

Tagungsbeitrag zu: Kommission III
 Titel der Tagung: Böden eine endliche Ressource
 Veranstalter: DBG, Sept.2009, Bonn
 Berichte der DBG - <http://www.dbges.de>

Die Veränderungen von C_{org}- und N_t- Zuständen der Waldböden im Nordostdeutschen Tiefland seit 1986 am Beispiel Brandenburgs

von Alexander Konopatzky¹, Eberswalde

Ziel: Mittels der 1986 bis 2002 wiederholt beprobten 117 Flächen der Forstlichen Umweltkontrolle (Teilnetz ÖWK) in Brandenburg wurde u.a. untersucht, ob sich bereits in einer Wiederholungsbeprobung nach 10 - 13 Jahren signifikante Verschiebungen dieser Parameter ergeben.

Material u. Methoden

- Netz meist aus Reinbeständen im Stangenholz- und jüngeren Baumholzstadium
- Zufallsverteilung von Suchkreisen, danach Festlegung repräsentativer Einzelstandorte, meist Sand-Braunerden unter Kiefer. Aufnahmezyklen: 1: 1986-89; 2: 1991-95; 3: 1996-2002;
- Horizontweise volumengerechte Beprobung an 1 Hauptprofil bis 160 cm, 3. Aufnahme zusätzlich mit 3 Satellitenprofilen bis ca. 1 m und getrennter Beprobung u. Analytik; Drittaufnahme als Flächenmittel ausgewertet.
- Nachanalysen an Rückstellproben → Vergleich der Erst- und Drittaufnahmen

Analysenmethoden und -veränderungen:

HFA-Nr.	Parameter	Verfahren	Veränderungen seit 1986
	pH-Wert in H ₂ O (Hausmeth., StOE)	Verhältnis 1:2,5 (V:V)	Unverändert
	pH-Wert in 0,1M KCl (Hausmeth., StOE)	Verhältnis 1:2,5 (V:V)	Unverändert
	C _{org} (Hausmethode, StOE): Ct synonym für C _{org}	nasse Oxidation mit Dichromat/Schwefelsäure	Unverändert
	Stickstoff-Gesamtgehalt (Hausmethode) Nt synonym für Norg+Nmin	Kjeldahl-Aufschluss	1998 teilweise im Fließinjektionsanalysator gemessen, sonst unverändert
A3.2.1.8	AKe (Hausmethode)	Schütteln mit 0,5 M NH ₄ Cl-Lösung; H-Ionen aus Methode A3.2.3.5 (Aziditätsbestimmung)	Mg ²⁺ bis 1997 in gesondertem CaCl ₂ -Extrakt; sonst Extraktion unverändert; Messverfahren mehrfach verändert: Flammenphotometer, AAS, ICP
A3.2.1.5	Basensättigung nach Kappen-Adrian (StOE); Gesamtaustauschkapazität/ Akges bzw. AKt	Extraktion mit Borat/CaCl ₂ -Lösung bzw. HCl	Unverändert; ab 1999 Messung im Titrationsgerät
A3.2.3.5	Gesamt- und H-Azidität	Schütteln in 1 M KCl-Lösung	Unverändert
HFA = Handbuch der Forstlichen Analytik (Hrsg. Gutachterausschuss Forstliche Analytik - GFA, 2005) V:V = Volumen : Volumen G:V = Gewicht : Volumen StOE = Standortserkundungsanleitung SEA 95 bzw. SEA 83-B-11			

¹⁾ Landeskompetenzzentrum Forst
 Möllerstr. 1, 16225 Eberswalde
alexander.konopatzky@lfe-e.brandenburg.de

→ Eliminierung von Effekten der Methodenänderungen (Umrechnung teilw. bei N_t; außerdem Mg²⁺).

- Vergleich des Haupt- und der Nebenprofile der Drittaufnahme → kein Effekt der Wiederholungsbeprobung des selben Profils (30...50 cm Abstechen je Wiederholung) für C_t und N_t nachweisbar.

Ergebnisse

Grundzüge der Veränderungen des chemischen Zustandes in der Humusaufgabe:

Auswertestraten sind n- und b- Zustandsstufen für den Oberboden auf Basis von N_c-% bzw. Basensättigung als V-Wert (K.-A) nach Kopp in Kopp et al. (1982).

In **Abb. 1** zeigt sich der Wandel des **Nc-Gehaltes und der Basensättigung im Auflagehumus** (bzw. bei morphologischen Mullhumusformen im obersten Mineralboden) zwischen 1986 und 2002 am Beispiel der Kiefernbestände auf Sand-Braunerden:

- Die niedrigen **Stickstoffstufen** n₁...n₄ (N_c < 4.5 %) erfahren unter Kiefer einen Anstieg des N-Anteils gegenüber dem C. Der N_c-%-Wert steigt generell um so stärker, je schwächer die Ausgangs- n-Stufe ist.
- Eine Trendumkehr tritt unter Kiefer ab n-Stufe n₅ (N_c > 4,5 %) mit einer Verstärkung in Stufe n₆ (ehemals stark durch N-Eintrag belastete Flächen) ein. Unter Laubholz (nicht abgebildet) tritt die Verschlechterung des N_c-%-Wertes erst bei Stufe n₆ auf.

Diskutable Ursachen der N_c- Änderung sind (sich gegenseitig überlagernd):

- andauernde **N-Einträge**: beeinflussen vor allem die ehemals schlechteren n-Stufen
- wachsende Humusaufgabe → **Verdünnungseffekt für Stickstoff** durch Vitalisierung des Kronenbereiches nach 1990 wegen Wegfalls der SO₂-Schäden (siehe Kallweit 2001). Humusabbau der Auflage selbst (z.B. durch Erwärmung) ist damit auch nicht

die Ursache für die Verengung von C/N-Verhältnissen bei schlechterem Ausgangs-N-Niveau.

- Rückgang von Flächen mit sehr hohen Nadel-Blattspiegelwerten wegen gesünderer Luxusversorgung von Baumbeständen und Bodenvegetation (Kallweit 2001).

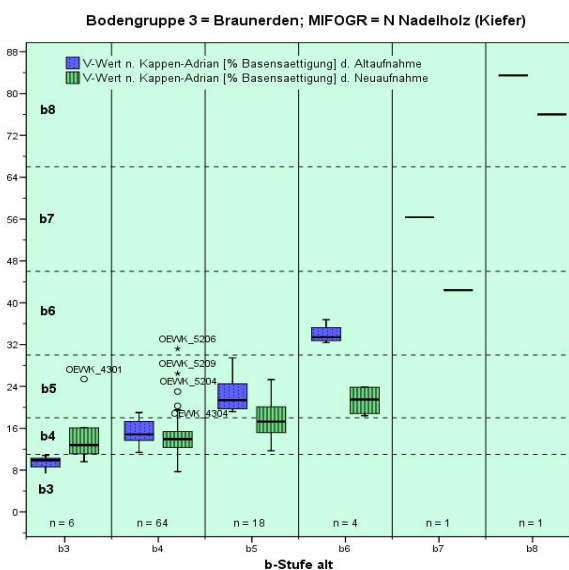
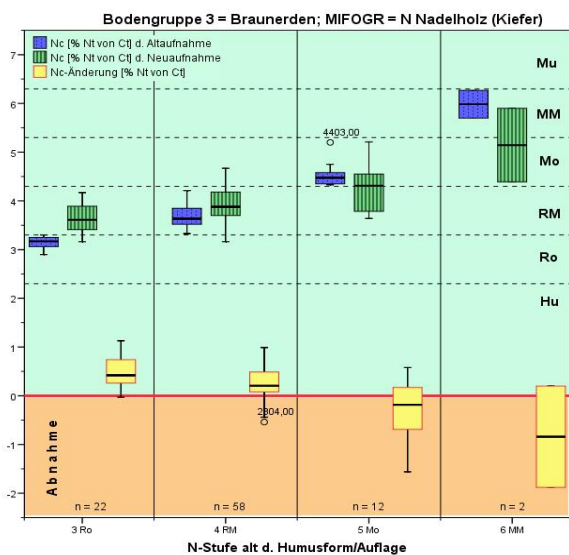


Abb. 1: Veränderungen des N_c -% [% N_t von C_t] und der Basensättigung [% der KAK_{ges}] (Methode Kappen-Adrian) in den Humusauflagen bei Sand- und Bändersand-Braunerden unter Kiefer nach n- bzw. b-Stufen im Ausgangszustand 1986/89 bis 1996/2002

Keine enge Korrelation der N_c -%-Änderung mit der Versauerung ehemals besserer b-Zustände (insgesamt in Braunerden nicht signifikant). Auch bei den Nadelspiegelwerten besteht nach Kallweit im ÖWK-Netz kein wesentlicher Zusammenhang zwischen N-Gehalt der Nadeln und der b-Stufe der Humusform.

Die N_c -Gehalte steigen mit sinkendem Humusvorrat der Bodenform (Regosole mit starkem N_c -Anstieg; Gleypodsole mit minimalen Veränderungen). Ähnliche Befunde geben Konopatzky u. Freyer (1996) u. Baritz (2003) an: erhöhte Geschwindigkeit der N-Eutrophierung auf jungen Bodenformen mit geringem Humus-Vorrat.

Die **Veränderungen der Basenstufen der Humusauflage** setzen den bereits in den 1980-er Jahren im Gebiet begonnenen Versauerungstrend (Kopp 1996, Konopatzky u. Kirschner 1997) nahtlos fort: ab Ausgangs-Basenstufe b5 unter Kiefer und b6 unter Laubholz- u. Mischbeständen wird der Prozess vor allem durch saure Deposition angetrieben (z.B. Ulrich 1986 u. 1994, Feger 1995). Dabei spielten die Vorbelastungen mit im Boden zwischengespeicherten Schwefel noch bis zum Zeitpunkt der ÖWK- Drittaufnahme eine wichtige Rolle (Strohbach 2001), gingen danach aber zurück. Die Verbesserung der Basenzustände unter Kiefer bei Basenstufe b3 dürfte auf die mit verbesserter Stickstoffstufe sich entwickelnde anspruchsvollere Bodenvegetation zurückzuführen sein. Bei Laubholz tritt die Verbesserung der Basenstufe noch bei Ausgangsstufe b4 und b5 ein.

C_t u. N_t - Vorräte der Humusauflagen:

In allen nach Ausgangs- N-Zuständen definierten Gruppen haben sich die **C_t - Vorräte der Humusauflagen unter Kiefer** um 3...11 t/ha (Mittel: 5,8) deutlich erhöht (**Abb. 2**, mit Laubholz). Der Großteil des Wandels fand bereits bis zur zweiten Beprobung 1991..95 statt, was mit steigender Vitalität und wesentlich erhöhter Produktion an Nadelstreu verbunden sein musste. Die C_t - Vorräte erreichen bei n-Stufe n3 - n4 ihr Maximum von ca. 21 t/ha, um dann kontinuierlich abzufallen bis auf ca. 6 t/ha bei Stufe 6.

Die Mächtigkeit der Humusauflagen wuchs unter Kiefer im Durchschnitt aller Bestände um ca. 1,1 cm.

Die C_t - Vorratsänderung in der Humusauflage ist vor allem mit der pH- Wertänderung deutlich negativ korreliert ($r = -0.30$, Sign. 0.004) und schwach zur V-Wertänderung ($r = -0.194$; Sign. 0.049).

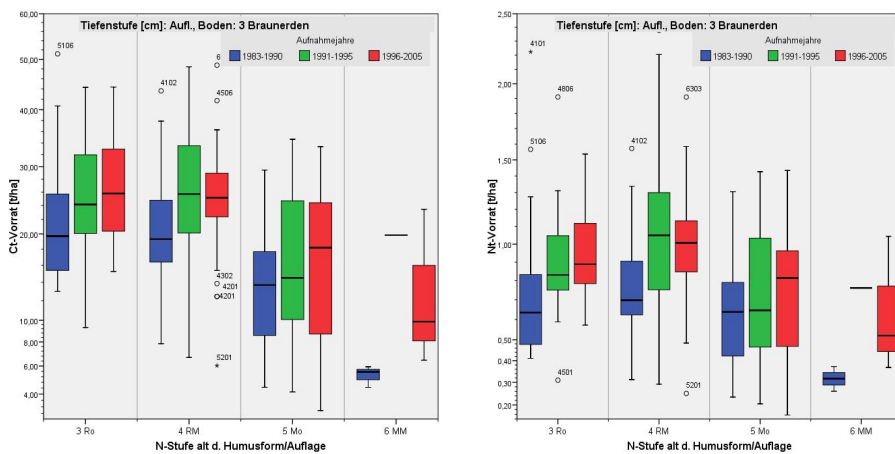


Abb. 2: Veränderung der C₁- und N₁- Vorräte in der Humusauflage zu den 3 Beprobungsterminen nach Ausgangs- Stickstoffzuständen der Humusauflage (ohne Unterscheidung der Bestandesgruppen); n: 17, 53, 19, 3

Die N₁-Vorräte der Humusauflagen entwickeln sich hauptsächlich entsprechend den Trends beim Humusvorrat: stetig steigend unter Kiefer, eher abfallend unter Laubholz. Vorratsanstieg ist mit Versauerung positiv korreliert.

Das Vorratsmaximum wird insgesamt bei n-Stufe n4 (RM) erreicht. → bei Verbesserung der n-Stufe über Niveau n4 hinaus (ca. Nc% 4,0 bzw. C/N 25) müsste es zur Nettofreisetzung von Stickstoff aus der Humusauflage kommen.

Die Optimumverteilung der N₁-Vorräte in der Auflage wird jedoch bis 40 cm Tiefe

vollkommen durch einen kontinuierlichen Vorratsanstieg von ca. 2,06 t/ha beim Ausgangsniveau n3 auf im Mittel ca. 3,14 t/ha beim Ausgangsniveau n6 (MM) abgelöst. Bis zur Tiefenstufe 20-40 cm weisen die N₁-Vorräte bis einschließlich n-Stufe n5 (Moder) einen Zunahmetrend auf. Der mittlere N-Summen-Gewinn in der Tiefenstufe beträgt 30 kg/ha. Bei n-Stufe n6 (MM) tritt jedoch in dieser Stufe bereits ein Schwund des

N-Vorrates auf, der im Zusammenhang mit einem Humusverlust stehen könnte (jedoch nur 2 Flächen).

Eine Korreletation der Stickstoffzunahme zur vorherrschenden Versauerung im oberen Mineralboden fehlt indessen ebenso wie zur gegenläufigen C- Gehaltsabnahme in der Tiefenstufe. Zur Änderung des Nc-% der Humusauflage besteht ein positiver Zusammenhang.

Dies lässt darauf schließen, dass bei laufendem N-Eintrag interne Verschiebungen des C- Umsatzes zwischen Mineralboden und Humusauflage eingesetzt haben und

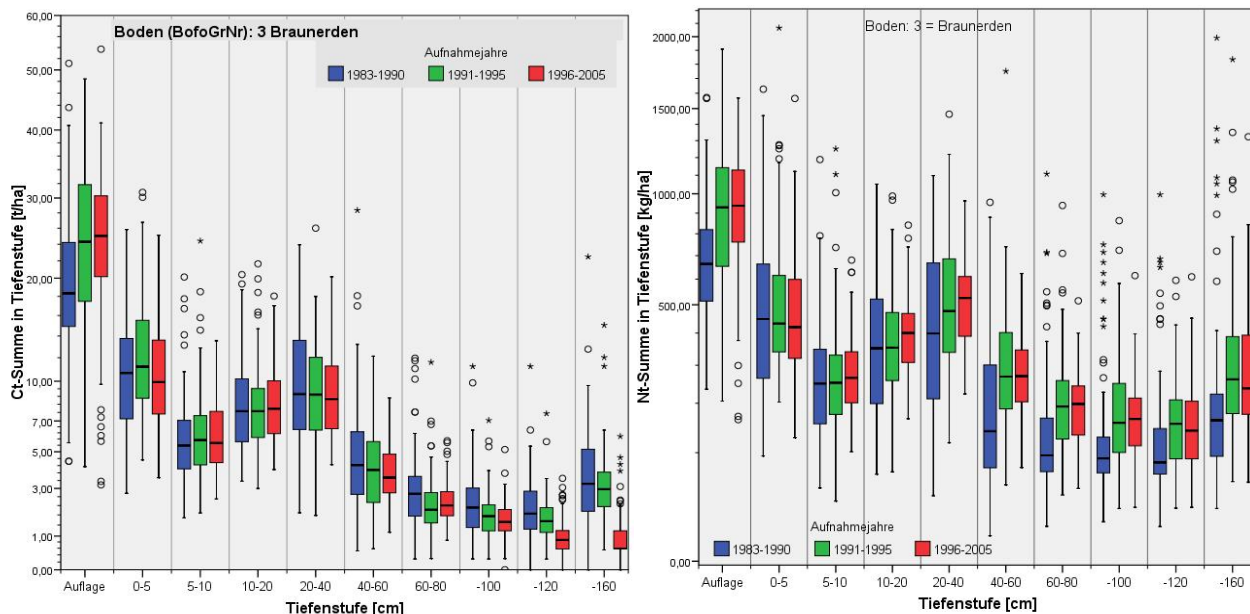


Abb. 3: Veränderung der C₁- und N₁- Tiefenstufensummen der Braunerdegruppe über die 3 Beprobungstermine; unterschiedliche Stufenmächtigkeiten beachten. n: 70 bzw. 71 Flächen

der Stickstoffgehalt seiner Sättigung entgegenstrebt.

Ct- Summen pro Tiefenstufe der Braunerden insgesamt (**Abb.3**):

- mit zunehmender **Tiefenstufe im Mineralboden** ein Humusschwund, der ab Tiefenstufe 20-40 cm jeweils um etwa 0,6...1,2 t/ha und Stufe (bzw. 0,3...0,6 t/ha*dm) beträgt sowie unterhalb 20 cm Tiefe stets signifikant ist. Parallel dazu löst sich die in der Humusaufgabe vollzogene C-Vorrats-Zunahme bis 20 cm Tiefe auf. Darunter sind folglich insgesamt keine signifikanten Unterschiede der akkumulierten **Vorräte** mehr festzustellen.

- Die C-Summenänderung ist negativ mit der Nc-% - Änderung und pH-Änderung innerhalb der Tiefenstufe korreliert.

- In der Tiefenstufe 60-80 cm besteht zusätzlich auch eine negative Korrelation zum Grundwasserstand --> Hinweis auf einen Einfluss veränderter Feuchteverhältnisse.

Hinsichtlich des **Nt** herrschen in den Braunerden ab Tiefenstufen 10-20 cm N-Zunahmen von im Mittel ca. 10...35 kg/ha*dm vor, die signifikant sind und vor allem zwischen der Erst- und Zweitbeurteilung stattfanden. Die Akkumulation über das ganze Profil betrug bis zur Drittbeurteilung ca. 460 kg/ha – also je nach Schwerpunktzeiträumen der Änderung 75...20 kg/ha* a bzw. im Mittel über 12 Jahre 40 kg/ha * a. Dies geht zur Hälfte auf die Akkumulation in der Humusaufgabe/ dem humosen Oberboden zurück. Der Rest verteilt sich im weiteren Unterboden. Ab Tiefenstufe 40...60 cm traten ab 1996 keine sicherbaren Veränderungen mehr auf. Dies lässt vermuten, dass im Mineralboden die Stickstoffsättigung erreicht ist. Im humusarmen Mineralböden können Veränderungen der Analytik mitspielen.

Mittelwerte des Ct-Vorrats alt und Änderungsbeträge [t/ha]			Bodenformengruppe												
Tiefenstufe	Stufenuntergrenze [cm]	Daten-Mittelwerte	1		2		3		6		11		12		gesamt (ohne Gruppe 2)
			Rego-sole, Saumpodssole u.ä. in Sandsubstraten	Rost-, Humusrotpodssole u.ä. in Sandsubstraten	Braunerde u.ä. in Sandsubstratgruppe	Fahlerde n u.ä. in Tieflehml., u.ä. Substraten	Sand-Gleypodsole	Sand-Gleybraunerden u.ä.							
1	Humusaufgabe	Vorrat der Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	20.49 7.26 9	27.70 6.51 1	19.13 <u>4.55</u> 92	5.82 7.51 1	58.73 10.38 5	18.59 8.98 8	20.86 5.36 116						
2	0-5	Summe in d. Stufe [t/ha] 1986-89 mittl.Vorrat bis Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung i.d. Stufe bis 1996/2002 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	9.73 30.22 1.92 9.18 9	21.37 49.06 -3.76 2.75 1	10.96 30.08 <u>-0.14</u> <u>4.40</u> 93	12.54 18.36 -0.52 6.99 2	26.29 85.02 -4.55 5.83 5	11.83 30.42 0.27 9.25 8	11.60 32.41 -0.15 5.20 117						
3	5-10	Summe in d. Stufe [t/ha] 1986-89 mittl.Vorrat bis Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung i.d. Stufe bis 1996/2002 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	3.71 33.93 0.05 9.23 9	8.09 57.15 <u>0.06</u> <u>4.46</u> 1	6.00 36.09 0.06 <u>4.46</u> 93	3.94 22.30 1.81 8.80 2	16.63 101.66 -1.49 4.33 5	6.50 36.92 1.13 10.38 8	6.28 38.69 0.10 5.29 117						
4	10-20	Summe in d. Stufe [t/ha] 1986-89 mittl.Vorrat bis Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung i.d. Stufe bis 1996/2002 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	5.75 39.68 -0.79 8.44 9	15.36 72.51 <u>-0.23</u> <u>4.23</u> 1	8.37 44.46 -0.23 <u>4.23</u> 93	7.18 29.48 -0.31 8.49 2	25.40 127.06 -7.35 -3.02 5	9.96 46.88 0.45 10.83 8	8.99 47.67 -0.53 4.76 117						
5	20-40	Summe in d. Stufe [t/ha] 1986-89 mittl.Vorrat bis Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung i.d. Stufe bis 1996/2002 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	6.34 46.02 -0.53 7.92 9	16.56 89.07 -0.10 <u>3.29</u> 1	9.98 54.44 <u>-0.94</u> <u>3.29</u> 93	9.97 39.45 -2.47 6.03 2	35.21 162.26 -7.68 -10.70 5	12.66 59.54 -1.79 9.04 8	10.96 58.63 -1.28 3.48 117						
6	40-60	Summe in d. Stufe [t/ha] 1986-89 mittl.Vorrat bis Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung i.d. Stufe bis 1996/2002 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	4.88 50.90 -1.43 6.49 9	2.77 91.84 3.98 <u>2.11</u> 1	5.03 59.47 -1.19 <u>2.11</u> 93	4.36 43.81 0.60 6.63 2	8.23 170.50 3.70 -7.00 5	3.33 62.87 0.69 9.73 8	5.03 63.66 -0.84 2.64 117						
7	60-80	Summe in d. Stufe [t/ha] 1986-89 mittl.Vorrat bis Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung i.d. Stufe bis 1996/2002 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	4.31 55.22 -1.83 4.66 9	4.70 96.54 1.97 <u>1.46</u> 1	3.03 62.50 <u>-0.64</u> <u>1.46</u> 93	7.89 51.70 -4.28 2.35 2	3.82 174.31 0.68 -6.32 5	2.03 64.89 0.37 10.10 8	3.18 66.84 -0.67 1.97 117						
8	-100	Summe in d. Stufe [t/ha] 1986-89 mittl.Vorrat bis Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung i.d. Stufe bis 1996/2002 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	3.12 58.34 -1.28 3.38 9	0.31 96.86 5.49 <u>0.62</u> 1	2.42 64.92 -0.84 <u>0.62</u> 91	14.74 177.64 -11.93 -9.58 5	3.33 177.64 -1.18 -7.50 8	1.31 66.21 -0.09 10.01 114	2.55 69.39 -0.93 1.04 117						
9	-120	Summe in d. Stufe [t/ha] 1986-89 mittl.Vorrat bis Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung i.d. Stufe bis 1996/2002 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	2.91 61.25 <u>0.32</u> <u>0.32</u> 8	0.32 97.17 <u>0.32</u> <u>0.32</u> 1	2.24 67.16 <u>0.32</u> <u>0.32</u> 89	14.74 81.17 <u>1.47</u> <u>1.47</u> 1	2.06 179.70 <u>2.06</u> <u>2.06</u> 4	1.54 67.75 <u>1.54</u> <u>1.54</u> 7	2.35 71.74 <u>2.35</u> <u>2.35</u> 109						
10	-160	Summe in d. Stufe [t/ha] 1986-89 mittl.Vorrat bis Stufe [t/ha] 1986-89 Änderung i.d. Stufe bis 1996/2002 Änderung d. Vorrats bis 1996/2002 Anzahl Flächen	6.12 67.37 <u>0.64</u> <u>0.64</u> 6	0.64 97.82 <u>0.64</u> <u>0.64</u> 1	5.65 72.81 <u>0.64</u> <u>0.64</u> 70	0.00 81.17 <u>0.00</u> <u>0.00</u> 0	2.74 182.44 <u>2.74</u> <u>2.74</u> 2	2.55 70.30 <u>2.55</u> <u>2.55</u> 7	5.36 77.10 <u>5.36</u> <u>5.36</u> 85						

Tab. 1: Übersicht über die Ct-Vorräte der Bodenformengruppen und ihre Änderung nach Tiefenstufen; alpha im paarigen t-Test f. Gruppe 3: fett doppelt unterstrichen <= 0.001; einfach unterstrichen: <= 0.01

Die noch rezent grundwasserbeeinflussten **Gleypodsole** stellen im Bodenformenvergleich (**Tab. 1**) mit ihren Humusaufgaben aus Feucht-Rohhumus von im Mittel 58 t C/ha die Spitzengruppe in der ÖWK-Stichprobe dar. Selbst hier stieg der C-Vorrat eher noch an (10 t/ha, nicht sign.). Laufende Entwässerungsprozesse hatten hier im Gegensatz zu den Gley- Braunerden keinen erkennbaren Einfluss.

Fazit: Aus Wiederholungsuntersuchungen auf Level-1-Niveau lassen sich die C- und N-Vorratsänderungen der Waldböden nachvollziehen. Durch Verbesserung des Beprobungsdesigns ab 1996 sollte im nächsten Zyklus auch die Streuung deutlich verringert werden. Der Test der Probenvergleichbarkeit an Altproben war essenziell für gesicherte Aussagen.
Stichworte: Monitoring, Ct, Nt, Vorrat, Versauerung, Humuszustand, pH, Basensättigung,

Teile der Auswertung gefördert durch: EU-Forest-Focus-Projekt C-Haushalt BB5 Teil 4.4.3 Boden