Umweltinstitut
Vorarlberg

Bodenschutz

Projekt „Waldböden 2004“

Zusammenfassender Bericht über 23 Standorte

Bericht UI-02/2012

Bodenschutz

Projekt „Waldböden 2004“

Zusammenfassender Bericht über 23 Standorte

Gesamtbearbeitung:
Abteilung Gewässergüte
Funktionsbereich Bodenschutz
Josef Scherer

Unter Mitarbeit von:
Peter Singer
Dietmar Buhmann

Impressum

Herausgeber und Medieninhaber:
Amt der Vorarlberger Landesregierung
Römerstraße 16, 6900 Bregenz

Verleger:
Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg
Montfortstraße 4, 6900 Bregenz
Tel. 05574/511-42099

Titelbild: Ausgewählte Bodenprofile aus dem Projekt
Quelle: UI

Bregenz, Februar 2012

Bodenschutz

Projekt „Waldböden 2004“

Zusammenfassender Bericht über 23 Standorte

Inhaltsverzeichnis:

Projekt „Waldböden 2004“ ____ *1*

1. Zusammenfassung ____ *4*

2. Einleitung ____ *5*

3. Die Standortauswahl ____ *5*

4. Methodik ____ *6*

4.1. Methodik ÖKO ____ **6**
4.1.1. Methodische Unterschiede zwischen 1986 und 2004 ____ 6
4.1.2. Vergleichbarkeit der Rückstellproben 1986 mit den Frischproben 2004 ____ 7

4.2. Methodik ÖBG ____ **7**
4.2.1. Probenahme ____ 7
4.2.2. Probenvorbereitung ____ 8
4.2.3. Die Analytik ____ 8

5. Auswertung der Daten ____ *8*

5.1. Der Vergleich der verschiedenen ÖKO – Datensätze ____ **8**
5.1.1. pH-Wert ____ 9
5.1.2. T-Wert, KH Wert, Humus ____ 9
5.1.3. Elektrische Leitfähigkeit ____ 11
5.1.4. Elemente am Sorptionskomplex ____ 12
5.1.5. Elemente im Wasserextrakt ____ 13
5.1.6. Elemente im Gesamtaufschluss ____ 14

5.2. Der Vergleich Daten ÖKO - Daten ÖBG: ____ **15**
5.2.1. Minimal- und Maximalwerte beider Methoden: ____ 15
5.2.2. Korrelationen vergleichbarer Parameter ____ 17

6. Literatur ____ *20*

19 Abbildungen
3 Tabellen

Projekt „Waldböden 2004“
Zusammenfassender Bericht über 23 Standorte

1. Zusammenfassung

Der Vergleich der unterschiedlichen Datensätze, die nach der ÖKO-Methode untersucht wurden, zeigt, dass nicht alle Standorte der Bodenzustandsinventur 1986 so genau wiedergefunden wurden, dass die Ergebnisse verglichen oder im Hinblick auf Veränderungen seit der Erstuntersuchung beurteilt werden können. Daraus ergibt sich ganz klar, dass einer sicheren Verortung der Probenahmestellen hohe Priorität zukommen muss. Weiters hat sich ergeben, dass im Zuge längerfristiger Probenlagerung im Bodenmaterial Veränderungen eintraten, die mit den weniger aggressiven Lösungsmedien der fraktionierten Analyse nur mehr eingeschränkte Vergleiche mit der Erstuntersuchung zulassen.

Die Parameter, die von der Fa. ÖKO Datenservice GmbH mit der fraktionierten Analyse gewonnen werden, um einen besseren Einblick in die ökologischen Zustände von Standorten zu bekommen, stellen also im Wesentlichen eine Momentaufnahme dar. Sie werden stark durch äußere Bedingungen (Jahreszeit, Klima, Wetter, Bodenart usw.) beeinflusst. Das soll den Wert derartiger Untersuchungen in keiner Weise schmälern, da für gewisse Fragestellungen genau solche Parameter wichtig sein können.

Die Tatsache, dass die Ermittlung der Kationenaustauschkapazität (KAK) nach den beiden Methoden nur schlecht korrelierte Ergebnisse lieferte, ist von größerer Bedeutung, da diese einen wesentlichen Parameter für die Standortbeurteilung darstellt. Nach der ÖKO-Methode wird neben der effektiven auch die potentielle KAK bestimmt. Der Unterschied zwischen den beiden ergibt u.a. ein Maß für die Degradation eines Bodens. Die Methode wurde aus dem Analysenkonzept der Fa. ÖKO-Datenservice GmbH entwickelt und abweichend von der entsprechenden Norm an die Probenvorbereitungslogistik angepasst und optimiert. Nach der ÖBG-Methode erfolgte die Bestimmung der KAK_{eff} nach Normvorschrift. Diese wird periodisch in Ringuntersuchungen überprüft und liefert im Allgemeinen gute Übereinstimmungen, wohl auch deshalb, weil die Proben durch einheitliche Trocknung den aktuellen Witterungs- und Klimaeinflüssen entzogen werden. Wenn also der längerfristigen Vergleichbarkeit hohe Priorität zukommt, ist wohl der Normmethode der Vorzug zu geben.

Die Gesamtgehalte im Königswasseraufschluss ergeben im Großen und Ganzen vergleichbare Ergebnisse mit guten Korrelationen. Bei einigen Elementen treten einige wenige Ausreißer auf, die den Verdacht nahe legen, dass es zu Probenverwechslungen gekommen sein könnte. Diese Ausreißer verursachen in der Folge schlechte Ergebnisse für den betreffenden Korrelationskoeffizienten (z.B. Blei, Cadmium, Quecksilber). Weiters sind bei den Elementen Molybdän, Natrium und Zink offenbar methodische Unterschiede vorhanden, die dazu führen, dass bei der ÖBG-Methode wesentlich höhere Gehalte gefunden wurden.

2. Einleitung

Im Jahre 1986 wurde in Vorarlberg die erste Bodenzustandsinventur Österreichs durchgeführt (BZE 1986). Dabei wurden insgesamt 435 Acker-Grünland-Forst- Standorte feldbodenkundlich und analytisch erfasst und ökologisch interpretiert. Die Ergebnisse wurden im Bericht „Lebensraum Vorarlberg, Band 2, Bodenzustandserhebung“ dargestellt.

Im Jahre 2004 beschloss die Vorarlberger Landesregierung eine Wiederholungsbeprobung ausgewählter Forststandorte (23 Standorte) durchzuführen. Ziel dieser Arbeit war es, eventuelle Veränderungen an den Standorten nachzuweisen und zukünftige Trends zu erkennen.

Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Proben zu gewährleisten wurden die Probenwerbung und der Probentransport wie im Jahre 1986 durchgeführt, diesmal durch das Umweltinstitut. Zunächst wurden mit den Probenehmern von 1986 alle ausgewählten Standorte aufgesucht, um möglichst genau die ursprünglichen Probenahmestellen wiederzufinden. Hier zeigte sich, dass mit den getätigten Aufzeichnungen und mit den kartenmäßigen Hilfsmitteln von 1986 die Standorte vielfach nicht mit ausreichender Sicherheit wieder gefunden werden konnten. Anschließend wurden alle Standorte nach der „Methode ÖKO“ beprobt, wobei die Proben in Kühlboxen noch am Tag der Probenahme an die Fa. ÖKO-Datenservice GmbH per Bahn verschickt wurden.

Im methodisch-analytischen Sektor haben sich in den vergangenen 18 Jahren erhebliche Fortschritte ergeben. Wissenschaftlich weiterentwickelte Methoden der Probenaufbereitung, Extraktherstellung und Analytik, sowie moderne Messinstrumente im Labor der ÖKO Datenservice GmbH führen dazu, dass die im Jahre 1986 ermittelten Werte nicht bei allen Parametern direkt vergleichbar sind. Deshalb wurden Rückstellproben der Standorte der Wiederholungsbeprobung aus der ersten Bodenzustandsinventur (Lagerungsbedingungen der Vorarlberger Landesregierung bekannt) dem Labor zur Parallelanalyse übergeben. Änderungen, die auf die modifizierte Analytik beziehungsweise auf chemisch-biologische Veränderungen, die sich bei der Lufttrocknung ergeben haben, sollten dadurch erkannt und ausgeschieden werden.

In einer zweiten Runde wurden alle Standorte nach den Vorgaben der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft nach Möglichkeit auf 1 m, sonst auf 40 bzw. 70 cm Tiefe beprobt nach den Tiefenstufen 0-5, 50-10, 10-20, 20-40, 40-50, 50-70 und 70 – 100 cm. Zusätzlich wurde der Auflagehumus beprobt und wo möglich in O_l, O_f und O_h aufgeteilt. Diese Proben wurden im Institut für Umwelt und Lebensmittelsicherheit des Landes Vorarlberg untersucht. Der Umfang der Untersuchungsparameter wurde allerdings aus personellen Gründen dort reduziert, wo genügend Information aus der Doppel-Untersuchung zu erwarten war.

3. Die Standortauswahl

Der Datensatz ist bewusst äußerst heterogen gewählt, die Standorte repräsentieren alle 6 geologischen Großeinheiten Vorarlbergs: 4 Standorte gehören der Molassezone an, 1 der Rheintal-Beckenfüllung, 6 dem Helvetikum, 4 der Flyschzone, 3 dem Oberostalpin (Nördl. Kalkalpen) und 5 dem Altkristallin. Die Höhenlagen schwanken zwischen 450 und 1.730 m über dem Meeresspiegel. Dementsprechend unterschiedlich sind die Ausgangsmaterialien der Bodentypen, die Klimaverhältnisse und die forstökologischen Bedingungen.

Aus den methodischen Vergleichen und unter Einbeziehung der pedologischen Gegebenheiten sollte im Hinblick auf ein künftiges Dauerbeobachtungskonzept die Auswahl von zwei bis

drei geeigneten Forststandorten ermöglicht werden. An diesen Standorten wäre somit mit gewissen Einschränkungen bei den nicht direkt vergleichbaren Parametern eine Zeitspanne des Monitorings von 1986 an gegeben. Hauptkriterien für die Auswahl der Standorte wären also eine möglichst gute Vergleichbarkeit bei beiden Methoden, eine möglichst geringe Variabilität bzw. möglichst hohe Homogenität am Standort, sowie ein möglichst tiefgründiges Bodenprofil.

4. Methodik

4.1. Methodik ÖKO

Bei der Probenahme wurde darauf geachtet, dass die Tiefenstufen für Ober- und Unterbodenproben etwa mit denen von 1986 übereinstimmten. Wo es Abweichungen von wenigen Zentimetern gab, wurde der stark humose Hauptwurzelbereich zur Oberbodenprobe gegeben.

Die Proben wurden in einer Kühlkette in das Labor der ÖKO-Datenservice GmbH zur Analyse gesandt, die ihrerseits die Proben feldfrisch, wenn möglich nach den gleichen Methoden wie Proben aus dem Jahre 1986, aufgearbeitet hat.

Die zu den beprobten Geländepunkten gehörenden Rückstellproben aus dem Jahr 1986 wurden ebenfalls in dasselbe Labor zur Parallelanalyse übergeben. Letztere befanden sich in einem luftgetrockneten Zustand. Die Lagerung der Proben erfolgte seit der Rückstellung in einem trockenen Keller bei jahreszeitlich gering schwankenden Temperaturen zwischen 10 und 15 °C.

4.1.1. Methodische Unterschiede zwischen 1986 und 2004

Probenaufbereitung/Extraktherstellung

Die Abtrennung des Skelettanteils aus der Frischprobe erfolgt durch Sieben der Frischprobe durch ein Sieb mit 5mm Maschenweite (*1986*: Abtrennung manuell/visuell). Die KH - Paste (Fraktion I) wird heute mit Teigspiralen hergestellt (*1986*: Mixstab). Die Trocknung des Probenmaterials für bestimmte Analysen (C, N Bestimmung, Königswasseraufschluß,…) erfolgt bei 105°C (*1986*: 80°C). Das Trockenmaterial wird zur besseren Homogenisierung mit einer Achat-Kugelmühle pulverisiert (*1986*: Reibschale).

Die Königswasseraufschlüsse werden in geschlossenen Kolben im speziellen Kochblock gekocht (*1986*: in offenen Kolben auf der Heizplatte gekocht, für Hg und As wurden extra kalte KW - Extrakte gemacht). Die Entfernung von Trübstoffen aus den Extrakten erfolgt durch Zentrifugation und anschließender Membranfiltration (*1986*: die Membranfiltration erfolgte nicht routinemäßig, der Einfluss der Trübstoffe wurde dann eher bei der Interpretation berücksichtigt).

Messmethoden

Die Anionen werden mit der Ionenchromatographie bestimmt (*1986*: photometrisch). Quecksilber wurde mit einem manuellen Kaltdampfgerät älteren Typs bestimmt, das aber eine für diesen Probentyp ausreichende Empfindlichkeit und Genauigkeit hatte.

Gesamtstickstoff und Gesamtkohlenstoff werden mit einem Elementaranalysator bestimmt (*1986*: Gesamtstickstoff wurde nach Kjeldahl bestimmt, die abbaubare organische Substanz durch Nassoxidation mit Kaliumdichromat).

Derzeit verfügt das Labor der ÖKO-Datenservice über ein **ICP** (Optima 3000 XL, Perkin Elmer). Das ICP von 1986 war ein Gerät der ersten Generation ohne Hintergrundkorrektur (Applied Research Laboratories, Lausanne). Bei einigen Elementen war die Empfindlichkeit und Genauigkeit im Spurenbereich nicht befriedigend, bzw. konnte der Einfluss von Hauptmengenelementen auf die Messwerte nicht mit der erforderlichen Genauigkeit gerechnet werden. Deshalb wurden zusätzlich eine Abtrennung/Anreicherung mittels Natriumdiethyldithiocarbaminat, Einzelmessung einiger Elemente mittels Flammen - AAS, sowie photometrische Bestimmung (Arsen, Molybdän) eingesetzt, um auf die schließlich erzielten Bestimmungsgrenzen zu kommen. Mit dem derzeit verwendeten ICP sind solche Sondermessungen nicht mehr erforderlich.

Eine Quantifizierung der Bodensäure kam 1986 noch nicht zur Anwendung. Bei heutigem Stand werden aktuell und potentiell verfügbare Säure mittels spezieller Extraktions- und Titrationsmethoden bestimmt. Diese Neuerung hat sich in der Geländepraxis (Meliorationsmaßnahmen) hervorragend bewährt; die nach dieser Methode ermittelten Säurewerte sind jedenfalls aussagekräftiger als die 1986 mittels Regressionen unter Berücksichtigung verschiedener Parameter gerechneten Werte.

Auswertung

Die Kationenaustauschkapazität wird nunmehr bei Anwesenheit wesentlicher Säureanteile vollständig aus gemessenen Daten zusammengesetzt, wobei die Säure in den aktuell und potentiell verfügbaren Anteil aufgeschlüsselt wird. Eine Berechnung durch Regression wird nur mehr bei $pH_{KCl} > 6{,}5$ angewendet, weil dort die Titrationsmethoden zu kleine und deshalb nicht besonders genaue Werte ergäben. Die Austauschkapazität und deren Basensättigung sind folglich zwischen 1986 und jetzt nur mit Vorbehalt vergleichbar.

4.1.2. Vergleichbarkeit der Rückstellproben 1986 mit den Frischproben 2004

Die 1986 gezogenen Rückstellproben und die 2004 gezogenen Frischproben wurden methodisch und konzeptuell gleich analysiert. Unterschiede, die nicht auf natürliche Prozesse im Gelände zurückzuführen sind, ergeben sich aus Änderungen der Proben durch Lufttrocknung und Lagerung sowie aus heterogener Entnahme für die Herstellung der Rückstellprobe.

4.2. Methodik ÖBG

4.2.1. Probenahme

Zur Probenahme wurde an den meisten Standorten ein Eisenpflock eingeschlagen, von dem aus mit Kompassrichtung und Entfernung die Profilgruben eingemessen wurden. Dazu wurde auf dem Luftbild des Jahres 2006 die Probenahmeskizze festgehalten.

Die Zusammenstellung der Mischproben erfolgte nach den Tiefenstufen 0-5, 5-10, 10-20, 20-40, 40-50, 50-70 und 70-100 cm, je nachdem, wie weit die Öffnung der Profilgruben bzw. das Einstechen der Pürkhauersonde möglich war. Es wurde auch der Auflagehumus beprobt und nach Möglichkeit in die Fraktionen O_l, O_f und O_h aufgetrennt.

4.2.2. Probenvorbereitung

Die Probentrocknung erfolgte bei 40 °C im Umluftofen, die Absiebung mit der Pulverisette von Müller-Scherr bei 2 mm Lochdurchmesser. Für die Analyse der Gesamtgehalte wurden die Proben mit einer Einwaage von 2 g in Königswasser mit Rückflusskühlung aufgeschlossen (ÖNORM L 1085). Für die Analyse der austauschbaren Kationen wurden jeweils 10 g Bodenprobe in $BaCl_2$-Lösung nach ÖNORM L 1086-1 auf dem Tischschüttler eluiert.

4.2.3. Die Analytik

Die Analytik der Königswasseraufschlüsse und der Kationen am Sorptionskomplex erfolgte am ICP Plasma-Emissionsspektrometer. Die Protonenkonzentration wurde nach der gleichen Norm aus der Differenz der pH-Werte der reinen Messlösung und der Lösung nach der Probenextraktion ermittelt.

5. Auswertung der Daten

5.1. Der Vergleich der verschiedenen ÖKO – Datensätze

Verglichen werden der Datensatz der luftgetrockneten Rückstellproben von 1986, die 2004 analysiert wurden (R04), mit dem Datensatz der Frischproben die 1986 geworben und analysiert wurden (F86) und mit dem Datensatz der Frischproben, die 2004 geworben und analysiert wurden (F04).

Die Datensätze R04 und F86 werden verglichen, um die Unterschiede herauszuarbeiten, die durch die knapp 20jährige Lagerung und durch die modifizierte Analytik verursacht werden.

Der Vergleich der Datensätze R04 und F04 mit den Erkenntnissen aus dem Vergleich R04/F86 soll wichtige Informationen über die Vergleichbarkeit der Probenahme (Standortvariabilität, ökologische Veränderungen) ergeben. Denn nur wenn das Probenmaterial aus beiden Beprobungen vergleichbar ist, sind Aussagen über ökologisch relevante Veränderungen und künftige Trends möglich. Eine Quantifizierung dürfte schwierig sein.

Durch den statistischen Vergleich der unterschiedlichen Datensätze soll deren Qualität und Eignung als Basis für ökologische Interpretationen, wie sie im nachfolgenden Kapitel für jeden Standort erfolgen, geprüft werden. Die ökologische Bedeutung der wichtigsten Parameter erfolgt ebenso in einem späteren Kapitel.

Die folgende Tabelle gibt einen kurzen Überblick der Spannweiten der wichtigsten Boden-Parameter der ausgewählten Standorte.

Tabelle 1: Bodenkundliche Parameter der ausgewählten Standorte (Basis sind die Frischproben 04)

Parameter	Min	Max
pH_{KCl}	2,88	7,32
pH_{H2O}	3,39	7,95
KH Wert	63,65	538,99
$CaCO_3$	0,00	33,00
Elektr. Leitfähigkeit [mS/cm]	0,04	0,81
Humus %	1,99	71,3
T-Wert [mval/100g]	8,68	145
Basensättigung [%T]	1,54	100
Al am Sorptionskomplex [%T]	0,00	15,22
Cr gesamt [mg/kg]	8,93	258
Ni gesamt [mg/kg]	5,97	397

Beim Vergleich derart konträrer Datensätze ist Vorsicht geboten, da leicht Scheinkorrelationen auftreten und die aufgrund von Extremwerten verfälschten, Korrelationskoeffizienten (meist werden diese verbessert) falsch interpretiert werden können.

5.1.1. pH-Wert

Der pH-Wert ist ein Summenparameter für die Bodenreaktion. Vor allem der pH-Wert im Wasser gemessen ist eine „Momentaufnahme“ und kann je nach Witterung, biologischer Aktivität usw. über einige Dezimalen schwanken. Der pH-Wert im Wasser ist bei der Rückstellprobe tendenziell geringer im Vergleich zu den F86. Auch im stabileren pH_{KCl} setzt sich dieser Trend fort, wenn auch mit deutlich geringeren Unterschieden. Das Bestimmtheitsmaß (R^2) beider Regressionen ist > 0,84. Unter einem pH-Wert von 4 sind die Unterschiede des pH_{KCl} zwischen F86 und R04 gering, erst ab einem pH_{KCl} von > 5 werden die Unterschiede größer (bis 1 pH Einheit). Die leicht niedrigeren pH-Werte bei den getrockneten Proben können auf die fehlenden Um- und Abbauprodukte der organischen Substanz (stark verminderte biologische Aktivität) und auf chemische Veränderungen zurückzuführen sein (veränderte Löslichkeiten, Ausfällungen).
Ein Vergleich der pH-Werte der R04 mit den F04 (R^2: pH_{H2O}=0,6559; pH_{KCl}=0,71) zeigt größere Schwankungen. Dies deutet darauf hin, dass entweder einige Veränderungen am Standort stattgefunden haben, oder die standörtichen Inhomogenitäten dafür verantwortlich sind. Bei der Betrachtung des gesamten Datenpaketes eines Standortes sollte eine Interpretation möglich erscheinen.

5.1.2. T-Wert, KH Wert, Humus

Der T-Wert (Austauschkapazität) und KH- Wert (Bindigkeitszahl) sind Funktionen, welche die sorptiven Eigenschaften eines Bodens beschreiben, und sind vor allem vom Humus- und Tongehalt und deren Qualität bedingt

.

Eine logische Überprüfung der Daten innerhalb der Datensätze kann mit der Korrelation der 3 Parameter T-Wert:KH-Wert:Humus dargestellt werden (siehe Abbildung 1). Wie man aus den Abbildungen sehen kann, korrelieren die KH-Werte sehr gut mit den jeweiligen Humusgehalten (R2 zwischen 0,71 und 0,95), wie auch die Austauschkapazität (R^2 zwischen 0,79 und 0,90). Die Austauschkapazität korreliert ebenfalls mit dem KH-Wert, die Beziehung schwankt zwischen R^2=0,55 (R04) und R^2=0,95 (F04).

Die jeweils analysierten Werte können also als in sich konsistent und logisch gelten.

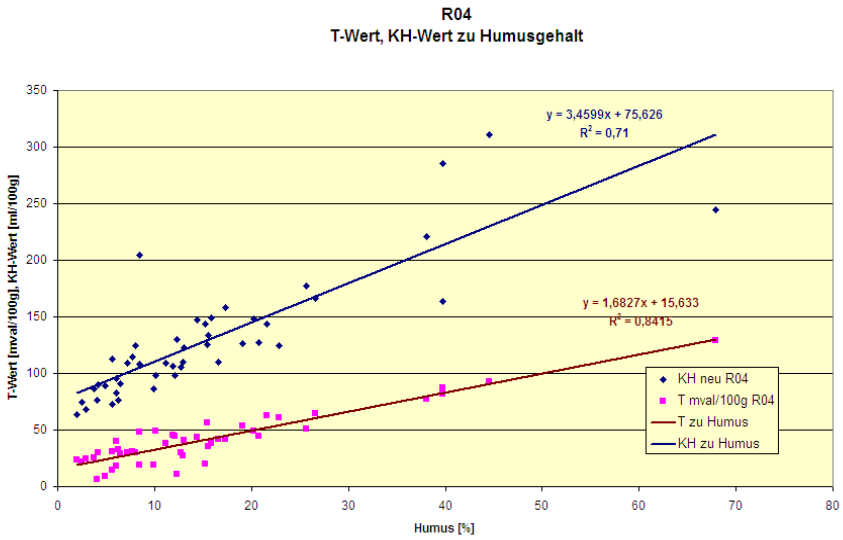


Abbildung 1: T-Wert und KH Wert in Korrelation zum Humusgehalt (F86)

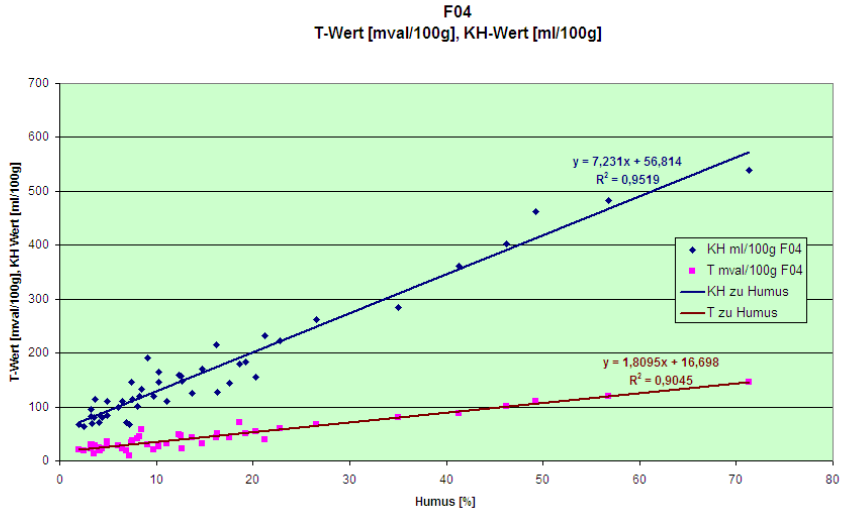


Abbildung 2: T-Wert und KH Wert in Korrelation zum Humusgehalt (F04)

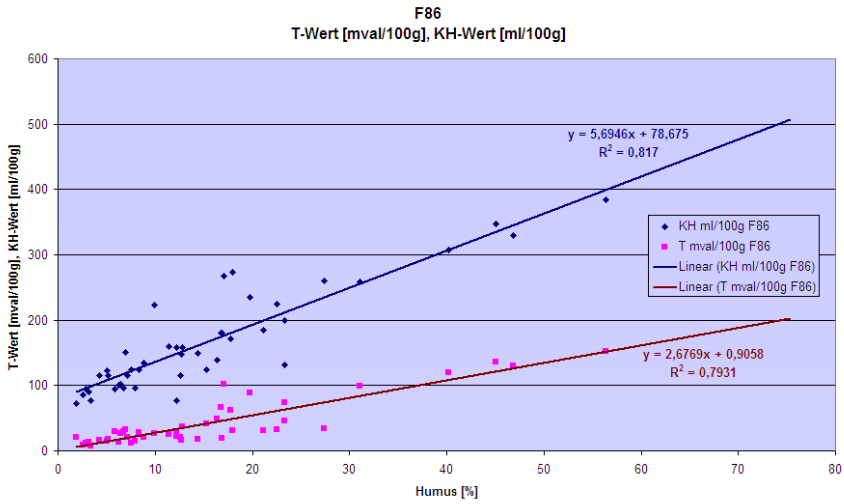


Abbildung 3: T-Wert und KH Wert in Korrelation zum Humusgehalt (F86)

Der Humusgehalt von F86 zeigt leicht höhere Werte als die Rückstellproben R04. Wahrscheinlich wurde während der Lufttrocknung noch ein Teil der organischen Substanz abgebaut, beziehungsweise wurden Stücke der Streu anders ausgesiebt (Abbildung 4). Die Korrelation zwischen beiden Parametern ist dennoch sehr gut (R^2=0,98). Die Unterschiede sind umso größer, je höher der Humusgehalt bei den F86 war.

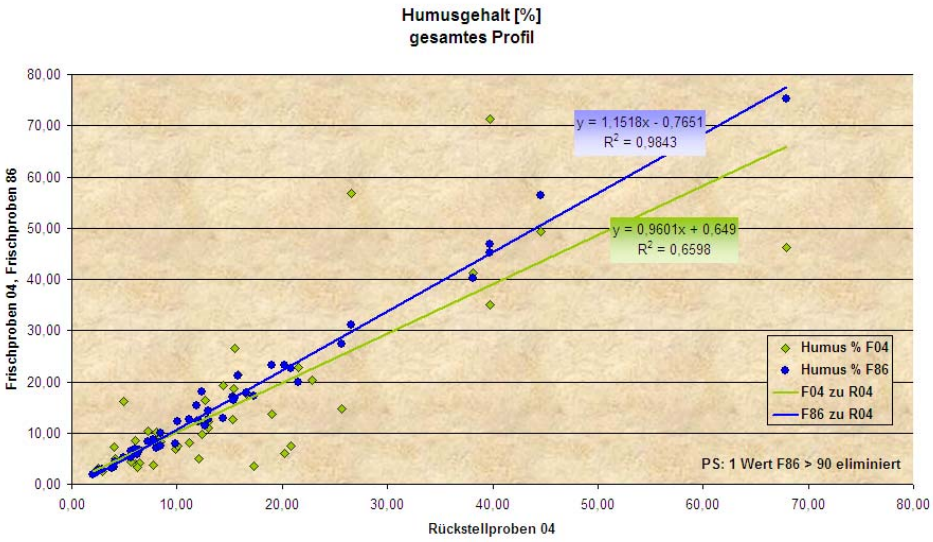


Abbildung 4: Humusgehalte im Vergleich

Die größeren Streuungen zwischen den F04 und R04 deuten an, dass bei der Probenwerbung nicht alle Standorte tatsächlich genau gefunden wurden, bzw. dass durch die neuerliche Beprobung eine höhere Standortvariabilität erfasst wurde.

5.1.3. Elektrische Leitfähigkeit

Die elektrische Leitfähigkeit wird durch die in der Bodenlösung befindlichen geladenen Teichen (Ionen) bedingt. Außerordentlich wichtig ist sie für die Flockung der Bodenkolloide und die Aggregatstabilität. Naturgemäß ist die elektrische Leitfähigkeit in Waldböden viel geringer als in Ackerböden.

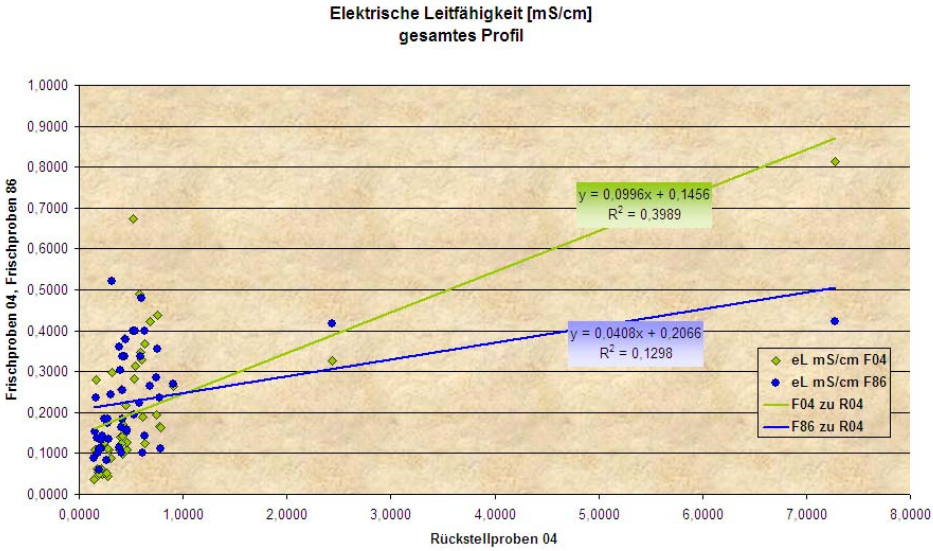


Abbildung 5: Elektrische Leitfähigkeit im Vergleich

Die beiden hohen Werte der R04 müssen während der Lagerung stark kontaminiert worden sein, was sich aus einem Vergleich anderer Parameter ergibt, die ebenfalls ein Ausreißer-Verhalten zeigen (z.B. Nitrat, Sulfat,…) und die elektrische Leitfähigkeit stark beeinflussen. Aber auch die niedrigen Werte zeigen eine weit streuende Punktewolke mit eher schlechter Korrelation, was auf Variabilität des Standortes einerseits, auf Variabilitäten durch Einflüsse von Witterung, Jahreszeit usw. andererseits zurückzuführen ist. Der Parameter ist daher nur wenig geeignet für die ökologische Interpretation der Standortdaten.

5.1.4. Elemente am Sorptionskomplex

Zur optimalen Pflanzenernährung ist nicht nur die Gesamtmenge an verfügbaren Nährstoffen wichtig, sondern auch deren Proportionen zueinander. Die Verhältnisse der Makronährstoffen Ca:Mg:K sollte etwa 80:15:2 am Austauscherkomplex betragen. In stark sauren Böden ist ein beachtlicher Teil der Austauscherplätze von Säuren belegt, die als so genannte „potentielle Säuren“ bezeichnet werden. Diese aktivieren sich unter bestimmten Einflüssen, z.B. Zufuhr von Kalk und wirken so einer pH-Erhöhung entgegen. Am Sorptionskomplex blockieren sie zudem Austauscherpositionen, die aktuelle Kationenaustauschkapazität (KAK_{eff}) liegt unter der potentiellen (KAK_{pot}).

Ca ist eines der wichtigsten Elemente am Sorptionskomplex. In Böden, die sich aus kalkfreien Ausgangsmaterialien entwickelt haben und stark versauert sind, ist sein Anteil am Sorptionskomplex gering, Säureanteile dominieren in solchen Fällen. Eine Teilung der Punktewolke ist sichtbar (Abbildung 6).

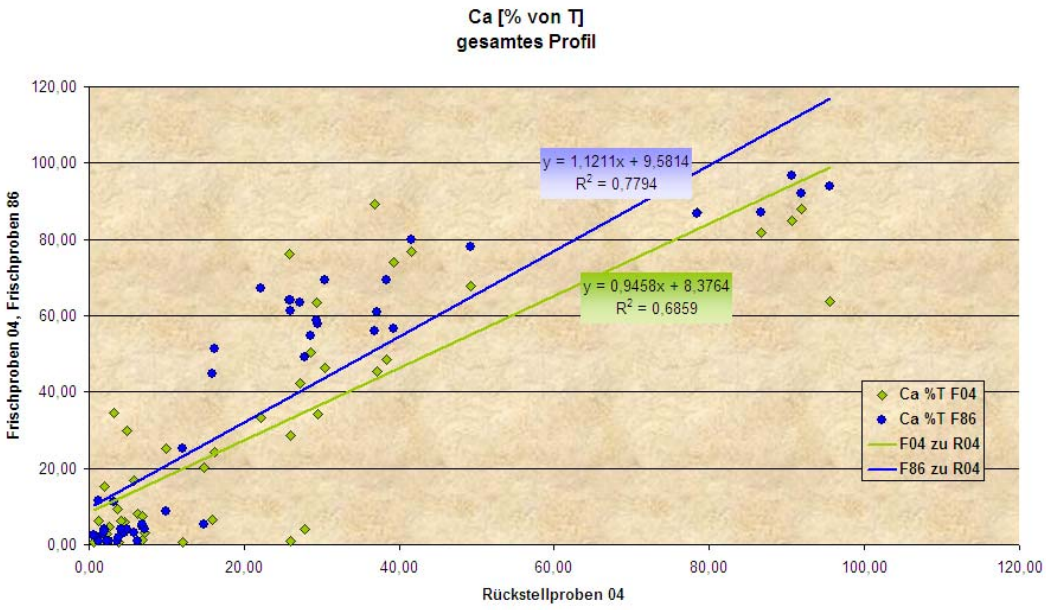


Abbildung 6: Ca am Sorptionskomplex im Vergleich

Bei den R04 befindet sich ein Großteil der Werte von 0% bis ca. 50%, die restlichen finden sich zwischen 80% und 100%. Bei den Frischproben ist diese Unterteilung nicht nachvollziehbar. Die Werte der Frischproben F86 und F04 liegen tendenziell höher als bei R04 (Trocknung, Lagerung).

Für Magnesium wurde tendenziell eine Unterversorgung der meisten Standorte gefunden. Die Mg-Aufnahme unterliegt starker Ionenkonkurrenz. Bei schwach sauren bis basischen Böden ist dies bedingt durch Ca-, K- und NH_4-Ionen, in stark sauren Böden mit niedrigen Mg-Ausgangswerten kann eine Konkurrenz durch H, Al und auch Mn auftreten.

Die verschiedenen Formen des Kaliums stehen über die Bodenlösung (wasserlösliches K) im Gleichgewicht miteinander. Die Übergänge zwischen ihnen finden mit unterschiedlicher Geschwindigkeit statt (austauschbares K geht sehr schnell in die Bodenlösung über). Sie werden stark von den Konzentrationen der konkurrierenden Kationen (Ca, Mg, Al) beeinflusst. Dadurch sind die Vergleichskorrelationen sehr schlecht und der Parameter für Vergleiche nur bedingt geeignet.

Beim Aluminium kommt sehr deutlich zum Ausdruck, dass bei der BZE 1986 weit überhöhte Werte gemessen wurden. Deshalb kam es damals zu einer Überbewertung der Aluminium-Problematik (Wurzeltoxizität). Die mit weiterentwickelten Methoden neu analysierten Rückstellproben (R04) und die frisch entnommenen Proben (F04) liegen hinsichtlich des mobilen Aluminiums in einem für Waldböden typischen Bereich, wodurch frühere Befürchtungen deutlich relativiert werden.

5.1.5. Elemente im Wasserextrakt

Die Elemente im Wasserextrakt sind die leichtlöslichen Anteile. Sie stehen in enger Beziehung mir den austauschbar gebundenen Ionen. Sie sind großen Schwankungen unterworfen (Witterung, Feuchte, Ionenkonkurrenz, biologische Aktivität).
Relativ leicht löslich sind Salze aus Chloriden und Sulfaten, und vor allem die mineralischen Formen des Stickstoffes (NH_4, NO_3). Die Löslichkeit von Schwermetallen ist zudem stark abhängig vom pH-Wert und dem Redoxpotential.

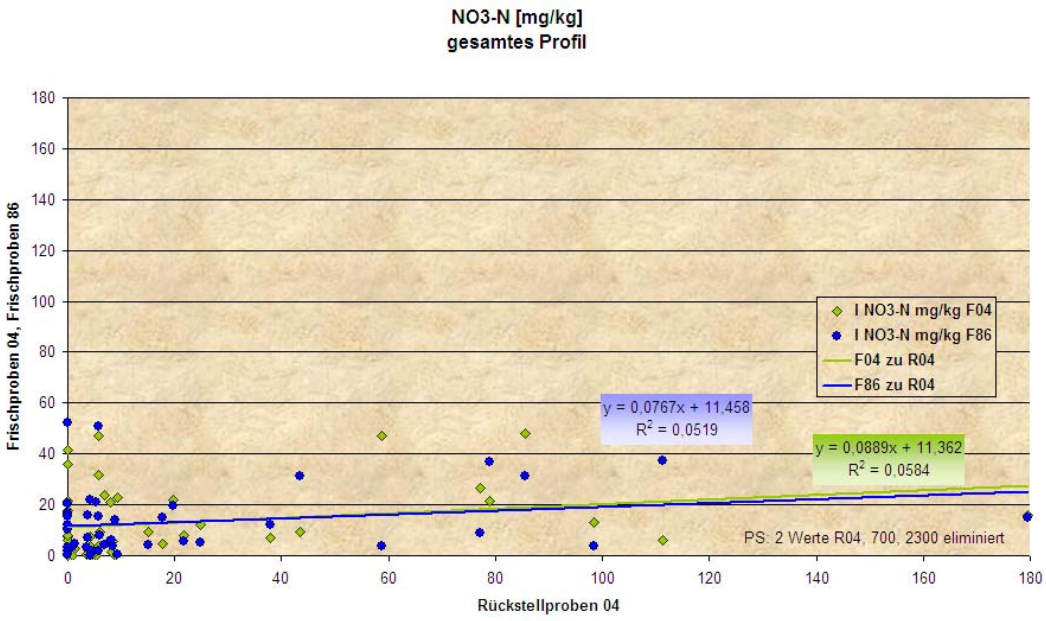


Abbildung 7: NO3-N im Vergleich

In der Abbildung 7 ist beispielhaft der NO_3-N, der sehr stark in Abhängigkeit von der Witterung, Zeitpunkt der Probennahme und den Humusformen schwanken kann, dargestellt. Eine gute Korrelation war nicht zu erwarten ($R^2 < 0{,}06$). Auffällig sind die hohen, teilweise extrem hohen Werte der R04. Diese können wohl nur durch Veränderungen der über längere Zeit gelagerten Proben entstanden sein.

Die wasserlöslichen Ionen sind nach der Methode „ÖKO“ sehr wichtig zur Beurteilung der momentanen Situation eines Standortes. Sie reagieren schneller als andere Parameter auf Veränderungen im System und geben Auskunft über wichtige Bodenfunktionen, z.B. Pflanzenernährung, Verschlämmungsneigung, Grundwassergefährdung, etc. Die Beziehungen der Hauptnährelemente Ca, Mg, K im Wasserextrakt werden im Vergleich zu den austauschbaren Fraktionen diskutiert.

Auch beim Vergleich der austauschbaren mit den wasserlöslichen Ionen zeigt, dass bei den lange gelagerten Proben häufig deutlich höhere Werte auftreten als bei den frisch analysierten. Niedrige Korrelationskoeffizienten (um 0,6) deuten an, dass Wasserlöslichkeit und Austauschbarkeit der Ionen durch unterschiedliche Faktorenkombinationen geprägt werden.

5.1.6. Elemente im Gesamtaufschluss

Als Vergleich werden hier nicht die Massenelemente, sondern die Mikronährstoffe Cr und Ni und das Schwermetall Cd herangezogen.
Die Gesamtgehalte erlauben gemäß Methode „ÖKO“ keine Aussage über das ökologische Gefährdungspotential. Vielmehr muss auch bei ihnen die Dynamik ihrer unterschiedlichen Verbindungen und Löslichkeiten betrachtet werden. Durch die Methode der fraktionierten Analyse werden diese Parameter direkt gemessen und müssen nicht über empirisch aufgestellte Regressionen ermittelt werden.

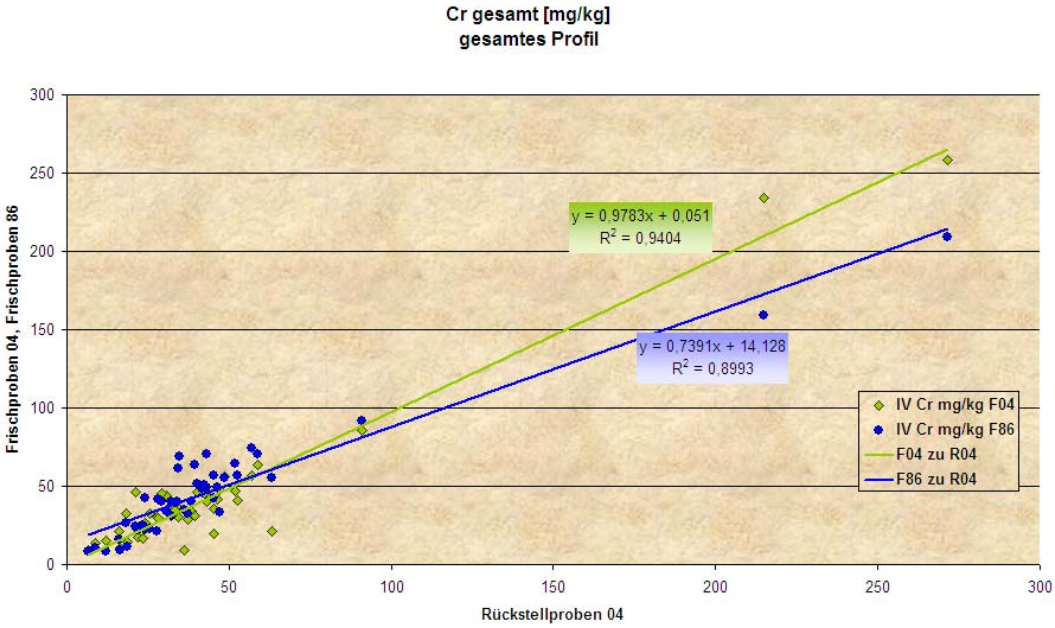


Abbildung 8: Cr im Gesamtaufschluss im Vergleich

Aus der Abbildung sind sehr gut die hohen Gehalte von 2 Standorten ersichtlich. Das Bestimmtheitsmaß beider Frischprobendatensätze F86 und F04 zu R04 ist sehr hoch (R^2 0,94 bzw. 0,89). Durch das Einbeziehen der Extremwerte wird das R^2 nach oben manipuliert. Eliminiert man die höchsten Werte, bleibt immer noch ein R^2 von 0,75. In diesem Fall ist nicht nur die Korrelation sehr gut, die Steigung der linearen Regression liegt bei 45°. Das bedeutet, dass vor allem die Extremwerte völlig vergleichbare Messergebnisse erbrachten. Die Probentrocknung und Lagerung hat also auf die Bestimmung der Gesamtgehalte keinen Einfluss ausgeübt.

Dasselbe Bild ergibt sich für Nickel. Im Unterboden zeigen sich generell etwas höhere Werte. Da beide Elemente geringe Mobilität aufweisen und bei Immissionssituationen im Oberboden bereits immobilisiert würden, muss diese Tatsache als Hinweis auf die geogene Herkunft der beiden Elemente gesehen werden, die vorwiegend durch den Einfluss ultrabasischer Gesteine bewirkt wird.

Beim Cadmium sind die Korrelationen zwischen den drei Datensätzen schlecht, da die Untersuchungsmethodik 1986 in den niedrigen Messbereichen noch keine direkte Messung, sondern eine Messwertermittlung über Regressionen erforderte. Insgesamt liegen die Messwerte aber im typischen Bereich für Waldböden.

Bei Blei und Vanadium zeigen sich akzeptable Korrelationen zwischen den R04 und F86, weniger gute zwischen R04 und F04 bei tendenziell höheren Werten in den frischen Proben. Hier ist wieder zu bemerken, dass die „Wiederfindung“ der alten Probenstandorte nicht überall gelungen ist.

Das Phosphat zeigt gute Korrelationen zwischen Erstanalytik (F86) und Neuanalyse der Rückstellproben (R04), schlechte dagegen zwischen den frisch gezogenen Proben und R04. Auch daraus lässt sich entweder eine höhere Standortvariabilität oder eine teilweise schlechte Übereinstimmung des Probenstandortes schließen. Dasselbe gilt auch für die Gesamt-Stickstoffgehalte.

Bei Silizium hingegen sind die frischen Proben (F04) akzeptabel korreliert mit den Rückstellproben (R04), während die alten Analysen (F86) mit den Wiederholungen keine Korrelation, ja sogar tendenziell eine negative Regression zeigen. Daraus kann auf Änderungen im Bereich der Probenaufschließung geschlossen werden. Offensichtlich liegen hier auch Unterschiede zur Aufschlussmethode im Umweltinstitut (ÖNORM L1085), da dort zum Teil wesentlich höhere Gesamtgehalte gefunden wurden.

5.2. Der Vergleich Daten ÖKO - Daten ÖBG:

5.2.1. Minimal- und Maximalwerte beider Methoden:

Als Vergleichsbasis werden wegen der klaren Standortgleichheit von Seiten der Fa. ÖKO-Datenservice GmbH die Werte der 2004 entnommenen Bodenproben verwendet. Die Größenbereiche, die von den aus beiden Methoden gewonnen Messwerten abgedeckt werden, sind in den meisten Fällen durchaus vergleichbar, wenn auch bei einzelnen Parameter wahrscheinlich methodische Unterschiede zu weniger guten Übereinstimmungen führen.

Tabelle 2: Vergleich der Minimal- und Maximalwerte der beiden Methoden

Parameter	Min ÖBG	Min ÖKO	Max ÖBG	Max ÖKO
pH_{CaCl2} (ÖKO: pH_{KCl})	2,95	2,88	7,47	7,32
T-Wert [mval/100g]	0,81	8,68	151,7	145
Basensättigung [%T]	7,1	1,54	99,8	100
Al am Sorptionskomplex [%T]	0,00	0,00	80	15,2
Ca am Sorptioskomplex [%T]	5,7	0,55	98	89
K am Sorptionskomplex [%T]	0,01	0,08	8,2	1,37
Mg am Sorptionskomplex [%T]	1,08	0,28	27	20
Na am Sorptionskomplex [%T]	0,00	0,12	2,45	0,81
H am Sorptionskomplex [%T]	0,08	0,00	3,77	20
Al gesamt [mg/kg]	5085	4607	37670	37389
As gesamt [mg/kg]	2	4	41	41
Ca gesamt [mg/kg]	794	352	106308	136644
Co gesamt [mg/kg]	1,79	1,65	36	26
Cr gesamt [mg/kg]	39	9	351	259
Cu gesamt [mg/kg]	6	6	55	46
Fe gesamt [mg/kg]	5937	4710	52743	46852
Mg gesamt [mg/kg]	1053	778	48478	47457
Mn gesamt [mg/kg]	35	34	3155	1509
Mo gesamt [mg/kg]	0,23	0,39	17	2,86
K gesamt [mg/kg]	429	428	3205	5073
Na gesamt [mg/kg]	158	13	2175	474
Ni gesamt [mg/kg]	22	6	404	397
Pb gesamt [mg/kg]	18	14	188	111
V gesamt [mg/kg]	16	13	96	89
Zn gesamt [mg/kg]	32	29	634	190
Cd gesamt [mg/kg]	0,26	0,33	0,88	1,40
Hg gesamt [mg/kg]	0,10	0,04	0,38	0,89

pH-Werte: Der geringfügig höhere Bereich der pH-Werte nach ÖBG-Methode kann auf die Anwendung von $CaCl_2$ als Messlösung gegenüber KCl bei der ÖKO_Methode erklärt werden.

T-Wert: Obwohl hier die methodischen Unterschiede beträchtlich sind, liefern beide Methoden Messwerte in vergleichbarer Höhe. Der Minimalwert liegt bei der ÖBG-Methode deutlich niedriger.

Basensättigung: Hier liegt der Minimalwert der ÖBG-Methode deutlich höher, was dazu führt, dass die ökologische Beurteilung eines Bodenzustandes in manchen Fällen als weniger gefähgrlich eingestuft wird.

Sorptionskomplex: Bei allen Ionen werden nach der ÖBG-Methode höhere Anteile gefunden, bei Aluminium sogar deutlich höhere. Nur der Anteil der Protonen, der als ein Gefährdungsparameter für die Ökologie eines Bestandes gilt, ist bei der ÖBG-Methode deutlich niedriger.

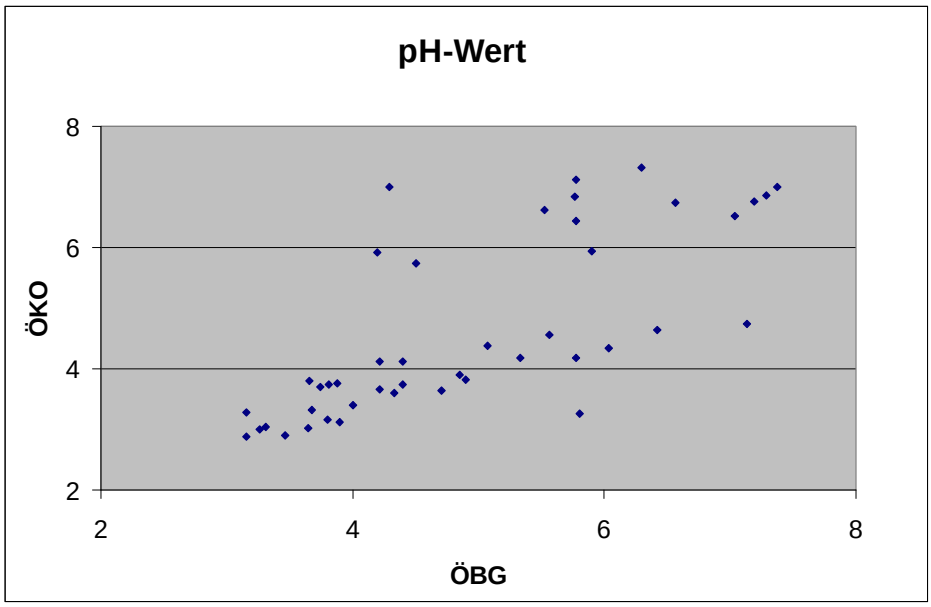
Elemente im Gesamtaufschluss: Bei einigen Elementen stimmen die Bereiche gut überein, bei manchen werden nach ÖBG-Methode etwas höhere Gehalte gemessen. Extreme Unterschiede bis zum Fünffachen wurden bei Molybdän, Natrium und Zink gefunden, die nur auf-

grund methodischer Unterschiede erklärt werden können. Diese können aufgrund der vorhandenen Angaben allerdings nicht exakt zugeordnet werden. Geringere Werte wurden nach ÖBG-Methode bei den Elementen Kalium, Cadmium und Quecksilber gefunden.

5.2.2. Korrelationen vergleichbarer Parameter

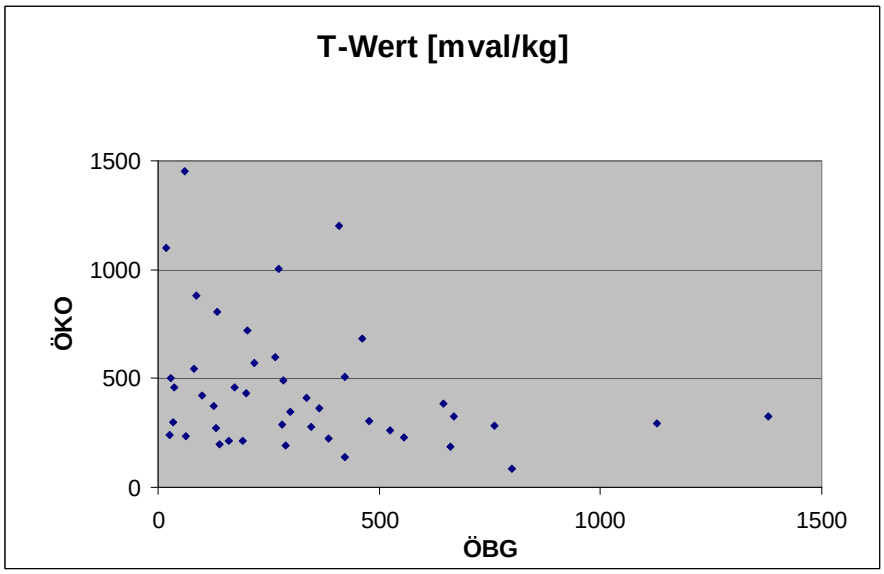
Da bei den beiden Methoden sehr unterschiedliche Tiefenstufen untersucht wurden, wurden Werte aus den vorhandenen Daten auf vergleichbare Tiefenstufen umgerechnet. Dabei mussten teilweise auch Abschätzungen vorgenommen werden, die für sich bereits eine neue Fehlerquelle darstellen, die zu höheren Streuungen beim statistischen Vergleich führen können.

pH-Werte: *Abbildung 9*



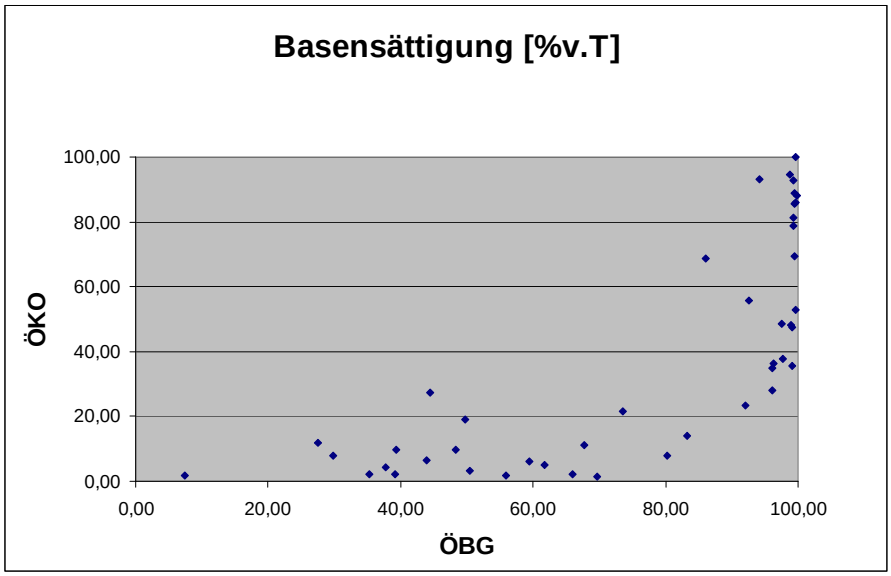
Die pH-Werte zeigen zwar eine relativ gute, statistisch abgesicherte Korrelation (r^2=0,73), in einzelnen Fällen sind die Unterschiede zwischen den beiden Methoden aber groß. Der Grund dafür kann nicht ein methodischer Unterschied aufgrund der unterschiedlichen Suspensionslösungen sein, sondern muss entweder bei der Standortvariabilität der Böden oder bei der unterschiedlichen Probenvorbereitung gesucht werden.

T-Wert: *Abbildung 10*



Die T-Werte zeigen im Vergleich der beiden Methoden einen statistisch errechneten linearen Korrelationskoeffizienten von -0,3. Wenn also ein statistischer Zusammenhang gesucht wird, so zeigt sich dieser negativ und nach dem Erscheinungsbild nicht linear, sondern degressiv. Es ist nicht aus den vorhandenen Daten erklärbar, warum beide Methoden für die Belegung des Sorptionskomplexes so unterschiedliche Werte liefern. Die Probenahme ist in beiden Fällen so erfolgt, dass solche Unterschiede nicht erklärbar sind. Hier ergibt sich ein gewisser Untersuchungsbedarf.

Basensättigung: *Abbildung 11*



Bei der Basensättigung ist eine stark progressive Korrelation aus der Grafik erkennbar. Nach der normierten Bestimmung der effektiven Kationen-Austauschkapazität ergeben sich also im Durchschnitt deutlich höhere Anteile von Basen am Sorptionskomplex. Dies würde für die Praxisanwendung bedeuten, dass die Standortbeurteilung durch die normierte Methode im Schnitt günstiger ausfiele als nach der Methode ÖKO.

Sorptionskomplex:

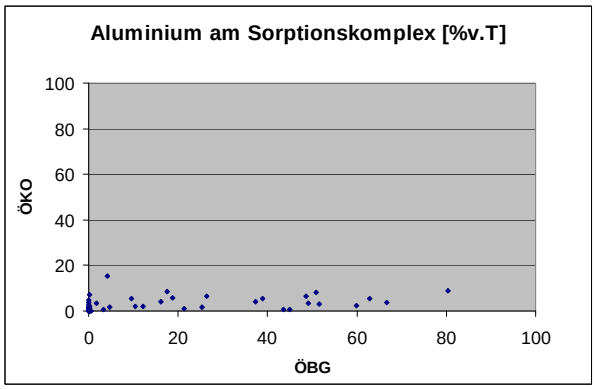


Abbildung 12

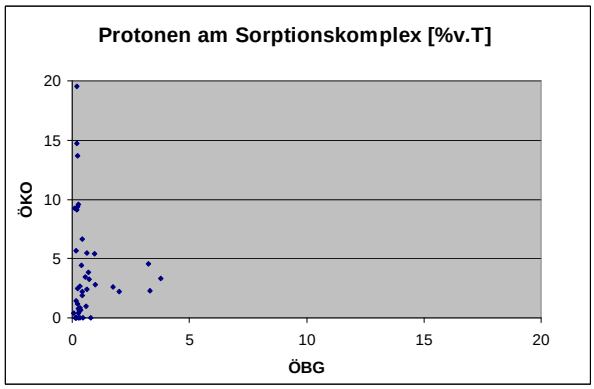


Abbildung 13

Aus der Verteilung der Al-Gehalte ist ersichtlich, dass die ÖBG-Methode offenbar mehr Al-Ionen in Lösung bringt, sodass der Sorptionskomplex bis um 80 % von diesen dominiert wird. Bei der ÖKO-Methode hingegen liegen alle Anteile am Sorptionskomplex unter 20 %. Auch

die Korrelation ist nicht gut (r^2=0,35) Umgekehrt erscheint das Ergebnis bei den Wasserstoff-Ionen, wo die ÖBG-Methode deutlich niedrigere, unkorrelierte Werte (r^2=-0,07) liefert. Hier werden die methodischen Unterschiede offenkundig, sodass zugestanden werden muss, dass die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar sind.

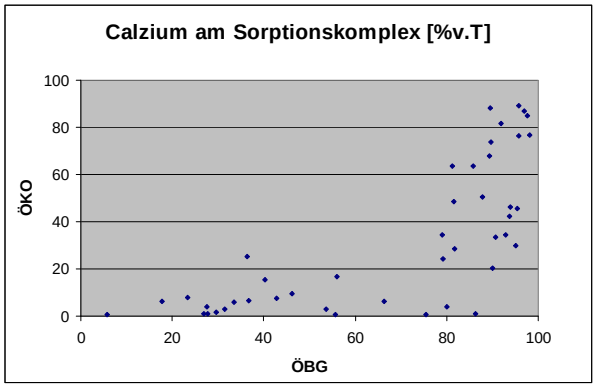


Abbildung 14

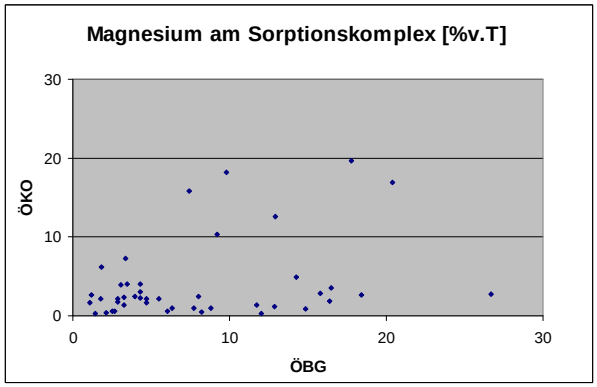


Abbildung 15

Das Calzium zeigt eine ähnliche Verteilung wie die Basensättigung, weil bei hoher Basizität das Calzium am Sorptioskomplex üblicherweise dominiert. Hingegen zeigt das Magnesium zwar eine Verteilung der Werte beider Methoden im gleichen Größenbereich, aber keine signifikante Korrelation (r^2=0,33). Auch Kalium (r^2=0,07) und Natrium (r^2=-0,09) zeigen keine Korrelationen.

Elemente im Gesamt-Aufschluss:

Bei den Gesamtaufschlüssen sind die methodischen Unterschiede geringer. Dennoch wurden bei manchen Parametern sehr unterschiedliche Werte gemessen. Dies kann zum Teil auf weniger aggressiven Aufschluss der Proben, zum Teil auf gerätebedingte Unterschiede und möglicherweise auf unterschiedliche Standards zurückgeführt werden.

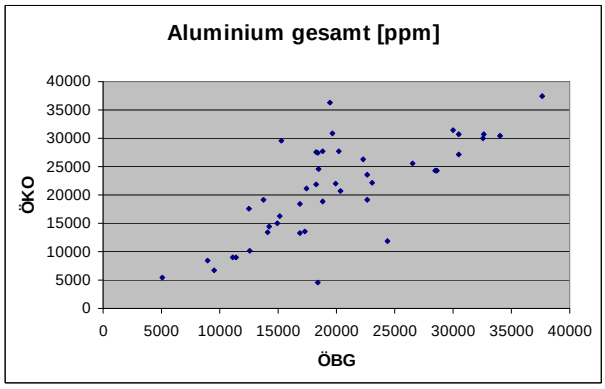


Abbildung 16

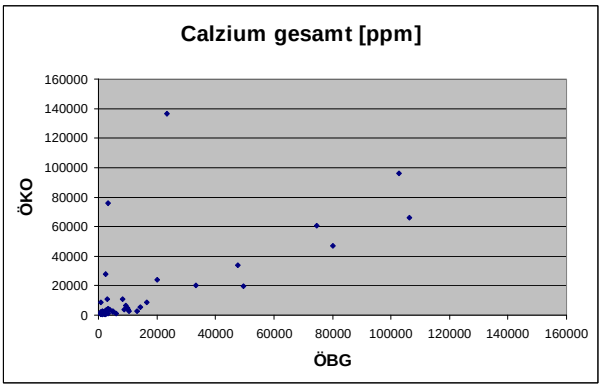


Abbildung 17

Bei Aluminium zeigt sich eine durchaus akzeptable Korrelation (r^2=0,73), bei der nur wenige Werte relativ stark streuen. Das wird bei Calzium noch deutlicher (r^2=0,65), wo durch zwei Werte eine bessere Korrelation verhindert wird. Diese liegen allerdings so schlecht, dass davon ausgegangen werden muss, dass hier Probenverwechslungen vorliegen, da solche Unterschiede deutlich außerhalb der üblichen Standortvariabilität liegen. Nähme man diese beiden Werte heraus, ergäbe sich ein Korrelationskoeffizient von r^2=0,94. Hier ist die Vergleichbarkeit somit recht gut.

Element	Korr.-Koeff.	Element	Korr.-Koeff.
Aluminium	0,73	Eisen	0,82
Arsen	0,70	Magnesium	0,90
Blei	0,21	Mangan	0,80
Cadmium	0,38	Molybdän	-0,01
Calzium	0,65 (0,94)	Natrium	0,35
Cobalt	0,91	Nickel	0,97
Chrom	0,90	Quecksilber	0,48
Kalium	0,71	Vanadium	0,68
Kupfer	0,93	Zink	0,64

Tabelle 3: Korrelationskoeffizienten der Element-Gesamtgehalte zwischen den beiden Methoden.

Die Tabelle zeigt, dass bei den Elementen, bei deren Messung aufgrund von gerätetechnischen Einstellungen und spektral-optischen Matrixeffekten weniger Störungen auftreten, die Korrelationen gut sind. Bei Molybdän, Natrium und Zink wird die schlechte Korrelation aber vor allem dadurch bewirkt, dass die Eigenmessungen bis zum Fünffachen über den Werten der Fa. ÖKO-Datenservice GmbH liegen (siehe 5.2.1.).

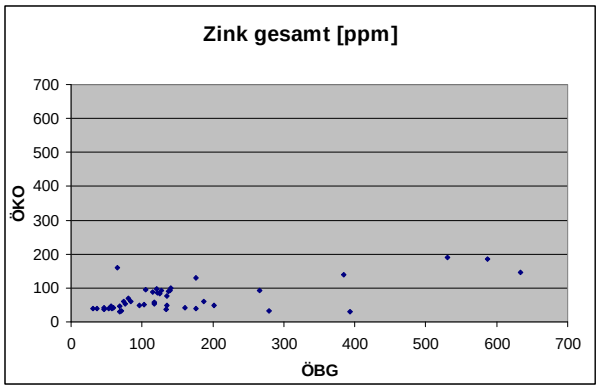


Abbildung 18

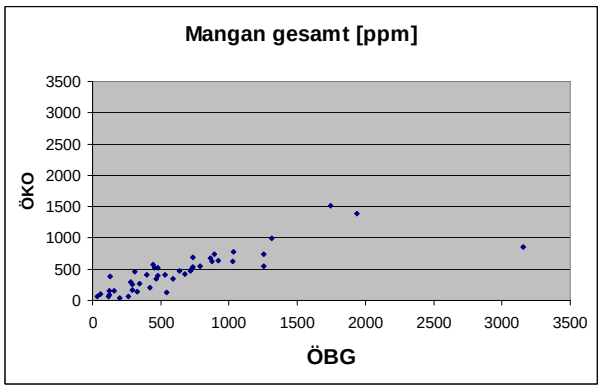


Abbildung 19

Dem gegenüber zeigt Mangan eine gute Korrelation, obwohl auch hier mittels ÖKO-Methode etwas geringere Werte gefunden wurden. Auch Blei zeigt mit Ausnahme weniger Ausreißer eine relativ gute Korrelation, was ähnlich auch für Cadmium und Quecksilber gilt. Deutlich niedrigere Werte wurden mit der ÖBG-Methode für Kalium gefunden, das aber dennoch eine annehmbare Korrelation zu den Werten nach ÖKO-Methode zeigt.

6. Literatur

BLUM, W.E.H., SPIEGEL, H. & WENZEL, W.W.: BODENZUSTANDSINVENTUR – Konzeption; Durchführung und Bewertung. 2. überarbeitete Auflage, i.A.d. BMfLF u. BMfWFK, Wien 1996.

HUSZ, G.: Bodenzustandserhebung Vorarlberg 1986. – Serie Lebensraum Vorarlberg, Band 2, Bregenz 1987.

HUSZ, G., UNTERFRAUNER, H. & WULFF, B.: FORSTSTANDORTE VORARLBERG - Auswertung und Kurzkommentar zu den Analysenwerten von ausgewählten Standorten (Vergleich Zustand 1986 zu 2004). Interner Bericht, Wien, Dezember 2004.

SCHEFFER/SCHACHTSCHABEL: Lehrbuch der Bodenkunde. – 11., neu bearb. Auflage. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 1984.