

Zur Problematik der Quantifizierung von C- und N-Gehalten, C/N-Verhältnissen und C- und N-Vorräten der Humusaufgabe und des mineralischen Oberbodens

(Mit 1 Abbildung und 4 Tabellen)

Von U. KLINCK¹⁾, D. FRÖHLICH²⁾ und K. J. MEIWES¹⁾

(Angenommen Januar 2007)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Inventur; Kahlschlag; Mischprobe; Moder; Probenanzahl.

Inventory; clear-cut; mixed sample; mor-humus.

1. EINLEITUNG

Humusaufgabe und mineralischer Oberboden erfüllen wichtige Filter-, Puffer-, Speicher- und Transformationsfunktionen im Energie-, Stoff- und Wasserhaushalt von Waldökosystemen. Auswirkungen natürlicher und anthropogen bedingter Veränderungen innerhalb des ökosystemaren Prozessgeschehens auf diesen labilen Pool müssen deshalb vor dem Hintergrund der Bemühungen um Anerkennung seiner Funktionen im Kyoto-Protokoll, einer fortschreitenden Stickstoff-Eutrophierung in Mitteleuropa und eines zu erwartenden globalen Klimawandels quantifiziert werden (MOSIER, 1998). Kahlschläge als waldbauliche Option können dabei repräsentativ für das radikalste mögliche Szenario stehen.

C- und N-Gehalte, C/N-Verhältnisse und C- und N-Vorräte der Humusaufgabe und des mineralischen Oberbodens sind über Inventuren quantifizierbar. Sie können für verschiedene Straten vergleichsweise einfach, kostengünstig und schnell durchgeführt werden. Allerdings ist die Differenzierung praktisch nicht, oder nur bei erheblichem laboranalytischen Mehraufwand an Hand des in Zentimeter-Schritten ermittelten vertikalen C-Gradienten (BEESE et al., 2004; JANSEN et al., 2005) objektiv. Ebenfalls nachteilig sind, durch laterale und vertikale Heterogenitäten bedingte, große Probenanzahlen zur Absicherung kleiner Veränderungen und eine beschränkte Reproduzierbarkeit.

Der Wunsch, den Arbeits-, Kosten- und Zeitaufwand dieser Inventuren zu minimieren, die Ergebnisqualität aber zu maximieren verlangt nach einem Kompromiss, dessen Findung immer wieder Probleme bereitet (LENTH, 2001). So können z. B. zu Mischproben vereinigte Einzelproben das Verhältnis zwischen Feld- und Laborprobenanzahlen optimieren helfen (BMELF 1994, LLOYD und MCKEE, 1983), gleichzeitig bedeutet jede frühzeitige Mittelung jedoch auch einen später nicht mehr kompensierbaren Informationsverlust.

Unsere Untersuchung am Beispiel zweier Fichtenaltbestände mit typischer Moder-Aufgabe und sauren Böden aus Löss über Buntsandstein soll eine effektivere und effizientere Konzeption zukünftiger Inventuren ermöglichen. Wir zeigen für die C- und N-Gehalte, C/N-Verhältnisse und C- und N-Vorräte des mineralischen Oberbodens und verschiedener Straten der Humusaufgabe, wie groß die Variationskoeffizienten homogener Standorte sein können, welche Probenanzahlen an Einzel- oder Mischproben je Inventur genommen werden müssen, damit die Mittelwerte einer hypothetischen Zweitbeprobung maximal einen zu definierenden prozentualen Anteil von den Mittelwerten der Erstbeprobung abweichen und welche Veränderungen 1 Jahr nach Kahlschlag zu erwarten sind.

2. MATERIAL UND METHODEN

2.1 Standort

Im Niedersächsischen Forstamt Neuhaus (Solling) wurden 2 Fichtenaltbestände untersucht: Revier *Neuhaus*, 500 m ü. NN, Bestandesalter: 90–104 Jahre und Revier *Otterbach*, 300 m ü. NN, Bestandesalter: 85 Jahre.

Beide Standorte sind gekalkt und durch stark bis sehr stark saure Bedingungen, feinhumusreiche Moder-Auflagen sowie schwach podsolierte (Pseudogley-)Braunerden aus durchschnittlich 80 cm mächtigen, grusführenden Lösslehmen in *Neuhaus* bzw. Lössen in *Otterbach* über Buntsandstein charakterisiert. Der kollin-submontane Standort *Otterbach* weist mittlere Jahrestemperaturen von 7,5°C und mittlere Jahresniederschläge von 900–950 mm auf, in *Neuhaus* ist es 1°C kälter und 150–200 mm feuchter (ELLENBERG et al., 1986).

2.2 Versuchsdesign

Auf einer Grundfläche von 775 x 275 m in *Neuhaus* und 525 x 500 m in *Otterbach* sind jeweils sechs 100 x 100 m große Parzellen verteilt. Die Erstbeprobung Mitte 2003 mit insgesamt 50 Bohrkernen je Parzelle erfolgte alle 5–6 m entlang der Diagonalen. In *Neuhaus* wurden auf 2 Parzellen abweichend davon 70 Bohrkern in Abständen von ca. 4 m entlang dreier parallel verlaufender und um 30 m versetzter Streifen gewonnen.

Ende 2003 erfolgte auf beiden Standorten eine vollständige Räumung von 2 Standard-Parzellen plus 30 m breiter, allseitiger Umfassung. Der notwendige Maschineneinsatz beschränkte sich dabei auf 4 m breite Rückegassen zwischen den Beprobungspunkten. Analog zur Erstbeprobung und somit einem gepaarten Versuchsdesign entsprechend, wurden diese Parzellen Ende 2004 erneut untersucht.

2.3 Probennahme und -behandlung

Zum Einsatz kam ein Bohrer mit 6,7 cm Durchmesser, 50 cm Länge und Verjüngung an der Schneide. Er wurde 25 cm tief in den Boden getrieben. Anschließend konnte der so gewonnene Bohrkern nahezu ungestört von unten aus dem Bohrer geschoben werden. Die Zwischenlagerung der Bohrkern bis zur ihrer Zerlegung fand bei 4°C, aufrecht und in PVC-Tüten verpackt statt.

Alle *Bohrkerne* (L/Of + Oh + Min 0–5) wurden nach Entfernung des Vegetationsbewuchses in L/Of, Oh und mineralischen Oberboden 0 bis –5 cm (Min 0–5) getrennt. Tiefer liegende Mineralbodenhorizonte fanden aufgrund der Probenanzahlen keine Berücksichtigung, obwohl sie durchaus noch nennenswerte Vorräte aufweisen können (BATJES, 1996; FISCHER et al., 2002).

Die Trocknung erfolgte für L/Of- und Oh-Proben bei 60°C, für Proben des Min 0–5 bei 40°C. Anschließend wurden für alle Proben die Gewichte bestimmt. Die Proben des Min 0–5 wurden mit einem 2 mm-Sieb in Fein- und Grobboden getrennt. Im Mittel betragen die Kornfraktionen > 2 mm 4,0% des Probengewichts. Daran anhaftender Feinboden entsprach 0,2% des Probengewichts. Aliquote der L/Of-, Oh- und Feinboden-Proben wurden in Achat-Kugelmöhlen gemahlen und auf C- und N-Gehalte mit einem Ele-

¹⁾ Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt, Abt. Umweltkontrolle, Grätzelstraße 2, 37079 Göttingen. E-Mail: uwe.klinck@nw-fva.de.

²⁾ Universität Göttingen, Institut für Bodenkunde und Waldernährung, Büsingweg 2, 37077 Göttingen.

mental Analyzer der Firma EuroVector analysiert. Das Gerät misst im den uns interessierenden Wertebereichen mit ca. 2% Genauigkeit. Abschließend wurden die Analysewerte zur Masse bei 105°C relativiert, bei den Proben des Min 0-5 zusätzlich auch noch auf das Feinbodengewicht (KÖNIG und FORTMANN, 1999).

2.4 Statistik

C- und N-Vorräte der Straten berechnen sich als Produkte aus entsprechenden Gehalten, Trockenraumdichten und Mächtigkeiten. C- und N-Vorräte der Bohrkerne sind ungewichtete Summen. Für rechnerische Mischproben (MPx) aus x benachbarten Einzelproben (EP) berechnen sich C- und N-Gehalte als mit den Trockengewichten gewichtete Mittelwerte, C- und N-Vorräte sind ungewichtete Mittelwerte. C/N-Verhältnisse berechnen sich unabhängig davon stets als Quotienten entsprechender Gehalte.

Unterschiede zwischen den Standorten im Jahr 2003 wurden mittels MANN-WHITNEY-Test, Unterschiede zwischen den Jahren 2003 und 2004 je Standort mittels WILCOXON-Test auf Signifikanz (p = 0,05) geprüft (SPSS 12.0.1).

Über Gleichung (I) kann iterativ die notwendige Probenanzahl berechnet werden, damit der Mittelwert einer hypothetischen Zweitbeprobung maximal einen zu definierenden prozentualen Anteil vom Mittelwert der Erstbeprobung abweicht (ZAR, 1999).

$$n = \frac{s^2}{\partial^2} (t_{\alpha,v} + t_{\beta(1),v})^2 \quad (I)$$

mit: n = notwendige Probenanzahl, damit der Mittelwert einer hypothetischen Zweitbeprobung maximal einen zu definierenden prozentualen Anteil vom Mittelwert der Erstbeprobung abweicht; s = Standardabweichung; ∂ = zu definierender prozentualer Anteil, den der Mittelwert einer hypothetischen Zweitbeprobung maximal vom Mittelwert der Erstbeprobung abweichen darf; $t_{\alpha,v}$ = kritischer t-Wert der Schätzung im iterativen Verfahren bei α -zweiseitig und entsprechenden v Freiheitsgraden; α = Fehler 1. Art; $t_{\beta(1),v}$ = kritischer t-Wert der Schätzung im iterativen Verfahren bei β -einseitig und entsprechenden v Freiheitsgraden; β = Fehler 2. Art.

In Gleichung (II) ist die hypothetische durch eine reale Zweitbeprobung ersetzt. Nach Umformung kann berechnet werden, welchen Prozentsatz der Mittelwert der Zweitbeprobung maximal vom Mittelwert der Erstbeprobung abweicht (ZAR, 1999).

$$n = \frac{2s_p^2}{\partial^2} (t_{\alpha,v} + t_{\beta(1),v})^2 \quad (II)$$

mit, abweichend zu (I): s_p = Standardabweichung der gepaarten Differenzen; ∂ = zu definierender prozentualer Anteil, den der

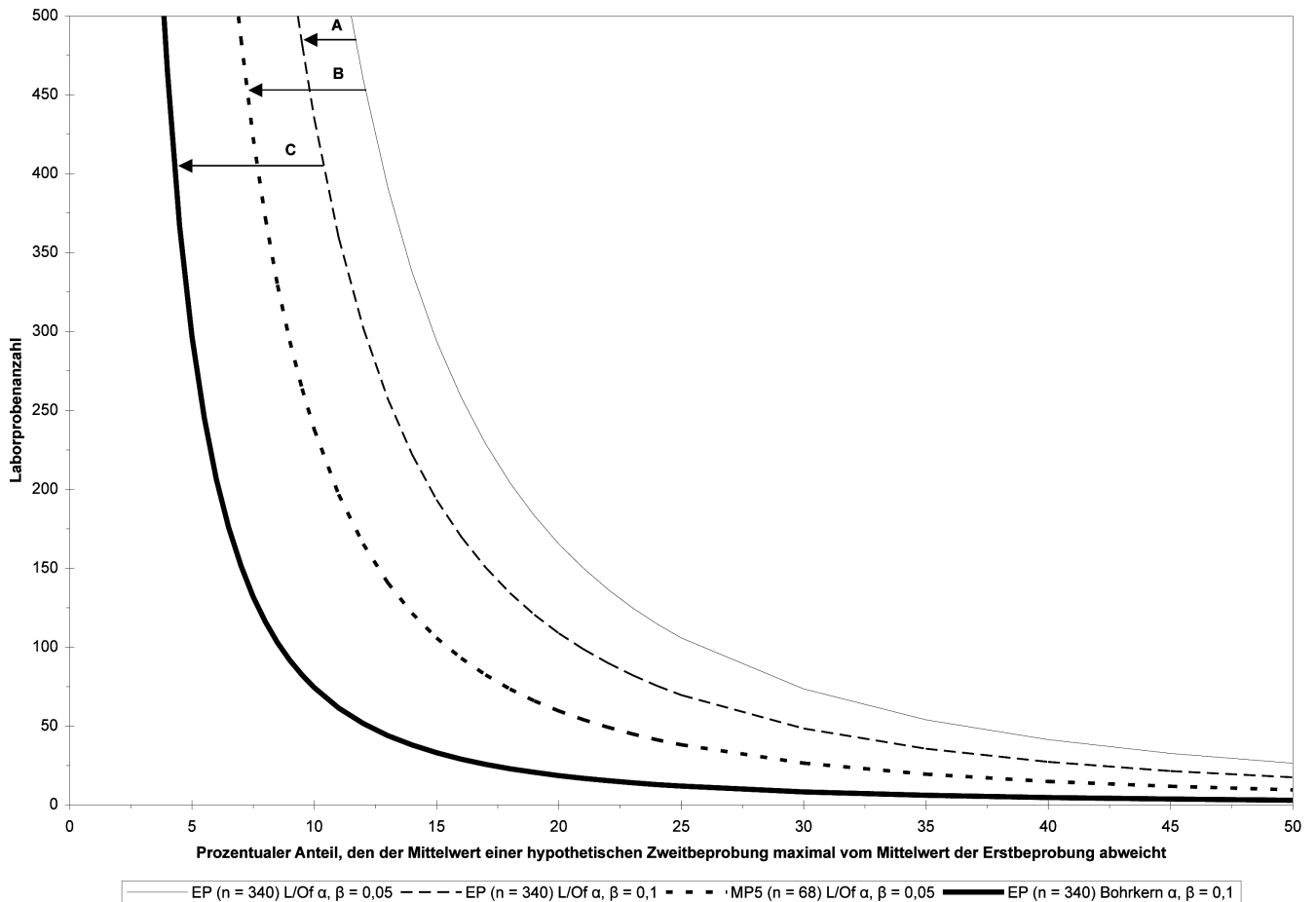


Abb. 1

Beispiel C-Vorräte, Neuhaus: Notwendige Laborprobenanzahlen, damit die Mittelwerte einer hypothetischen Zweitbeprobung maximal einen zu definierenden prozentualen Anteil von den Mittelwerten der Erstbeprobung abweichen je nach Stellschraube A) Fehler 1. und 2. Art (α und β), B) Verwendung von Einzelproben (EP) oder Mischproben (MPx = Mischprobe aus x benachbarten Einzelproben), C) Stratum.

Example C-stocks, Neuhaus: Laboratory sample sizes needed so that the means of a hypothetical second investigation differ maximal a defined percentage from the means of the first investigation according to A) errors of first and second nature (α and β), B) single sample (EP) or mixed sample (MPx = mixed sample out of x neighbouring single samples), C) stratum.

Tab. 1

Mittelwerte (MW) und Variationskoeffizienten (VK, %) von C- und N-Gehalten, C/N-Verhältnissen und C- und N-Vorräten beider Standorte (* = signifikante Mittelwertunterschiede zwischen beiden Standorten).

Means (MW) and coefficients of variation (VK, %) of C- and N-contents, C/N-ratios and C- and N-stocks for both investigation sites (* = significant differences between the means of both investigation sites).

		Neuhaus		Otterbach	
		n = 340		n = 300	
		MW	VK	MW	VK
C-Gehalt g/kg	L/Of	438	11	445	14 *
	Oh	381	19	374	22
	Min 0-5	80	43	71	40 *
N-Gehalt g/kg	L/Of	15,8	14	15,6	16
	Oh	16,6	17	15,6	19 *
	Min 0-5	4,1	35	3,5	30 *
C/N-Verhältnis	L/Of	28	15	29	15 *
	Oh	23	17	24	11 *
	Min 0-5	19	9	20	14 *
C-Vorrat t/ha	L/Of	10	71	11	61 *
	Oh	27	58	24	53 *
	Min 0-5	31	25	28	21 *
	Bohrkern	69	29	63	26 *
N-Vorrat kg/ha	L/Of	360	71	398	61 *
	Oh	1.178	54	997	50 *
	Min 0-5	1.614	21	1.388	21 *
	Bohrkern	3.155	24	2.783	22 *

Mittelwert der realen Zweitbeobachtung maximal vom Mittelwert der Erstbeobachtung abweichen darf; $t_{\alpha, v}$ = kritischer t-Wert der Schätzung im iterativen Verfahren bei α -zweiseitig und entsprechenden $v = 2(n-1)$ Freiheitsgraden; $t_{\beta(1), v}$ = kritischer t-Wert der Schätzung im iterativen Verfahren bei β -einseitig und entsprechenden $v = 2(n-1)$ Freiheitsgraden.

Wir verwenden Gleichung (I) mit $\alpha, \beta = 0,05$ und den Schätzungen $v = 340$ (EP), $v = 170$ (MP2), $v = 68$ (MP5) für Neuhaus und $v = 300$ (EP), $v = 150$ (MP2), $v = 60$ (MP5) für Otterbach. Abb. 1 beinhaltet auch die Option $\alpha, \beta = 0,10$ bei $v = 340$. In Gleichung (II) wird $v = 198$ verwendet. Da hohe erste Schätzungen die notwendige Probenanzahl n schon ausreichend genau bestimmen (ZAR, 1999), wurde auf weitere Iterationsschritte verzichtet.

3. ERGEBNISSE

3.1 Einzelproben

Tab. 1 vergleicht beide Standorte miteinander. Die Differenzen mit maximal 15% und Unterschiede in den Mächtigkeiten des L/Of und Oh von 0,20 cm bzw. 0,03 cm (nicht dargestellt) sind klein. Es bestehen aber bis auf 2 Ausnahmen signifikante Mittelwertunterschiede. C- und N-Gehalte nehmen zwischen Humusaufgabe und Min 0-5 um mindestens 70% ab, entsprechende Variationskoeffizienten steigen an. Die C- und N-Vorräte und ihre Variationskoeffizienten verhalten sich jeweils genau entgegengesetzt. In ihren Größenordnungen sind die C-Vorräte im Oh und die N-Vorräte der Humusaufgabe mit denen des Min 0-5 vergleichbar. Das frische bzw. schwach zersetzte L/Of-Material weist weite C/N-Verhältnisse auf, die sich vertikal schnell zu mäßig weiten bis mittleren reduzieren. Für jeden Parameter, jedes Stratium und je Diagonale erstellte Semivariogramme zeigen keine räumlichen Korrelationen zwischen den Einzelproben.

3.2 Mischproben

Tab. 2 veranschaulicht, dass die Variationskoeffizienten abnehmen, je mehr Einzelproben zu einer Mischprobe vereinigt werden.

Tab. 2

Mittelwerte (MW) und Variationskoeffizienten (VK, %) von C- und N-Gehalten, C/N-Verhältnissen und C- und N-Vorräten im Vergleich Einzelprobe (EP) zu Mischprobe (MPx = Mischprobe aus x benachbarten Einzelproben).

Means (MW) and coefficients of variation (VK, %) of C- and N-contents, C/N-ratios and C- and N-stocks compared between single (EP) and mixed samples (MPx = calculated mixed sample out of x neighbouring single samples).

		Neuhaus						Otterbach					
		EP (n = 340)		MP2 (n = 170)		MP5 (n = 68)		EP (n = 300)		MP2 (n = 150)		MP5 (n = 60)	
		MW	VK	MW	VK	MW	VK	MW	VK	MW	VK	MW	VK
C-Gehalt g/kg	L/Of	438	11	441	9	444	7	445	14	447	11	448	10
	Oh	381	19	385	15	387	11	374	22	377	17	374	15
	Min 0-5	80	43	78	28	76	18	71	40	70	27	69	19
N-Gehalt g/kg	L/Of	15,8	14	15,9	11	15,8	8	15,6	16	15,7	13	15,7	11
	Oh	16,6	17	16,6	14	16,7	9	15,6	19	15,6	15	15,5	13
	Min 0-5	4,1	35	4,0	22	3,9	14	3,5	30	3,5	23	3,4	19
C/N-Verhältnis	L/Of	28	15	28	10	28	7	29	15	29	10	29	7
	Oh	23	17	23	11	23	7	24	11	24	8	24	6
	Min 0-5	19	9	19	7	19	6	20	14	20	11	20	8
C-Vorrat t/ha	L/Of	10	71	10	55	10	42	11	61	11	48	11	36
	Oh	27	58	28	43	28	33	24	53	24	35	24	25
	Min 0-5	31	25	31	18	31	12	28	21	28	16	28	11
	Bohrkern	69	29	69	21	69	16	63	26	63	19	63	14
N-Vorrat kg/ha	L/Of	360	71	360	56	360	43	398	61	398	49	398	36
	Oh	1.178	54	1.199	40	1.205	32	997	50	1.004	34	1.004	25
	Min 0-5	1.614	21	1.614	15	1.612	9	1.388	21	1.388	17	1.388	14
	Bohrkern	3.155	24	3.177	17	3.189	13	2.783	22	2.790	17	2.790	14

Tab. 3

Notwendige Laborprobenanzahlen unter Annahme $\alpha, \beta = 0,05$ für C- und N-Gehalte, C/N-Verhältnisse und C- und N-Vorräte bei Einzelproben (EP) und Mischproben (MPx = Mischprobe aus x benachbarten Einzelproben), damit die Mittelwerte einer hypothetischen Zweitbeprobung maximal 5 % (je Standort und Stratum ca. 0,5–1,6 t/ha C und 18–81 kg/ha N entsprechend), 10 % bzw. 15 % von den Mittelwerten der Erstbeprobung abweichen.

Laboratory sample sizes needed expecting $\alpha, \beta = 0,05$ for C- and N-contents, C/N-ratios and C- and N-stocks using single (EP) or mixed samples (MPx = calculated mixed sample out of x neighbouring single samples) so that the means of a hypothetical second investigation differ maximal 5 % (depending on investigation site and stratum approx. 0,5–1,6 t/ha C and 18–81 kg/ha N), 10 % respective 15 % from the means of the first investigation.

		Neuhaus									Otterbach								
		EP (n = 340)			MP2 (n = 170)			MP5 (n = 68)			EP (n = 300)			MP2 (n = 150)			MP5 (n = 60)		
		±5 %	±10 %	±15 %	±5 %	±10 %	±15 %	±5 %	±10 %	±15 %	±5 %	±10 %	±15 %	±5 %	±10 %	±15 %	±5 %	±10 %	±15 %
C-Gehalt g/kg	L/Of	63	16	7	39	10	4	26	6	3	102	25	11	62	15	7	55	14	6
	Oh	191	48	21	121	30	13	61	15	7	260	65	29	158	40	18	115	29	13
	Min 0-5	983	246	109	399	100	44	178	44	20	853	213	95	378	94	42	185	46	21
N-Gehalt g/kg	L/Of	101	25	11	58	15	6	35	9	4	130	33	14	86	21	10	68	17	8
	Oh	156	39	17	100	25	11	45	11	5	185	46	21	116	29	13	82	21	9
	Min 0-5	645	161	72	264	66	29	110	27	12	467	117	52	279	70	31	186	47	21
C/N-Verhältnis	L/Of	113	28	13	57	14	6	27	7	3	120	30	13	53	13	6	28	7	3
	Oh	144	36	16	61	15	7	29	7	3	61	15	7	35	9	4	20	5	2
	Min 0-5	41	10	5	28	7	3	20	5	2	103	26	11	62	15	7	31	8	3
C-Vorrat t/ha	L/Of	2.645	661	294	1.608	402	179	928	232	103	1.956	489	217	1.231	308	137	687	172	76
	Oh	1.762	441	196	966	242	107	573	143	64	1.455	364	162	654	164	73	334	84	37
	Min 0-5	336	84	37	177	44	20	79	20	9	242	60	27	138	35	15	68	17	8
	Bohrkern	452	113	50	236	59	26	136	34	15	362	90	40	180	45	20	108	27	12
N-Vorrat kg/ha	L/Of	2.658	665	295	1.630	408	181	963	241	107	1.953	488	217	1.242	310	138	664	166	74
	Oh	1.522	380	169	842	211	94	520	130	58	1.284	321	143	593	148	66	317	79	35
	Min 0-5	224	56	25	116	29	13	44	11	5	223	56	25	147	37	16	96	24	11
	Bohrkern	299	75	33	157	39	17	92	23	10	265	66	29	145	36	16	97	24	11

Der für mittlere C- und N-Gehalte und C- und N-Vorräte von Einzelproben beschriebene vertikale Gradient der Variationskoeffizienten bleibt bestehen. Einzel- und Mischproben unterscheiden sich in ihren mittleren C- und N-Gehalten und C/N-Verhältnissen rechenwegbedingt um maximal 4,3 %.

3.3 Probenanzahl

Tab. 3 verdeutlicht für Einzel- und Mischproben die notwendigen Laborprobenanzahlen, damit die Mittelwerte einer hypothetischen Zweitbeprobung maximal die definierten prozentualen Anteile von den Mittelwerten der Erstbeprobung abweichen. Bei konstanten α und β besteht entgegengesetzte Proportionalität. Gleiches gilt auch für alle Fälle eines konstanten prozentualen Anteils und variablen α und β (nicht dargestellt). Der in den mittleren C- und N-Gehalten und C- und N-Vorräten von Einzel- und Mischproben beobachtete vertikale Gradient der Variationskoeffizienten spiegelt sich in den notwendigen Laborprobenanzahlen wieder.

In den Vergleichen Einzel- zu Mischproben ist stets ein deutlicher Rückgang der notwendigen Laborprobenanzahlen zu verzeichnen. Er beträgt je nach Standort und Stratum für EP zu MP2 –34 % bis –59 % und für EP zu MP5 –47 % bis –83 %. Das korrespondierende Verhältnis der Feldprobenanzahlen ist weniger einheitlich und reicht von –19 % bis +40 % für EP zu MP2 und –15 % bis +167 % für EP zu MP5.

Unsere Probenanzahlen sind ausreichend, damit die Mittelwerte einer hypothetischen Zweitbeprobung mit $\alpha, \beta = 0,05$ maximal folgende prozentualen Anteile von den Mittelwerten der Erstbeprobung abweichen. Die Generalisierung je Parameter orientiert sich dabei stets am Stratum mit dem höchsten prozentualen Anteil:

Einzelproben

Neuhaus: C-Gehalt: $\pm 9\%$, N-Gehalt: $\pm 7\%$, C/N-Verhältnis: $\pm 3\%$, C-Vorrat: $\pm 14\%$, N-Vorrat: $\pm 14\%$.

Otterbach: C-Gehalt: $\pm 9\%$, N-Gehalt: $\pm 7\%$, C/N-Verhältnis: $\pm 3\%$, C-Vorrat: $\pm 13\%$, N-Vorrat: $\pm 13\%$.

Mischproben aus 2 benachbarten Einzelproben

Neuhaus: C-Gehalt: $\pm 8\%$, N-Gehalt: $\pm 7\%$, C/N-Verhältnis: $\pm 3\%$, C-Vorrat: $\pm 16\%$, N-Vorrat: $\pm 16\%$.

Otterbach: C-Gehalt: $\pm 8\%$, N-Gehalt: $\pm 7\%$, C/N-Verhältnis: $\pm 3\%$, C-Vorrat: $\pm 15\%$, N-Vorrat: $\pm 15\%$.

Mischproben aus 5 benachbarten Einzelproben

Neuhaus: C-Gehalt: $\pm 9\%$, N-Gehalt: $\pm 7\%$, C/N-Verhältnis: $\pm 3\%$, C-Vorrat: $\pm 19\%$, N-Vorrat: $\pm 19\%$.

Otterbach: C-Gehalt: $\pm 9\%$, N-Gehalt: $\pm 9\%$, C/N-Verhältnis: $\pm 4\%$, C-Vorrat: $\pm 18\%$, N-Vorrat: $\pm 17\%$.

Es wird deutlich, dass die Anzahl der notwendigerweise zu analysierenden Laborproben zur gewünscht hinreichend genauen Quantifizierung der C- und N-Gehalte, C/N-Verhältnisse und C- und N-Vorräte von mehreren Entscheidungen abhängig ist, deren Auswirkungen in Abb. 1 exemplarisch visualisiert sind.

3.4 Kahlschlag

Tab. 4 zeigt Veränderungen beider Standorte 1 Jahr nach Kahlschlag. Die C- und N-Gehalte aller Straten reduzieren sich signifikant um –19 % bis –49 %. Bei den C- und N-Vorräten kompensieren Zunahmen von +26 % bis +52 % in der Humusaufgabe Abnahmen von –29 % bis –33 % im Min 0–5, sodass bis auf Neuhaus, C-Vorrat keine signifikanten Vorratsänderungen in den Bohrkernen quantifizierbar sind. Die C/N-Verhältnisse bleiben mit Ausnahme von Otterbach, Oh unverändert.

4. DISKUSSION UND SCHLUSSFOLGERUNGEN

4.1 Einzel- und Mischproben

Die ermittelten C- und N-Gehalte, C/N-Verhältnisse und C- und N-Vorräte auf beiden Standorten entsprechen für deutsche Waldböden unter Fichte typischen Größenordnungen (BURSCHEL et al., 1993). Weite C/N-Verhältnisse in den Humusaufgaben sind Hinweis auf niedrige Mineralisierungsraten (ZEZSCHWITZ, 1985). Allerdings

Tab. 4

Veränderungen (\pm , %) von Mittelwerten (MW) und Variationskoeffizienten (VK, %) von C- und N-Gehalten, C/N-Verhältnissen und C- und N-Vorräten 1 Jahr nach Kahlschlag (* = signifikante Mittelwertunterschiede zwischen Bestand und 1 Jahr nach Kahlschlag; + = Veränderung ist statistisch abgesichert).

Changes (\pm , %) of means (MW) and coefficients of variation (VK, %) of C- and N-contents, C/N-ratios and C- and N-stocks 1 year after clearcutting (* = significant differences between before and 1 year after clearcutting; + = differences statistically validated).

		Neuhaus (n = 100)					Otterbach (n = 100)				
		Bestand		1 Jahr nach Kahlschlag			Bestand		1 Jahr nach Kahlschlag		
		MW	VK	MW	VK	+/- (%)	MW	VK	MW	VK	+/- (%)
C-Gehalt g/kg	L/Of	438	12	357	17 *	-19 +	431	18	348	23 *	-19 +
	Oh	402	17	243	34 *	-40 +	345	28	177	42 *	-49 +
	Min 0-5	92	44	52	25 *	-44 +	62	26	39	30 *	-37 +
N-Gehalt g/kg	L/Of	16,0	13	12,6	18 *	-21 +	15,6	19	12,7	21 *	-18 +
	Oh	17,3	18	10,3	28 *	-41 +	14,3	23	8,6	28 *	-40 +
	Min 0-5	4,6	38	2,6	19 *	-45 +	3,0	26	1,8	27 *	-40 +
C/N-Verhältnis	L/Of	28	12	29	15	3	28	14	28	22	0
	Oh	24	24	23	16	-1	24	13	20	17 *	-16 +
	Min 0-5	20	8	20	9	2	21	9	21	12 *	4
C-Vorrat t/ha	L/Of	9	70	13	101 *	42	13	71	16	94	26
	Oh	22	72	34	54 *	52	23	63	28	55 *	26
	Min 0-5	33	20	23	18 *	-29 +	26	21	19	25 *	-30 +
	Bohrkern	64	30	70	34 *	9	62	32	63	36	2
N-Vorrat kg/ha	L/Of	332	67	479	101 *	44	451	70	580	90	29
	Oh	923	64	1.425	52 *	54	934	59	1.406	53 *	51
	Min 0-5	1.655	16	1.162	16 *	-30 +	1.285	23	866	24 *	-33 +
	Bohrkern	2.903	23	3.065	30	6	2.669	28	2.851	32	7

bedingen laterale und vertikale Heterogenitäten, wie auch Subjektivitäten bei der Bohrkernzerlegung teilweise hohe Variationskoeffizienten. Unsere Probenanzahlen bedeuten zwar die praktische Unmöglichkeit einer objektiven Differenzierung von Straten an Hand des vertikalen C-Gradienten (BEESE et al., 2004; JANSEN et al., 2005), erlauben es gleichzeitig aber auch, signifikante Unterschiede zwischen beiden Standorten trotz vergleichbarer Variationskoeffizienten und Mittelwerte aufzuzeigen.

Mischproben dürfen theoretisch nur dann gebildet werden, wenn die zu vereinenden Feldproben räumlich korrelieren. Praktisch erfüllen wir diese Voraussetzung nicht. Wir können Semivariogramme aufgrund des Versuchsdesigns allerdings auch nur sehr eingeschränkt für die Diagonalen erstellen, sodass deren Aussagekraft gering ist. Erfüllt ist hingegen die Notwendigkeit sich verringernder Variationskoeffizienten bei vergleichbaren Größenordnungen der Mittelwerte.

4.2 Probenanzahl

Neben den oben genannten Voraussetzungen sollte zwischen Feld- und Laborproben aus ökonomischen Gründen erfahrungsgemäß ein Verhältnis < 10:1 bestehen. In unserer Untersuchung beträgt es maximal 3:1, weshalb wir Mischproben analog zu RUARK und ZARNOCH (1992) für C- und N-Inventuren empfehlen können.

Zukünftige Untersuchungen mit kleineren Probenanzahlen sollten, bei Verzicht auf die subjektive Differenzierung von Straten (LISKI, 1995) oder der Vorgehensweise an Hand des vertikalen C-Gradienten, α und β mit 0,05 festsetzen. Anderweitig favorisieren wir α , $\beta = 0,10$. Weiterhin bleibt zu berücksichtigen, welchen prozentualen Anteil die Mittelwerte einer hypothetischen Zweitprobung von den Mittelwerten der Erstprobung abweichen können.

Für C- und N-Vorräte nennen HUNTINGTON et al. (1988) 8–25% wünschenswert. Dies konnten YANAI et al. (2003) für zahlreiche nordamerikanische Untersuchungen zum C-Vorrat allerdings noch nicht bestätigen. Wir schlagen vor, für Einzel- und Mischproben 3 Qualitäten zu unterscheiden: für C- und N-Vorräte 15–20%, für C- und N-Gehalte 10% und für C/N-Verhältnisse 5%.

4.3 Kahlschlag

Unsere Untersuchung kann die durch Kahlschlag bedingten Störungen der Humusaufgabe und des mineralischen Oberbodens (NYKVIST, 1977; RYAN et al., 1992) nach 1 Jahr nicht statistisch abgesichert quantifizieren. Ursache ist eine auf Subjektivitäten (FEDERER, 1982) beruhende, unterschiedliche Bohrkernzerlegung zwischen 2003 und 2004, die sich bei den C- und N-Vorräten von Oh und Min 0–5 offenbart. Daraus resultierende, die tatsächlichen Veränderungen auch in den C- und N-Gehalten und C/N-Verhältnissen überlagernde, Effekte können 6 t/ha C (JANSEN et al., 2005) entsprechen. Deshalb beschränken wir uns auf einen Vergleich der Bohrkernkerne. Hier sind die Veränderungen allerdings klein und nicht statistisch abgesichert wie in vergleichbaren Untersuchungen für verschiedene Nadelholzbestände von CARTER et al. (2002), HEINSDORF et al. (1986) und JOHNSON (1992). Dies ist plausibel, da der nun 1 Jahr lang entfallene Input durch Streufall nach AKSELSSON et al. (2005) nur Größenordnungen von 0,2 t/ha C entspricht.

5. ZUSAMMENFASSUNG

Diese Untersuchung zeigt für C- und N-Gehalte, C/N-Verhältnisse und C- und N-Vorräte des mineralischen Oberbodens und verschiedener Straten der Humusaufgabe, wie groß die Variationskoeffizienten sein können, welche Probenanzahlen an Einzel- oder

Mischproben je Inventur genommen werden müssen, damit die Mittelwerte einer hypothetischen Zweitbeprobung maximal einen zu definierenden Anteil von den Mittelwerten der Erstbeprobung abweichen und welche Veränderungen 1 Jahr nach Kahlschlag zu erwarten sind. Als Beispiel dienen zwei 20–25 ha große Fichtenaltbestände mit typischer Moder-Auflage und sauren Böden aus Löss über Buntsandstein im Solling.

Es zeigt sich, dass auch vermeintlich homogene Standorte bezüglich der C- und N-Gehalte, C/N-Verhältnisse und C- und N-Vorräte von Humusaufgabe und mineralischem Oberboden sehr heterogen sein können. Bei großen Probenanzahlen beruhen die bis zu 71 % hohen Variationskoeffizienten allerdings teilweise auch auf Subjektivitäten bei der Differenzierung verschiedener Straten, da die objektive Vorgehensweise an Hand des in Zentimeter-Schritten ermittelten vertikalen C-Gradienten nicht mehr praktikabel ist.

Statistische Ansätze nutzend muss bei 300–340 Einzelproben davon ausgegangen werden, dass die Mittelwerte einer hypothetischen Zweitbeprobung folgende prozentualen Anteile von den Mittelwerten der Erstbeprobung abweichen können: C- und N-Vorräte 15%, C- und N-Gehalte 10% und C/N-Verhältnisse 5%. Aus 2 bzw. 5 benachbarten, räumlich nicht korrelierten, Einzelproben gebildete rechnerische Mischproben ermöglichen eine Reduktion der notwendigen Laborprobenanzahlen, bei sich gleichzeitig verringern den Variationskoeffizienten vergleichbarer Mittelwerte, ohne die Feldprobenanzahlen auf mehr als das 3fache zu erhöhen.

Durch Kahlschlag bedingte Störungen der Humusaufgabe und des mineralischen Oberbodens nach 1 Jahr können mit C- und N-Inventuren nur eingeschränkt statistisch abgesichert quantifiziert werden. Zukünftige Untersuchungen mit kleineren Einzel- oder Mischprobenanzahlen müssten, bei Verzicht auf die subjektive Differenzierung von Straten oder der Vorgehensweise an Hand des vertikalen C-Gradienten, qualitativ höherwertige Rohdaten zum Vergleich und zur statistischen Analyse erhalten. Erst im Anschluss ist abzuschätzen, wie viele Laborproben bei welchen akzeptierten Fehlern 1. und 2. Art notwendig sind.

6. Summary

Title of the paper: *About the problematic of quantifying C- and N-contents, C/N-ratios and C- and N-stocks of humus layer and upper mineral soil.*

This investigation is about how high coefficients of variations of C- and N-contents, C/N-ratios and C- and N-stocks can be in the upper mineral soil and different strata of the humus layer at two homogeneous sites in the Solling, each one 20–25 ha in size with old spruce-forest, typical mor-humus and acid soils of loess over sandstone. Calculating the number of single or mixed samples needed, that the means of a hypothetical second investigation differ maximal a percentage to be defined from the means of the first investigation is a subsequent consequence. Additionally we looked at changes 1 year after clearcutting.

Despite of the small sites, which are supposed to be relatively homogeneous for themselves, it becomes obvious, that coefficients of variation for C- and N-contents, C/N-ratios and C- and N-stocks can be up to 71%, depending on strata. Subjectivities during the differentiation of the soil cores into L/Of, Oh and upper mineral soil are included, but heavily quantifiable, complicating the interpretation of the data material. Our number of single samples is too high, for using the vertical C-gradient, which could be determined in steps each centimetre, in order to objectify. But it is enough to show significant differences between both sites, although the means and coefficients of variation are comparable.

Operating with corresponding statistical approaches, 300–340 single samples are enough to expect the means of a hypothetical

second investigation differing the following percentages from the means of the first investigation: C- and N-stocks 15%, C- and N-contents 10% and C/N-ratios 5%. This for each parameter generalised classification orientates at the stratum with the highest percentage. Calculated mixed samples out of 2 respectively 5 single samples showed smaller coefficients of variation at comparable means, simultaneously standing for a maximal 3 times higher number of field samples and are therefore recommendable. Because of the investigation design, semivariograms failed to show spatial correlations between the conjuncted single samples.

Future investigations with smaller numbers of single or mixed samples should fix the errors of first and second nature at 0,05, when abandoning the differentiation of strata or using the vertical C-gradient for distinguishing. Otherwise we suggest assuming these parameters to be 0,10, but give simultaneously warning of the risk involved in that decision. It was one reason which partly prevented the comparison of C- and N-contents, C/N-ratios and C- and N-stocks between stand and 1 year after clearcutting. Using the remaining unencumbered data material of the soil cores, changes were below 10% and not statistically validated. We found C- and N-inventories therefore limited usable for economical quantifying small changes, especially as long as the processes we are interested in are susceptible in being overlaid by heavily quantifiable subjectivities.

7. Résumé

Titre de l'article: *De la problématique de la quantification des teneurs en C et N, des rapports C/N et des réserves en N de la couche d'humus et de l'horizon minéral superficiel.*

Cette étude portant sur les teneurs en C et N, les rapports C/N et les réserves en N de l'horizon minéral superficiel et des diverses couches de l'humus, précise à combien les coefficients de variation peuvent s'élever, quel nombre d'échantillons unitaires ou mixtes par inventaire doit être pris, afin que la valeur moyenne d'une hypothétique répétition de l'expérimentation diverge, au maximum d'une quantité définie, de la valeur moyenne de la première expérimentation et à quels changements il faut s'attendre 1 an après une coupe rase. Nous avons pris comme exemple deux peuplements adultes d'épicéa de 20–25 ha sur un humus de type moder et des sols acides dérivés de loess sur grès bigarré de Solling.

Il apparaît que même des stations présumées homogènes quant aux teneurs en C et N, aux rapports C/N et aux réserves en N de la couche d'humus et de l'horizon minéral superficiel, peuvent être très hétérogènes. Dans le cas de nombres d'échantillons importants les coefficients de variation, qui peuvent atteindre 71 %, dépendent en effet aussi de subjectivité lors de la distinction des différentes strates, du fait que les valeurs des gradients verticaux de teneur en C que l'on obtient objectivement en utilisant des pas centimétriques ne sont plus utilisables.

En utilisant des traitements statistiques sur 300–340 échantillons unitaires on a trouvé que les valeurs moyennes d'une hypothétique répétition peuvent s'écarter des valeurs moyennes de l'expérimentation initiale selon les pourcentages suivants: réserves en C et N: 15%; teneurs en C et N: 10%; rapports C/N: 5%. Des échantillons mixtes, constitués par le calcul à partir des valeurs de respectivement 2 puis 5 échantillons unitaires non corrélés dans l'espace, permettent une réduction du nombre nécessaire d'échantillons de laboratoire, tout en diminuant les coefficients de variation des valeurs moyennes comparables et sans multiplier par plus de 3 le nombre des échantillons de terrain.

Les troubles provoqués à l'humus et à l'horizon minéral par la coupe rase au bout d'un an ne peuvent être quantifiés de façon sûre statistique que partiellement. Des recherches futures à l'aide d'échantillonnages unitaires ou mixtes plus petits devraient, en

renonçant à la distinction subjective des strates ou au procédé des gradients verticaux de teneur en C, permettre d'obtenir des données de base d'une meilleure qualité pour les comparaisons et les analyses statistiques. Par suite et en premier lieu il faut estimer le nombre d'échantillons de laboratoire nécessaire pour des risques acceptés d'erreurs de 1ère et 2ème espèce

R. K.

8. Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Förderung des Projekts ME 2078/1-1 seitens der Deutschen Forschungsgemeinschaft und die wertvollen Anmerkungen der Gutachter.

9. Literaturverzeichnis

- AKSELSSON, C., B. BERG, V. MEENTENMEYER and O. WESTLICH (2005): Carbon Sequestration Rates in Organic Layer of Boreal and Temperate Forest Soils – Sweden as a Case Study. *In: Global Ecology and Biogeography* **14**. H. 1, S. 77–84.
- BATJES, N. H. (1996): Total Carbon and Nitrogen in the Soils of the World. *In: European Journal of Soil Science* **47**. H. 2, S. 151–163.
- BEESE, F., M. CHODAK und B. LUDWIG (2004): Ermittlung der flächenhaften Verteilung der Humusmengen und -qualitäten. *In: FZW [Forschungszentrum Waldökosysteme] Göttingen: Indikatoren und Strategien für eine nachhaltige, multifunktionelle Waldnutzung – Fallstudie Waldlandschaft Solling – Teil 2: Ausführliche Teilvorhabenberichte. S. 25–53; Göttingen.*
- BMELF [Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten] (1994): Bundesweite Bodenzustandserhebung im Wald (BZE) – Arbeitsanleitung. Bonn.
- BURSCHEL, P., E. KÜRSTEN, B. C. LARSON and M. WEBER (1993): Present Role of German Forests and Forestry in the National Carbon Budget and Options to its Increase. *In: Water, Air and Soil Pollution* **70**. H. 3, S. 325–340.
- CARTER, M. C., T. J. DEAN, M. ZHOU, M. G. MESSINA and Z. WANG (2002): Short-Term Changes in Soil C, N and Biota Following Harvesting and Regeneration of Loblolly Pine (*Pinus taeda* L.). *In: Forest Ecology and Management* **164**. H. 1, S. 67–88.
- ELLENBERG, H., R. MAYER und J. SCHAUERMANN (1986): Ökosystemforschung – Ergebnisse des Sollingprojektes 1966–1986. Stuttgart.
- FEDERER, C. A. (1982): Subjectivity in the Separation of Organic Horizons of the Forest Floor. *In: Soil Science Society of America Journal* **46**. H. 5, S. 1.090–1.093.
- FISCHER, H., O. BENS und R. F. HÜTTL (2002): Veränderung von Humusform, -vorrat und -verteilung im Zuge von Waldumbau-Maßnahmen im Nordostdeutschen Tiefland. *In: Forstwissenschaftliches Centralblatt* **121**. H. 6, S. 322–334.

- HEINSDORF, D., H. KRAUSS und H. TÖLLE (1986): Entwicklung der C- und N-Vorräte nach Kahlschlag auf ärmeren anhydromorphen Sandböden unter Kiefer. *In: Beiträge für die Forstwirtschaft* **20**. H. 1, S. 8–13.
- HUNTINGTON, T. G., D. F. RYAN and S. P. HAMBURG (1988): Estimating Soil Nitrogen and Carbon Pools in a Northern Hardwood Forest Ecosystem. *In: Soil Science Society of America Journal* **52**. H. 4, S. 1.162–1.167.
- JANSEN, M., M. CHODAK, J. SABOROWSKI und F. BEESE (2005): Erfassung von Humusmengen und -qualitäten in organischen Auflagen in Rein- und Mischbeständen von Buchen und Fichten unterschiedlichen Alters. *In: Allgemeine Forst- und Jagdzeitung* **176**. H. 9/10, S. 176–186.
- JOHNSON, D. W. (1992): Effects of Forest Management on Soil Carbon Storage. *In: Water, Air and Soil Pollution* **64**. H. 1, S. 83–120.
- KÖNIG, N. und H. FORTMANN (1999): Probenvorbereitungs-, Untersuchungs- und Elementbestimmungsmethoden des Umweltanalytiklabors der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, 1. Ergänzung: 1996–1998, Teil 3 – Untersuchungs- und Probenvorbereitungsmethoden, Gerätekurzanleitungen, Qualitätskontrolle, Datenverarbeitung. *In: Berichte des Forschungszentrums Waldökosysteme, Reihe B*, **60**. Göttingen.
- LENTH, R. V. (2001): Some Practical Guidelines for Effective Sample Size Determination. *In: The American Statistician* **55**. H. 3, S. 187–193.
- LISKI, J. (1995): Variation in Soil Organic Carbon and Thickness of Soil Horizons within a Boreal Forest Stand – Effect of Trees and Implication for Sampling. *In: Silva Fennica* **29**. H. 4, S. 255–266.
- LLOYD, F. T. and W. H. MCKEE (1983): Replications and Subsamples Needed to Show Treatment Responses on Forest Soils of the Coastal Plain. *In: Soil Science Society of America Journal* **47**. H. 3, S. 587–590.
- MOSIER, A. R. (1998): Soil Processes and Global Change. *In: Biology and Fertility of Soils* **27**. H. 3, S. 221–229.
- NYKVIST, N. (1977): Changes in the Amounts of Inorganic Nutrients in the Soil after Clear-Felling. *In: Silva Fennica* **11**. S. 224–229.
- RUARK, G. A. and S. J. ZARNOCH (1992): Soil Carbon, Nitrogen and Fine Root Biomass Sampling in a Pine Stand. *In: Soil Science Society of America Journal* **56**. H. 6, S. 1.945–1.950.
- RYAN, D. F., T. G. HUNTINGTON and C. W. MARTIN (1992): Redistribution of Soil Nitrogen, Carbon and Organic Matter by Mechanical Disturbance during Whole-Tree Harvesting in Northern Hardwood. *In: Forest Ecology and Management* **49**. H. 1–2, 87–99.
- YANAI, R. D., S. V. STEHMAN, M. A. ARTHUR, C. E. PRESCOTT, A. J. FRIEDLAND, T. G. SICCAMA and D. BINKLEY (2003): Detecting Change in Forest Floor Carbon. *In: Soil Science Society of America Journal* **67**. H. 5, S. 1.583–1.593.
- ZAR, J. H. (1999): *Biostatistical Analysis*. 4. Aufl., Upper Saddle River.
- ZEZSCHWITZ, E. V. (1985): Qualitätsänderung des Waldhumus. *In: Forstwissenschaftliches Centralblatt* **104**. H. 3, S. 205–220.

Wirkung von Larvenkot verschiedener Lepidopteren nach Fraß an Kiefer auf das Höhen- und Durchmesserwachstum von jungen Kiefern, Birken und Eichen¹⁾

Aus dem Institut für Forstzoologie und Forstschutz der Universität Göttingen

(Mit 4 Abbildungen und 1 Tabelle)

Von P. JUNG

(Angenommen Februar 2007)

SCHLAGWÖRTER – KEY WORDS

Larvenkot; Insektenfraß; Wurzelhalsdurchmesser; Höhenwachstum. *Insectfrass; insect damage; root crown diameter; growth in height.*

1. EINLEITUNG

Im nord- und nordostdeutschen Flachland haben die im 19. Jahrhundert durchgeführte Wiederbestockung degradiertes Heidestand-

orte, der Übergang von der Plenterwirtschaft zur Kahlschlagwirtschaft und Pflanzung von Sämlingen sowie umfangreiche Nachkriegsaufforstungen in der Mitte des 20. Jahrhunderts zu großflächigen, gleichaltrigen Kiefernreinbeständen geführt (HEYDER, 1986; OTTO, 1989; KREMSER, 1990). Sie dienen vielen Insektenarten als Nahrungsgrundlage. Insbesondere Kieferneule (*Panolis flammea* L.), Kiefernspanner (*Bupalus piniarius* L.), Kiefernspinner (*Dendrolimus pini* L.) und Nonne (*Lymantria monacha* L.) neigen in diesen Beständen zu Massenvermehrungen (SCHWERDFEGER, 1981; KLIMETZEK, 1992). Grundlage für die Massenvermehrung phytophager Insekten sind bei großflächig ähn-

¹⁾ Die Durchführung der Arbeit wurde ermöglicht durch finanzielle Zuwendungen der Deutschen Forschungsgemeinschaft.