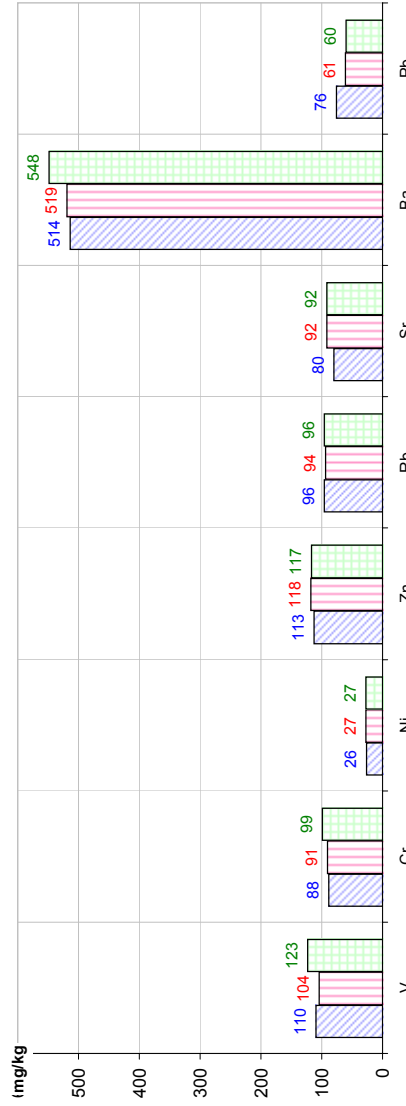
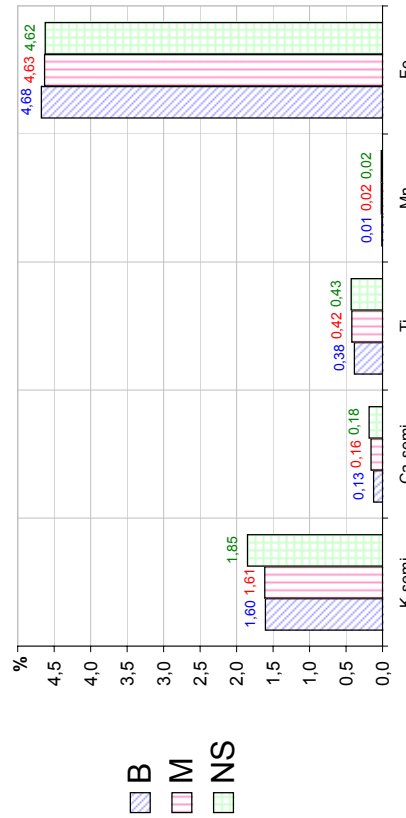
- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname RFA-SM      Version 4      Vorschrift GLA      Methoden-Bezeichnung Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)

### Profil 20, unterer Horizont (Bv-Cv)

Probenvorbereitung	RFA-SM																		
	K-semi	Ca-semi	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Cd	Ba	Pb
	%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Backenbrecher B	1,6	0,1	3828	110	88	131	4,7	4	26	44	113	16	38	96	80	28	< 2	514	76
Manuell M	1,6	0,2	4167	104	91	168	4,6	4	27	41	118	15	40	94	92	32	< 2	519	61
Nass-Siebung NS	1,9	0,2	4334	123	99	168	4,6	4	27	30	117	15	34	96	92	37	< 2	548	60



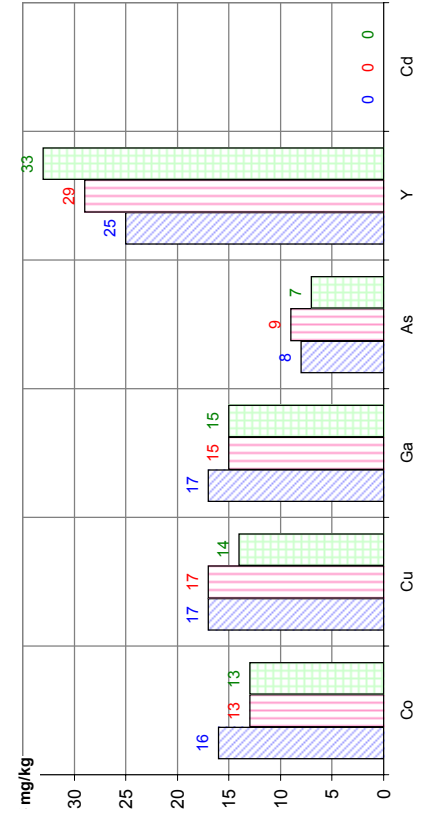
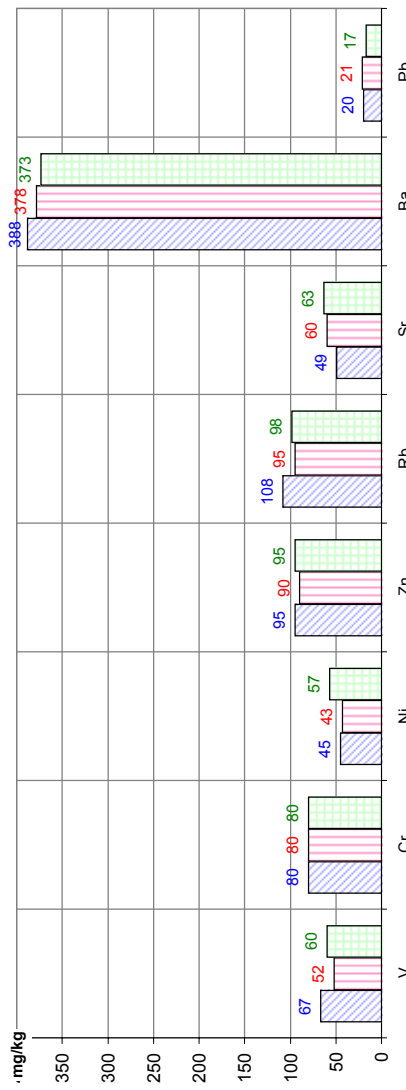
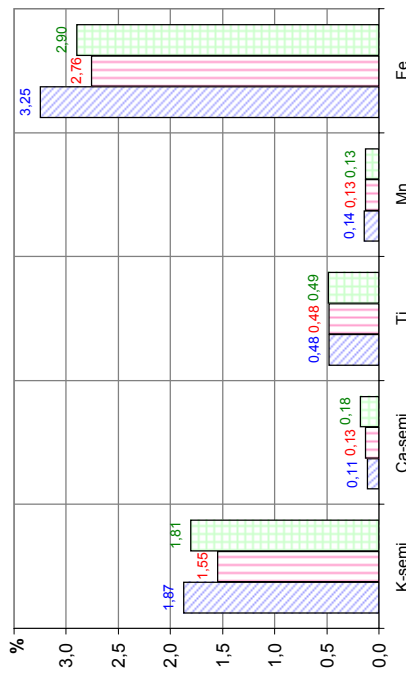
B  
 M  
 NS

#### Erläuterungen zur Methodik

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
RFA-SM	4	GLA	Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)

**Profil 22, oberer Horizont (Bv)**

Probenvorbereitung	RFA-SM																		
	K-semi %	Ca-semi %	Ti mg/kg	V mg/kg	Cr mg/kg	Mn mg/kg	Fe %	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Ga mg/kg	As mg/kg	Rb mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Cd mg/kg	Ba mg/kg	Pb mg/kg
Backenbrecher B	1,9	0,1	4770	67	80	1442	3,2	16	45	17	95	17	8	108	49	25	< 2	388	20
Manuell M	1,5	0,1	4773	52	80	1270	2,8	13	43	17	90	15	9	95	60	29	< 2	378	21
Nass-Siebung NS	1,8	0,2	4881	60	80	1277	2,9	13	57	14	95	15	7	98	63	33	< 2	373	17



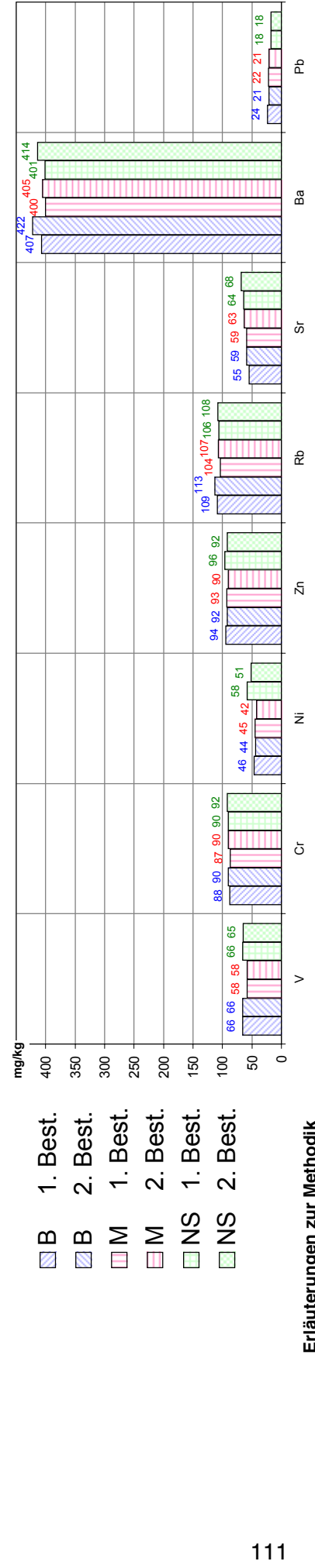
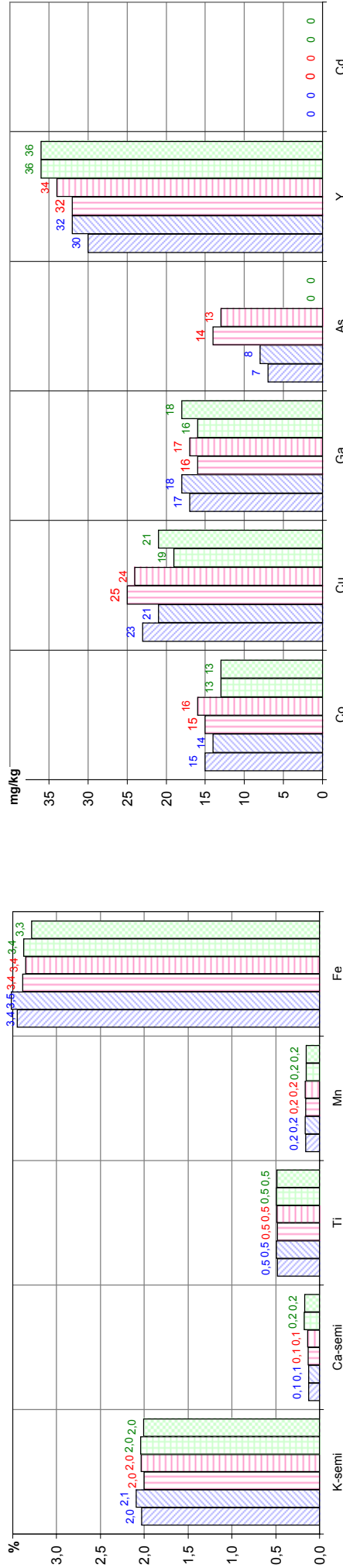
**B** **M** **NS**

**Erläuterungen zur Methodik**  
 Kurzname RFA-SM    Version 4  
 Vorschrift GLA    Methoden-Bezeichnung Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)

**Profil 22, unterer Horizont (Bv-Cv)**

Probenvorbereitung	RFA-SM																			
	K-semi %	Ca-semi %	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Cd	Ba	Pb	
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Backenbrecher B	2,1	0,1	4846	66	89	1616	3,5	15	45	22	93	18	8	111	57	31	< 2	415	23	
Manuell M	2,0	0,1	4830	58	89	1591	3,4	16	44	25	92	17	14	106	61	33	< 2	403	22	
Nass-Siebung NS	2,0	0,2	4883	66	91	1520	3,3	13	55	20	94	17	< 6	107	66	36	< 2	408	18	

Bei Doppelbestimmungen enthält die Tabelle die Mittelwerte



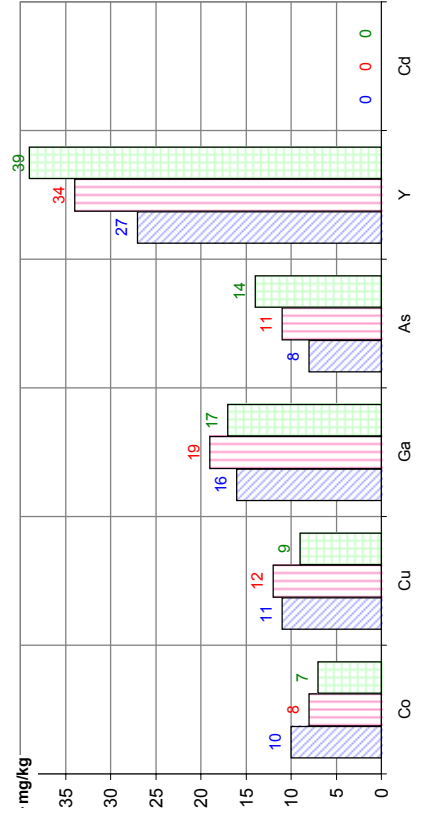
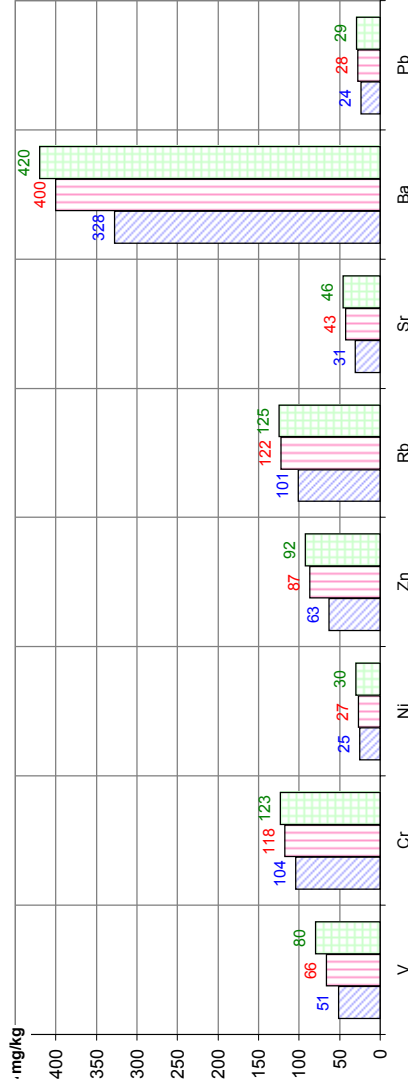
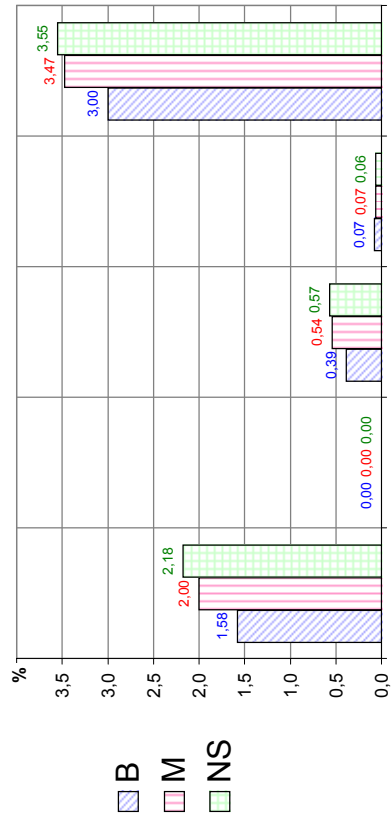
- B 1. Best.
- B 2. Best.
- M 1. Best.
- M 2. Best.
- NS 1. Best.
- NS 2. Best.

**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname: RFA-SM  
 Version: 4  
 Vorschrift: GLA  
 Methodik-Bezeichnung: Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)

**Profil 25, oberer Horizont (Bvs)**

Probenvorbereitung	RFA-SM																		
	K-semi %	Ca-semi %	Ti mg/kg	V mg/kg	Cr mg/kg	Mn mg/kg	Fe %	Co mg/kg	Ni mg/kg	Cu mg/kg	Zn mg/kg	Ga mg/kg	As mg/kg	Rb mg/kg	Sr mg/kg	Y mg/kg	Cd mg/kg	Ba mg/kg	Pb mg/kg
Backenbrecher B	1,6	< 0,1	3854	51	104	743	3,0	10	25	11	63	16	8	101	31	27	< 2	328	24
Manuell M	2,0	< 0,1	5372	66	118	658	3,5	8	27	12	87	19	11	122	43	34	< 2	400	28
Nass-Siebung NS	2,2	< 0,1	5682	80	123	631	3,6	7	30	9	92	17	14	125	46	39	< 2	420	29



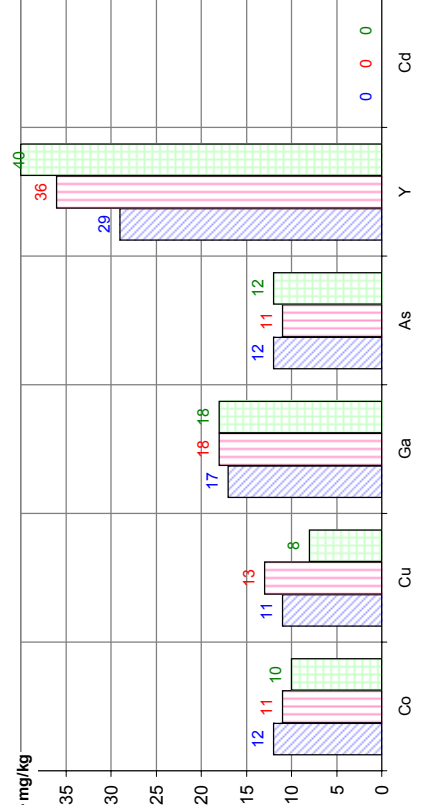
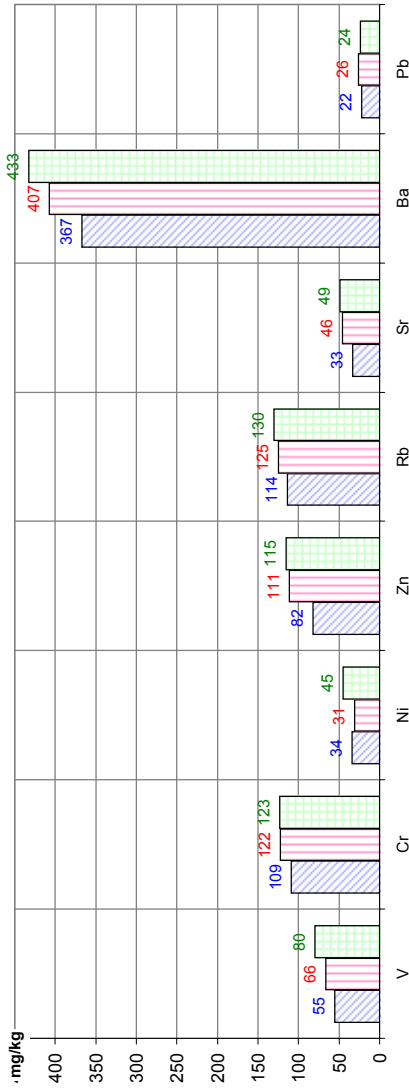
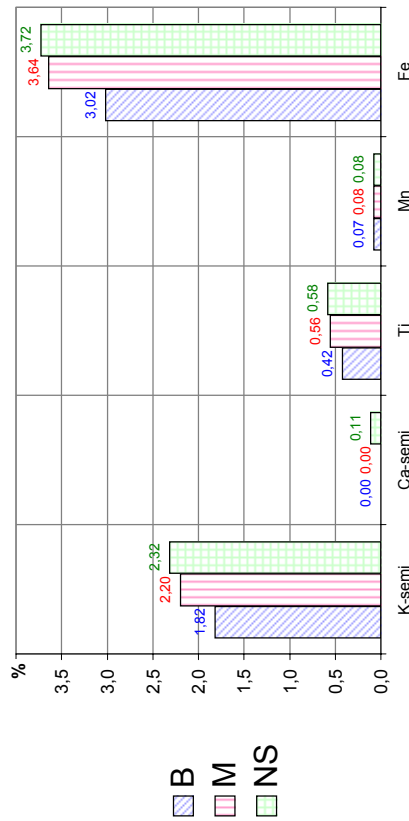
**Erläuterungen zur Methodik**

Kurzname	Version	Vorschrift	Methoden-Bezeichnung
RFA-SM	4	GLA	Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)



**Profil 25, unterer Horizont (Bv-Cv)**

		RFA-SM																			
Probenvorbereitung		K-semi	Ca-semi	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	As	Rb	Sr	Y	Cd	Ba	Pb	
		%	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	%	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Backenbrecher	B	1,8	< 0,1	4177	55	109	744	3,0	12	34	11	82	17	12	114	33	29	< 2	367	22	
Manuell	M	2,2	< 0,1	5578	66	122	807	3,6	11	31	13	111	18	11	125	46	36	< 2	407	26	
Nass-Siebung	NS	2,3	0,1	5820	80	123	786	3,7	10	45	8	115	18	12	130	49	40	< 2	433	24	



**Erläuterungen zur Methodik**  
 Kurzname RFA-SM    Version 4    Vorschrift GLA    Methoden-Bezeichnung Röntgenfluoreszenzanalyse (Totalgehalt)



**scriptum** – Arbeitsergebnisse aus dem Geologischen Landesamt Nordrhein-Westfalen (ISSN 1430-5267)  
In dieser Reihe erschienen:

**Heft 1:** 75 S., 5 Abb.; Krefeld 1996

**Gert Michel; Ulrich Adams; Georg Schollmayer:** Grundwasser in Nordrhein-Westfalen. Eine Bibliographie zur regionalen Hydrogeologie

Heft 1 ist auch als Datei mit einem dazugehörigen Installationsprogramm auf Diskette erhältlich. Die digitale Fassung ist geeignet für alle PCs, die mit einer MS-WINDOWS-Version ab 3.1 ausgestattet sind.

**Heft 2:** 83 S., 34 Abb., 9 Tab., 4 Anl.; Krefeld 1997

Fünf Beiträge zur Geologie und Bodenkunde

**Heft 3:** 94 S., 23 Abb., 27 Tab., 12 Taf., 10 Anl.; Krefeld 1998

**Reinhold Strotmann:** Hydrologische Auswirkungen der Siedlungsentwicklung auf den Wasserkreislauf der Stadt Krefeld (1800 – 1995)

**Heft 4:** 85 S., 30 Abb., 2 Tab., 5 Taf.; Krefeld 1999

Vier Beiträge zur Geologie und Bodenkunde

**Heft 5:** 57 S., 23 Abb., 6 Tab.; Krefeld 1999

Zwei Beiträge zur Hydrogeologie

**Heft 6:** 53 S., 21 Abb., 5 Tab.; Krefeld 2000

**Kies- und Sandgewinnung** – Fachbeiträge zur Rohstoffsicherung in Nordrhein-Westfalen

**Heft 7:** 127 S., 24 Abb., 17 Tab., 6 Kt.; Krefeld 2000

**Stoffbestand, Eigenschaften und räumliche Verbreitung urban-industrieller Böden** – Ergebnisse aus dem Projekt Stadtbodenkartierung Oberhausen-Brücktorviertel –

ab 2001: **scriptum** – Arbeitsergebnisse aus dem Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen

**Heft 8:** 115 S., 54 Abb., 1 Tab.; Krefeld 2001

**Geotopschutz im Ballungsgebiet.** 5. Internationale Tagung der Fachsektion Geotopschutz der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 16. – 19. Mai 2001 in Krefeld. Vortragskurzfassungen und Exkursionsführer.

**Heft 9:** 166 S., 127 Abb., 6 Tab., 6 S. Anh.; Krefeld 2002

**Geotopschutz im Ballungsgebiet.** 5. Internationale Tagung der Fachsektion Geotopschutz der Deutschen Geologischen Gesellschaft, 16. – 19. Mai 2001 in Krefeld. Tagungsband 77

Die Hefte sind zu beziehen beim Geologischen Dienst Nordrhein-Westfalen – Landesbetrieb –,  
Postfach 10 07 63, D-47707 Krefeld, Fon 0 21 51/89 7-2 10 oder -2 12, Fax 0 21 51/89 74 28

<b>scriptum</b>	<b>Heft 1</b>	Best.-Nr. 8000	€ 7,-
<b>scriptum</b>	<b>Heft 1</b> (Heft und Diskette)	Best.-Nr. 8002	€ 12,-
<b>scriptum</b>	<b>Heft 2</b>	Best.-Nr. 8003	€ 7,-
<b>scriptum</b>	<b>Heft 3</b>	Best.-Nr. 8004	€ 7,-
<b>scriptum</b>	<b>Heft 4</b>	Best.-Nr. 8005	€ 7,-
<b>scriptum</b>	<b>Heft 5</b>	Best.-Nr. 8006	€ 7,-
<b>scriptum</b>	<b>Heft 6</b>	Best.-Nr. 8007	€ 7,-
<b>scriptum</b>	<b>Heft 7</b>	Best.-Nr. 8008	€ 7,-
<b>scriptum</b>	<b>Heft 8</b>	Best.-Nr. 8009	€ 7,-
<b>scriptum</b>	<b>Heft 9</b>	Best.-Nr. 8010	€ 9,50

---

# CD-ROM

## Auskunftssystem Mechanische Belastbarkeit von Böden in NRW

---

Das Befahren von landwirtschaftlich genutzten Böden mit schweren Fahrzeugen und Geräten führt zu irreversiblen Bodenverdichtungen und Gefügeschäden, wenn die mechanische Belastbarkeit des Bodens, also seine Tragfähigkeit bzw. sein Druckkompensationsvermögen, zu gering ist.

Um den Maschineneinsatz auf die mechanische Belastbarkeit des Bodens abzustimmen, wird als Maß für die Eigenfestigkeit der Bodenstruktur die Vorbelastung als Obergrenze der Belastung berechnet, ab der ein feuchter, jedoch ungesättigter und strukturierter Boden bleibend verformt wird. Das Auskunftssystem basiert auf der Vornorm DIN 19688 und der Bodenkarte von Nordrhein-Westfalen 1 : 50 000.

Für den Einsatz von schweren landwirtschaftlichen Fahrzeugen und Geräten weist das Auskunftssystem Flächen aus, die „nicht“, „häufig nur eingeschränkt“ oder „weitgehend nur eingeschränkt“ befahren werden können.

Maßstabsbedingt lässt das Auskunftssystem keine Darstellung lokaler Besonderheiten zu. Vorrangig dient es gemäß Erlass des Ministeriums für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft vom 29. Januar 2000 (IV C 3 – 34-02-07) als Grundlage für die Eingrenzung von Problemschwerpunkten für die Beratung zur „Guten fachlichen Praxis in der Landwirtschaft“ nach § 17 BBodSchG



Krefeld 2003  
ISBN 3-86029-705-8  
€ 30,00 (Schutzgeb. inkl. MwSt.)

### Vertrieb:

Geologischer Dienst NRW  
– Landesbetrieb –  
Postfach 10 07 63 · D-47707 Krefeld

### Internetadresse:

geoshop@gd.nrw.de