Ber. naturhist. Ges. Hannover	126	153 – 172	Hannover 1983

Zum Einfluß des Fichtenreinanbaus auf Morphologie, C/N-Verhältnis, C- und N-Mengen sowie pH-Wert des Humuskörpers ehemaliger *Luzulo-Fagetum*-Böden des Deisters

von

HANS MÖLLER und DORIS PRÜSSMANN

mit 1 Abbildung und 8 Tafeln

Z u s a m m e n f a s s u n g : Untersucht wurden einige Veränderungen, die durch den Fichtenreinanbau im Humuskörper ehemaliger Luzulo-Fagetum-Böden des Wealden-Sandstein-Gebiets des Deisters bewirkt worden sind. Vergleichsbasis waren jeweils unmittelbar nebeneinander stockende etwa gleichaltrige Buchenbestände und Fichtenpflanzungen erster Generation. Im Untersuchungsgebiet hat die Fichtenmonokultur die organischen Auflagen verstärkt, den A_{eh}-Horizont vermindert und das C/N-Verhältnis des Bodens erweitert. Die im gesamten Humuskörper und speziell in den organischen Auflagen akkumulierten Kohlenstoffmengen sind durch den Einfluß der Fichte vergrößert worden. Gleichzeitig haben die in den Auflagen angereicherten Stickstoffmengen zugenommen, während im A_{eh}-Horizont eine Verringerung der N-Mengen eingetreten ist. Im Bereich der Fichte ist die Bodenversauerung etwas stärker als unter der Buche, jedoch ist dieser Unterschied nicht signifikant.

S u m m a r y : Studies concerning the influence of spruce plantation on morphology, C/N ratios, carbon and nitrogen quantities and pH values of the humus in former Luzulo-Fagetum soils of the Deister Hills. – Some pedological changes caused by the Norway spruce (Picea abies (L.) H. KARSTEN) planted in former beech forest soils of the Deister Hills (south of Hanover, F.R.G.) were investigated. Soil conditions were studied where beech forest and first generation spruce plantation grew adjacent to one another. The source material of the soils is Wealden sandstone overlaid by loess. The spruce plantation was shown to increase the thickness of the O horizon, to reduce the thickness of the A_1 horizon and to increase the C/N ratio of the soil. Compared with beech forest, the quantity of carbon in the spruce plantation soil has increased, especially in the O horizon. Simultaneously, the quantity of nitrogen accumulated in the O horizon has increased, whereas there has been a decrease of nitrogen in the A_1 horizon.

1. Problemstellung

Ob und gegebenenfalls wie an die Stelle ursprünglichen Laubwaldes gesetzte Fichtenmonokulturen den Boden beeinflussen, ist eine in der Literatur des öfteren diskutierte Frage. Im folgenden soll dargelegt werden, wie der Reinanbau der Fichte (Picea abies (L.) H. KARSTEN) im Wealden-Sandstein-Gebiet des südlich von Hannover gelegenen Deisters den morphologischen Aufbau, die C/N-Quotienten, die Kohlenstoff- und Stickstoffmengen sowie die pH-Werte des Humuskörpers gegenüber jenen Verhältnissen verändert, die unter dem dortigen autochthonen Hainsimsen-Buchenwald (Luzulo-Fagetum) gegeben sind. Zwar liegen bereits aus anderen Gebieten einige Untersuchungen zum Einfluß der Fichte auf ehemalige Laubholzböden vor, doch lassen sich diese Befunde nicht a priori auf unseren Raum übertragen, da Richtung und Intensität der durch die Fichte bewirkten Bodenveränderungen stets in Beziehung zu den jeweiligen geologisch-pedologischen Gegebenheiten sowie zu den klimatischen Verhältnissen gesehen werden müssen. Hinzu kommt, daß die publizierten Ergebnisse nicht immer vergleichbaren Fichten- und Buchenflächen entstammen, da primäre Standortunterschiede häufig nicht beachtet wurden (vgl. u.a. die diesbezügliche Diskussion bei GENSSLER 1959). Im übrigen ist die Anzahl der zum anstehenden Fragenkomplex bisher durchgeführten Untersuchungen begrenzt, so daß die vorliegenden Analysen auch allgemein zur Klärung des "Fichtenproblems" beitragen können.

2. Der Untersuchungsraum

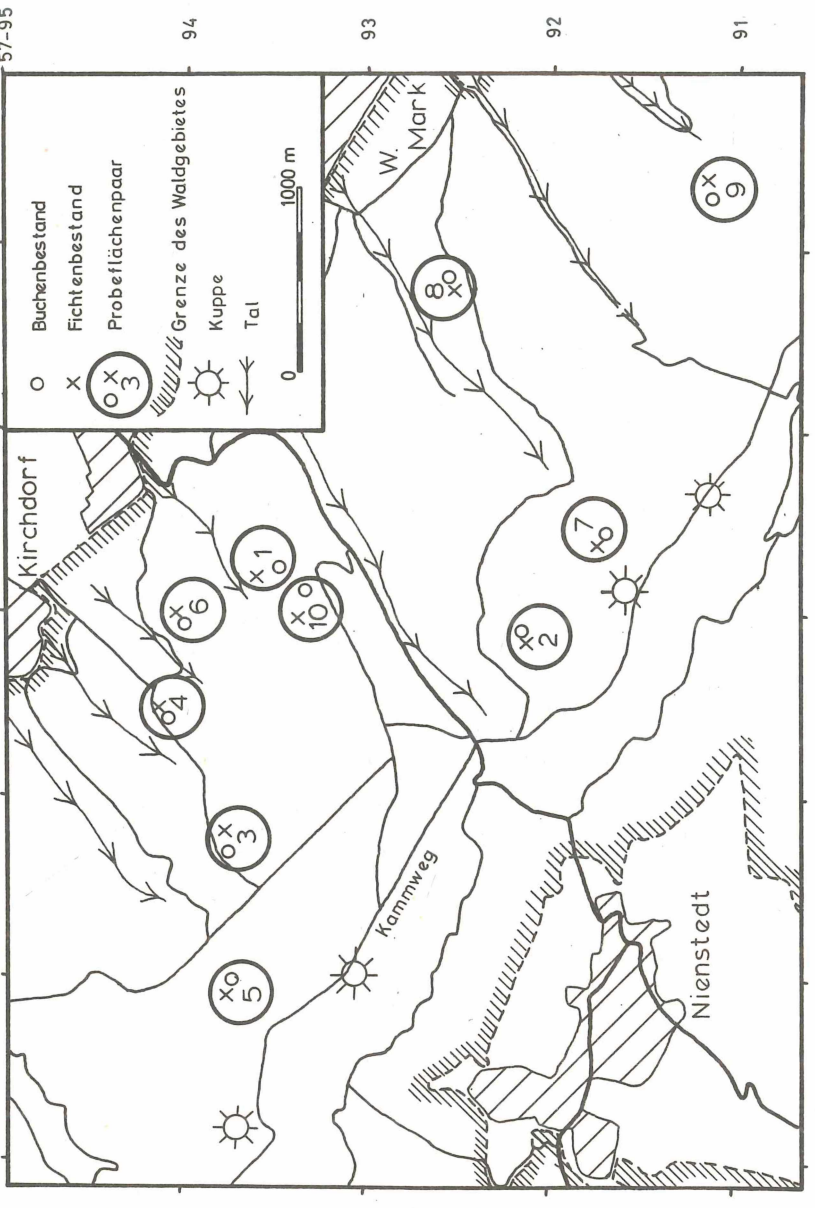
2.1. Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet (USG) befindet sich an der nach Nordosten abfallenden Flanke des Deisters ca. 180 bis 380 m über NN und wird in etwa durch die Linie Wennigser Mark - Kammweg - Kirchdorf begrenzt (Abb. 1).

2.2. Ausgangsgestein und Böden

Das Ausgangsgestein ist ein Wealden-Sandstein mit Lößauflagen unterschiedlicher Mächtigkeit. Bei einigen Probeflächen wurden im Lockermaterial bis an die Bodenoberfläche 50 % hohe Anteile an Sandstein beobachtet, während bei anderen Flächen eine Skelettbeimengung fehlte oder erst in tieferen Schichten anzutreffen war. Die Bodenart ist einheitlich toniger Schluff. Ob und in welchem Ausmaß dieses Schluffmaterial im Einzelfall auf Verwitterung des Sandsteins oder auf Lößablagerung zurückgeht, wurde nicht untersucht.

In den Böden der Flächenpaare 1 bis 9 durchdringen sich Braunerde- und Podsol-Merkmale, wobei der Braunerde-Charakter überwiegt. Der unter den organischen Auflagen vorhandene dunkelgraue bis schwarze humose Mineralbodenhorizont weist stets gebleichte Quarzkörner auf. Auf diesen A_{eh} folgt meist ein 1 bis 4,5 cm starker hellgrauer, oft violettstichiger A_e-Horizont. Im Regelfall ist unter dem A_e ein B_{hs} in Gestalt eines 1 bis 6 cm breiten kaffeebraunen, dunkelbraunen oder schwarzbraunen Bandes nachweisbar, das sich deut-



Kartengrundlage: TK 1:25000 3722, 3723

Abb. 1: Untersuchungsgebiet mit Lage der Flächenpaare

Tab. 1 Aufnahmepunkte der Bodenprofile nach der Topographischen Karte 1 : 25 000 und bodentypologische Einheiten

Flächenpaar	Bestandesart	Aufnahmepunkt	bodentypologische Einheit
1	Buche	r 35 33 250, h 57 93 480	Podsol-Braunerde
	Fichte	r 35 33 220, h 57 93 620	Podsol-Braunerde
2	Buche	r 35 32 900, h 57 92 150	podsolige Braunerde
	Fichte	r 35 32 840, h 57 92 125	podsolige Braunerde
3	Buche	r 35 31 700, h 57 93 750	Podsol-Braunerde
	Fichte	r 35 31 810, h 57 93 760	podsolige Braunerde
4	Buche	r 35 32 385, h 57 94 100	Podsol-Braunerde
	Fichte	r 35 32 475, h 57 94 140	Podsol-Braunerde
5	Buche	r 35 31 000, h 57 93 720	Podsol-Braunerde
	Fichte	r 35 30 900, h 57 93 760	Podsol-Braunerde
6	Buche	r 35 32 930, h 57 94 000	podsolige Braunerde
	Fichte	r 35 33 020, h 57 94 040	Podsol-Braunerde
7	Buche	r 35 33 450, h 57 92 700	podsolige Braunerde
	Fichte	r 35 33 375, h 57 91 750	Podsol-Braunerde
8	Buche	r 35 34 825, h 57 92 575	podsolige Braunerde
	Fichte	r 35 34 775, h 57 92 550	podsolige Braunerde
9	Buche	r 35 35 275, h 57 91 165	podsolige Braunerde
	Fichte	r 35 35 380, h 57 91 175	podsolige Braunerde
10	Buche	r 35 33 125, h 57 93 335	Braunerde-Pseudogley
	Fichte	r 35 32 975, h 57 93 360	Pseudogley-Braunerde

lich vom darunterliegenden B_v abhebt. In den Profilen des Flächenpaares 2 durchdringen sich in einer Breite von 3 bzw. 8 cm Merkmale der Verbraunung und der Podsolierung (B_{hsv}). Der in 5 bis 15 cm unter der Mineralbodenoberfläche anstehende B_v-Horizont zeigt eine gleichmäßige gelb- bis mittelbraune Färbung. In Anlehnung an die Kartieranleitung der ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE (1971) sprechen wir bei Vorhandensein eines A_e von 3 und mehr cm Mächtigkeit von einer Podsol-Braunerde, bei einem A_e von <3 cm oder fehlendem A_e von einer podsoligen Braunerde. Im Flächenpaar 10 treten neben der Verbraunung des Bodens Pseudogleymerkmale auf. Unter Buche ergab sich die Horizontfolge A_{eh} - S - (S) B_v - C (S = 26 cm), unter Fichte registrierten wir die Abfolge A_{eh} - S - B_v - C (S = 10 cm). Die jeweilige Stärke von A_{eh}, A_e und B_{hs} geht aus Tabelle 2 hervor. Die Ansprache der Bodentypen in den Flächenpaaren ist Tabelle 1 zu entnehmen. Zur Humusform vgl. 4.2.

3. Untersuchungsmethoden

3.1. Auswahl der Probeflächen

Nach GENSSLER (1959, S. 7) werden bei der Untersuchung des Einflusses der Fichtenkultur auf ehemalige Laubholzböden Fehlerquellen "mit ziemlicher Sicherheit" ausgeschaltet, wenn man die "räumliche Nachbarschaft der Probebestände sowie Gleichheit der Geländeausformung, des Vegetationstyps und der Baumartenleistung" beachtet. Diese Voraussetzungen dürften bei den vorliegenden Analysen weitgehend erfüllt sein. Die Untersuchungen wurden jeweils im Bereich eines ca. 80 bis 130 Jahre alten Buchenbestandes und einer etwa gleichaltrigen, unmittelbar daneben stockenden Fichtenpflanzung erster Generation vorgenommen. Innerhalb eines Flächenpaares wichen der Lichteinfall auf den Boden sowie die Artenkombination und der Deckungsgrad der Krautschicht nur unwesentlich voneinander ab. Auch die jeweilige Geländeausformung war einheitlich. Wie Tab. 1 zeigt, bestehen nur in einzelnen Parallelflächen geringe bodentypologische Unterschiede. Pro Untersuchungsfläche wurde ein Bodeneinschlag zur Beurteilung des Bodenprofils und zur Entnahme der Bodenproben vorgenommen. Diese Untersuchungen erfolgten in der Zeit vom 12. bis 25. 9. 1979.

3.2.. Typologische Ansprache des Bodentyps sowie der Bodenhorizonte:

nach ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE (1971)

3.3. Zahlenmäßige Erfassung der Humusform:

Die Umsetzung der morphologischen Erscheinungsform des Humuskörpers eines Bodenprofils in einen für statistische Operationen verwendbaren Zahlenwert geschah mittels des von MÖLLER (1981) entwickelten "Humusformindex" (I_{hf}). Dieser wird folgendermaßen berechnet:

$$I_{hf} = \frac{A_h{}^{1)}\ (cm)}{(A_h{}^{1)} + O_h + O_f)\ (cm)}\ .$$

$^{1)}$ bzw. A_{eh}

3.4. Bestimmung des Bodenvolumengewichts:

Entnahme der Probe am gewachsenen Boden mit 100-ml-Stahlblechzylindern von 4 cm Höhe und Bestimmung des Trockensubstanzgehalts nach Trocknung der Probe an der Luft.

Bei 0_h- und A_{eh}-Horizont von <4 cm Mächtigkeit wurde das Volumengewicht indirekt aus dem C-Gehalt nach der folgenden Formel erschlossen, der zehn Proben von 0_h- und A_{eh}-Material aus Lößauflagen des Deisters zugrundelegen:

$$\log [\text{Volumengewicht (g/100 ml)}] = - 0{,}018\ C\ (\%) + 1{,}977$$
$$r = - 0{,}98^{+++}$$
$$B = 96\ \%.$$

War die 0_f-Lage <4 cm stark, so wurde der für >4 cm mächtige 0_f-Lagen erhaltene Mittelwert eingesetzt, was bei den relativ geringen Standardabweichungen zu verantworten ist:

0_f (cm) unter Buche: $\bar{x} \pm s = 9{,}30 \pm 0{,}27$, $n = 4$

0_f (cm) unter Fichte: $\bar{x} \pm s = 9{,}76 \pm 1{,}41$, $n = 5$.

3.5. Bestimmung des C-Gehalts:

durch nasse Veraschung nach der Lichterfelder Methode.

Im folgenden werden relative Unterschiede des C-Gehalts des Bodens mit relativen Unterschieden des "Gehalts an organischer Substanz" bzw. des "Humusgehalts" gleichgesetzt. Dabei sind wir uns bewußt, daß eine völlige Übereinstimmung von "organischer Substanz des Bodens" und "Humus" nicht gegeben ist, da erstere auch Bodenorganismen umfaßt.

3.6. Bestimmung des organisch gebundenen Stickstoffs:

nach KJELDAHL.

3.7. Bestimmung des pH-Werts:

am naturfeuchten Boden am Tag nach der Probenahme unter Zusatz von 0,01 m $CaCl_2$-Lösung (Verhältnis Boden : Lösung = 1 : 2,5) in überstehender Flüssigkeit mit einem WTW-pH-Meter Type 56.

Die unter 3.5. und 3.6. angeführten Analysen erfolgten an lufttrockenem, mit der Kugelmühle homogenisierten Material.

3.8. Die statistischen Verfahren richten sich nach RENNER (1970). Zur Überprüfung der durch die Fichtenkultur bewirkten Veränderung eines Bodenfaktors wurde für jedes Flächenpaar die entsprechende Differenz Fichtenbestand - Buchenwald berechnet und dann getestet, ob das arithmetische Mittel aus sämtlichen Differenzen signifikant von 0 abweicht (vgl. RENNER 1970, 4.5.2.).

Da nicht die jeweiligen Mittelwerte für Buchenwald und Fichtenforst, sondern die sich für die Flächenpaare ergebenden Unterschiede miteinander verglichen wurden, andererseits aber die Höhe der Ausgangsdaten von Interesse ist, wurden ebenfalls diese Ausgangswerte aufgeführt.

Die verwandten statistischen Symbole bedeuten:

$\bar{x}$ = arithmetisches Mittel

s = Standardabweichung

r = Korrelationskoeffizient

$B (= r^2)$ = Bestimmtheitsmaß

P = Überschreitungswahrscheinlichkeit

n = Anzahl der Stichproben.

Die Prüfung eines Befundes auf Signifikanz erfolgt auf dem 5 %-Niveau. Die Kreuze hinter den Korrelationskoeffizienten bzw. hinter den t-Werten geben den Signifikanzgrad an:

+++ $P \leq 0{,}1$ %
++ $P \leq 1$ %
+ $P \leq 5$ %
- $P > 5$ % (nicht signifikant).

4. Ergebnisse und Diskussion

4.1. Morphologie des Humuskörpers

Von zentraler Bedeutung für die Beurteilung eines Standorts ist dessen biologische Aktivität. Diese entscheidet über das Ausmaß der aus den Vegetationsrückständen bzw. aus der Humussubstanz freigesetzten pflanzenverfügbaren Nährstoffe. Die "biologische Aktivität des Bodens" kann nach MÖLLER (1981) unter einem qualitativen und einem quantitativen Aspekt betrachtet werden:

1. qualitativ als "die Geschwindigkeit der im Boden ablaufenden biochemischen Umsetzungen";

2. quantitativ als "der Umfang der unter einer definierten Bodenoberfläche pro Zeiteinheit ablaufenden biochemischen Umsetzungen".

Ein Ausdruck der im qualitativen Sinne verstandenen biologischen Aktivität ist das morphologische Erscheinungsbild des Humus. Verlaufen die biochemischen Abbau- und Umbauprozesse langsam, so reichern sich auf dem Mineralkörper organische Auflagen an, was zu den Humusformen Rohhumus und Moder führt. Bei rasch ablaufenden biochemischen Umsetzungen hingegen fehlen organische Auflagen mit Ausnahme einer vorübergehenden O_l-Lage, und es entsteht die Humusform Mull. Eine Verschlechterung der Humusqualität ist im Regelfall mit einer verringerten Mächtigkeit des A_h- bzw. des A_{eh}-Horizonts verbunden. Wie aus Tabelle 2 hervorgeht, ist im USG die Gesamtstärke der organischen Auflagen ($O_f + O_h$)[1] unter der Fichtenkultur signifikant höher als unter dem Luzulo-Fagetum. Darüber hinaus wurde unter der Buche nur in sechs der zehn Profile eine O_h-Lage nachgewiesen, während diese unter sämtlichen untersuchten Fichtenbeständen vorlag. Nur im Bereich des Fichtenforstes ließ sich der O_h in Stücke brechen, was die offensichtliche Folge einer Verwebung des Fichtenhumus durch Pilzhyphen ist. Parallel zur Verstärkung der organischen Auflagen hat sich unter der Fichte der A_{eh}-Horizont signifikant verringert. Die Tendenz der Fichte, die organischen Auflagen des Bodens zu verstärken und den A_{eh}-Horizont zu vermindern, wird auch eindrücklich durch die Humusformindices wiedergegeben. Der I_{hf} liegt im Bereich der Fichte signifikant niedriger als im Luzulo-Fagetum (vgl. Tab. 2). Eine unter sekundären Fichtenbeständen im Vergleich zum ursprünglichen Rotbuchen- bzw. Laubwald verstärkte Bildung

1) Die O_l-Lagen blieben bei den vorliegenden Untersuchungen unberücksichtigt, da sie im Jahresverlauf stärker schwanken und aus ihnen noch keine nennenswerten Nährstoffmengen freigesetzt werden.

Tab. 2 Horizontmächtigkeiten und Humusformindices

	Horizontmächtigkeit (cm)								Humusformindex	
	$O_f + O_h$		A_{eh}		A_e		B_{hs} (bzw. B_{hsv})			
Bestandesart	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi
Flächenpaar 1	8	8	3	1	3	3,5	4	3	0,27	0,11
" 2	3	6	2	2	0	0	3	8	0,40	0,25
" 3	6	5	2	3	4	1	5	3	0,25	0,38
" 4	6[1]	10	4	3	4,5	6	4	6	0,40	0,23
" 5	5	6	3	2	3	4	3	2	0,38	0,25
" 6	3,5	9	2	2	2,5	4	1	4	0,36	0,18
" 7	6	7	2	1	0	4	3	0	0,25	0,13
" 8	3[1]	5	3	3	2	0	4	5	0,50	0,38
" 9	3[1]	7	4	2	0	2,5	3	3	0,57	0,22
" 10	3[1]	5	4	2	(0	0)[2]	(0	0)[2]	0,57	0,29
Differenz Fichte–Buche ($\bar{x}$)	+ 2,15		− 0,8		+ 0,67[2]		+ 0,44[2]		− 0,153	
t-Wert	$3,40^{++}$		$2,45^{+}$		$0,93^{-}$		$0,52^{-}$		$3,90^{++}$	

1) O_h nicht vorhanden

2) Flächenpaar 10 nicht in die Berechnung der mittleren Differenz einbezogen (keine Tendenz zur Ausbildung eines A_e bzw. B_{hs})

Tab. 3 C/N-Verhältnisse

Horizont	O_f		O_h		A_{eh}	
Bestandesart	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi
Flächenpaar 1	23,4	29,1	22,9	34,2	33,2	27,3
" 2	24,0	28,1	21,2	30,5	22,5	27,4
" 3	25,5	30,3	24,6	28,2	25,8	29,5
" 4	25,9	23,0	-[1)]	(32,2)	25,5	34,9
" 5	27,7	29,9	28,9	28,1	26,6	29,3
" 6	26,7	28,5	30,0	28,1	32,8	38,2
" 7	24,5	26,6	28,1	28,6	27,6	31,6
" 8	25,2	38,9	-[1)]	(32,3)	28,1	33,9
" 9	27,6	32,6	-[1)]	(35,7)	23,0	34,5
" 10	22,1	29,9	-[1)]	(27,5)	27,8	34,5
Differenz Fichte-Buche ($\bar{x}$)	+ 4,43		+ 3,66		+ 4,82	
t-Wert	$3,22^{+}$		$1,63^{-}$		$3,30^{++}$	

1) O_h nicht vorhanden

organischer Auflagen sowie eine Verminderung des $A_{(e)h}$-Horizonts registrierten u.a. auch GENSSLER (1959) in verschiedenen deutschen Mittelgebirgen, BENECKE und BABEL (1969) in Parabraunerden und Pseudogleyen des Neckarlandes, MIEHLICH (1970 und 1971) in Löß-lehm-Pseudogleyen des Alpenvorlandes sowie NIHLGÅRD (1971) in Südschweden und B. ULRICH et al. (1971) im Solling. Der A_e und der B_{hs} sind im USG unter Fichte nicht signifikant von den entsprechenden Horizonten unter Buche verschieden.

4.2. C/N-Verhältnis

Eine analytische Kenngröße zur Ansprache der Humusform bzw. der Humusqualität ist das C/N-Verhältnis (vgl. u.a. MÜLLER 1956, WITTICH 1963, CZERNEY 1966, HOFMANN 1968, v. ZEZSCHWITZ 1968 und 1980, KOPP und Mitarb. 1969, ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE 1971). Dabei wird bei Mull und Mullartigem Moder vom C/N-Quotienten des A_h, bei Moder und Rohhumus i.a. von dem des O_h ausgegangen. Im USG ist das C/N-Verhältnis unter der Fichtenkultur sowohl im O_f als auch im A_{eh} signifikant größer als unter dem Luzulo-Fagetum (vgl. Tab. 3). Damit besteht die eindeutige Tendenz, daß sich die Humusform unter dem Einfluß der Fichte verschlechtert. Legt man die durch v. ZEZSCHWITZ (1980) angegebene Beziehung zwischen dem C/N-Verhältnis und der Humusform zugrunde, so ist die Humusform unter dem Luzulo-Fagetum des USG im Mittel als Feinhumusreicher bis Rohhumusartiger Moder einzustufen, während sich unter der Fichte bereits ein Rohhumusartiger Moder bis Rohhumus entwickelt hat (Tab. 4).

Tab. 4 Mittlere C/N-Verhältnisse im O_h und A_{eh} ($\bar{x} \pm s$)

		Buche	Fichte	t-Wert für Differenz Fichte - Buche
O_h	n	6	10	
	C/N	$26{,}0 \pm 3{,}6$	$30{,}5 \pm 2{,}9$	$2{,}60^{+}$
A_{eh}	n	10	10	
	C/N	$27{,}3 \pm 3{,}6$	$32{,}1 \pm 3{,}6$	$2{,}98^{++}$

Eine durch die Fichte bedingte Vergrößerung der C/N-Verhältnisse bzw. Verminderung des N-Gehalts der organischen Substanz des Bodens fanden auch GENSSLER (1959), EVERS (1969) und B. ULRICH et al. (1971). Mehrere Autoren, z.B. ZÖTTL (1960), CZERNEY (1966) und MIEHLICH (1971) stellten eine deutliche Verringerung des C/N-Quotienten auf dem Wege von den organischen Auflagen zum humosen Mineralboden fest. Im USG sind jedoch die C/N-Verhältnisse des A_{eh} gegenüber denen der O_f- und O_h-Lagen, wie Tab. 3 zeigt, nicht durchgehend verkleinert. Dieser Befund dürfte dadurch bedingt sein, daß in podsoligen Bö-

den zumindest ein Teil des im humosen Oberboden akkumulierten Humus eingewaschen ist. Nach SCHLICHTING (1960) werden bevorzugt stickstoffarme Huminstoffe durch das Sickerwasser verlagert. EVERS (1967) gibt an, daß das C/N-Verhältnis des Bodens in dem berücksichtigten Gebiet in Baden-Württemberg die Ernährungssituation des Waldes kennzeichnet. Es dürfte jedoch nicht zulässig sein, eine allgemeingültige Koinzidenz von C/N-Quotient und Nährstoffangebot ("Trophie") des Bodens vorauszusetzen. Die Freisetzung von pflanzenverfügbaren Nährstoffen aus dem Humuskörper ist nicht nur eine Funktion der Humusqualität, sondern auch der Humusquantität. Daher kann ein Humuskörper mit einem weiten C/N-Verhältnis und hoher Humusmenge ein gleiches oder sogar höheres Nährstoffangebot aufweisen als ein anderer mit einem engen C/N-Verhältnis, aber geringer Humusmenge. Da die Beziehung zwischen Humusqualität und Humusmenge von Standort zu Standort wechseln kann, ist es problematisch, die für ein Gebiet A erhaltene Koinzidenz zwischen C/N-Quotient und Nährstoffangebot eo ipso auf ein Gebiet B zu übertragen.

4.3. Kohlenstoff- und Stickstoffmengen

Aus Tabelle 5 ist zu ersehen, daß unter Fichte pro Flächeneinheit in den organischen Auflagen als auch im gesamten Humuskörper signifikant höhere C-Mengen akkumuliert sind als unter der Buche. Eine durch die Fichte in ehemaligen Buchenwaldböden verursachte starke Zunahme der C-Mengen der organischen Auflagen wiesen ebenfalls B. ULRICH et al. (1971) im Solling nach. Während diese Autoren unter Fichte gleichfalls in den obersten 10 cm des humosen Mineralbodens ein signifikantes Ansteigen der C-Mengen ermittelten, ist eine solche Tendenz im A_{eh} unserer Fichtenböden nicht zu erkennen.

Eine Folge der durch die Fichte bewirkten verstärkten Anhäufung von organischer Substanz im bzw. auf dem Boden besteht darin, daß die Mengen an organisch gebundenem Stickstoff in den Fichtenkulturen trotz der dort vergrößerten C/N-Verhältnisse nicht niedriger lagen als im Luzulo-Fagetum (Tab. 6, $O_f + O_h + A_{eh}$). In den organischen Auflagen sind unter Fichte sogar signifikant höhere N-Mengen angereichert als unter der Buche (vgl. Tab. 6), wie dies auch B. ULRICH et al. (1971) im Solling feststellten. Diese Autoren haben jedoch die O_l-Lage in ihre Berechnungen einbezogen.

Dieser Befund schließt nicht aus, daß im USG von den O_f- und O_h-Lagen des Fichtenforstes pro Zeit- und Flächeneinheit größere Mengen an pflanzenverfügbarem Stickstoff (NH_4^+ und NO_3^-) angeboten werden, als dies in den entsprechenden Auflagen unter der Buche der Fall ist. Erwähnt sei, daß KRIEBITZSCH (1978) für O_f- und O_h-Lagen saurer Waldböden Nordwestdeutschlands eine relativ enge Korrelation zwischen den im Brutversuch mineralisierten Stickstoffmengen (N_{min}) und Gesamt-N (N_t) der Probe ermittelte (r für $N_t : N_{min}$ = 0,70; r für C/N : N_{min} hingegen lediglich - 0,51). Ferner sprechen Pflanzenanalysen dafür, daß im USG das Angebot an für die Höhere Pflanze aufnehmbarem Stickstoff zumindest in den

Tab. 5 Kohlenstoffmengen (kg/ha)

Horizont(e)	$O_f + O_h$		A_{eh}		$O_f + O_h + A_{eh}$	
Bestandesart	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi
Flächenpaar 1	39 900	51 600	24 100	16 700	64 000	68 300
" 2	16 000	29 900	14 200	13 100	30 200	43 000
" 3	31 200	23 600	10 800	21 200	42 000	44 800
" 4	25 100	50 400	30 500	16 000	55 600	66 400
" 5	26 000	38 200	26 400	14 900	52 400	53 100
" 6	16 700	48 300	15 100	15 400	31 800	63 700
" 7	37 600	44 000	12 600	17 700	50 200	61 700
" 8	12 700	26 400	22 900	17 600	35 600	44 000
" 9	13 100	43 300	20 600	19 200	33 700	62 500
" 10	11 600	27 100	18 200	8 600	29 800	35 700
Differenz Fichte–Buche ($\bar{x}$)	+ 15 290		- 3 500		+ 11 790	
t-Wert	$4{,}16^{++}$		$1{,}44^{-}$		$3{,}53^{++}$	

Tab. 6 Mengen an organisch gebundenem Stickstoff (kg/ha)

Horizont(e)	$O_f + O_h$		A_{eh}		$O_f + O_h + A_{eh}$	
Bestandesart	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fl
Flächenpaar 1	1 480	1 630	720	610	2 200	2 240
" 2	640	1 070	630	480	1 270	1 550
" 3	1 240	810	420	720	1 660	1 530
" 4	980	1 520	1 200	460	2 180	1 980
" 5	950	1 350	1 000	510	1 950	1 860
" 6	520	1 410	460	400	980	1 810
" 7	1 340	1 500	460	560	1 800	2 060
" 8	450	790	820	520	1 270	1 310
" 9	570	1 240	900	560	1 470	1 800
" 10	420	840	660	250	1 080	1 090
Differenz Fichte–Buche ($\bar{x}$)	+ 357		- 220		+ 137	
t-Wert	$3{,}19^{+}$		$2{,}31^{+}$		$1{,}43^{-}$	

organischen Auflagen unter Fichte höher ist als unter Buche (MÖLLER Mskr.). Im A_{eh}-Horizont allerdings sind unter Buche signifikant höhere N-Mengen vorhanden als unter Fichte (vgl. Tab. 6). B. ULRICH et al. (1971) stellten im Solling für den Mineralboden die gleiche Tendenz fest, konnten diese aber nicht statistisch sichern.

Die ökologische Aussagekraft der hier vorgenommenen Bilanzierung der C- und N-Mengen ist dadurch etwas eingeschränkt, daß der A_e- und der B_{hs}-Horizont unberücksichtigt blieben. Diese Horizonte sind im USG aber nur schwach entwickelt, humusarm und, was im vorliegenden Zusammenhang bedeutsam ist, unter Buche und Fichte in ihrer Mächtigkeit nicht signifikant voneinander verschieden (vgl. Tab. 2).

4.4. Die pH-Werte

Nach Untersuchungen von SCHÖNHAR (1952), EVERS (1969), MIEHLICH (1971), B. ULRICH et al. (1971) u.a. hat der Ersatz der Buche durch die Fichte die Bodenazidität in den von ihnen untersuchten Gebieten deutlich verstärkt. Auch in unserem USG wurde unter Fichte gegenüber dem Bereich der Buche im O_h und A_{eh} eine erhöhte Versauerung registriert, jedoch ist diese nicht statistisch gesichert (vgl. Tab. 7).

Da die pH-Werte Logarithmen darstellen, ist es problematisch, diese direkt arithmetisch zu mitteln. Die pH-Zahlen wurden daher in "spezifische Aziditätswerte" (= g $H^+/10^7$ l H_2O; vgl. STEUBING 1965) umgerechnet. Die mittleren Differenzen der spezifischen Aziditätswerte von Buchen- und Fichtenflächen wurden alsdann auf Signifikanz überprüft. Die Berechnung des arithmetischen Mittels der Differenzen der spezifischen Aziditätswerte ist im vorliegenden Falle zulässig, da diese Differenzen in allen drei Horizonten Normalverteilung aufweisen.

Wenn die Fichte im USG die Bodenazidität nicht signifikant erhöht, dann dürfte dies darauf beruhen, daß bereits der Standort unseres Luzulo-Fagetum extrem versauert ist. Es muß auch bedacht werden, daß die Zufuhr einer H^+-Menge, die den pH-Wert eines Substrats z.B. von 2,8 auf 2,7 senkt, den pH-Wert eines schwach sauren bis alkalischen Substrats um einige Einheiten vermindert, so z.B. bei einem ursprünglichen pH von 7,0 auf 3,4!

4.5. Die Bodenvegetation

Durch die Fichte bedingte grundlegende Veränderungen der Bodenvegetation konnten im USG nicht beobachtet werden (vgl. Tab. 8). Allenfalls besteht die Tendenz, daß sich Galium harcynicum und Oxalis acetosella unter der Fichte verstärkt ausbreiten. Die vorliegenden Untersuchungen belegen somit, daß die Vegetation, zumindest aber die Bodenvegetation des Waldes, nicht in jedem Falle Standortunterschiede anzeigt. Die verschieden hohen Deckungs-

Tab. 7 pH($CaCl_2$)-Werte und mittlere Differenzen der spezifischen Aziditätswerte

Horizont	O_f		O_h		A_{eh}	
Bestandesart	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi
Flächenpaar 1	3,2	3,25	3,0	2,95	3,1	2,9
" 2	3,0	3,0	2,9	2,9	3,05	2,9
" 3	3,15	3,4	2,8	2,95	2,95	2,95
" 4	2,8	3,0	-[1]	(2,8)	2,75	2,95
" 5	2,95	3,1	3,0	2,7	2,9	2,7
" 6	3,0	2,8	3,05	2,8	2,8	2,9
" 7	3,0	3,1	2,8	2,8	2,9	3,05
" 8	3,35	3,0	-[1]	(2,9)	3,2	3,0
" 9	2,9	3,0	-[1]	(2,8)	3,15	2,8
" 10	3,0	3,4	-[1]	(3,0)	2,95	2,8
Differenz der spez. Azidität Fichte-Buche ($\bar{x}$)	- 1 210		+ 2 250		+ 1 920	
t-Wert	$0,94^-$		$1,04^-$		$1,19^-$	

1) O_h nicht vorhanden

Tab. 8

Vegetationsverhältnisse

Flächenpaar	1		4		6		9		3		2		10		7		8		5	
Bestandesart	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi	Bu	Fi
Höhe der Baumschicht (m)	30	30	25	25	22	25	23	25	30	25	20	20	21	20	22	22	20	24	20	20
Kronenschluß (%)	80	75	70	80	80	70	85	80	85	80	85	85	95	90	90	85	95	85	95	90
seitlicher Lichteinfall	+	+	+	(+)	+	–	+	+	+	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Vb der Krautschicht (%)	85	85	90	90	90	95	30	50	1	2	0	2	1	+	1	1	+	1	1	1
Vb der Moosschicht (%)	5	+	5	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Baumschicht:																				
V Fagus sylvatica	80		70		80		85		85		85		95		90		95		95	
Picea abies		75		80		70		80		80		85		90		85		85		90
Strauchschicht:																				
Betula pendula					3	2														
Sorbus aucuparia					1	+														
Larix decidua					1															
Frangula alnus						1														
Kraut- und Moosschicht:																				
Trennarten des Luzulo-Fagetum:																				
Avenella flexuosa	80	80	70	70	85	85	8	45	+	+		1		r						
Luzula luzuloides	1	+	2	+	2		20		+	+		1	+		+	+	+		+	
M Polytrichum formosum			5		5		5													
Übrige Arten:																				
Dryopteris carthusiana agg.	1	5	20	20	1	10	r	+	+	2		+	+		1	+	+	1		1
Galium harcynicum	1	10	1	25	1	10						+		+		+		+		
Oxalis acetosella	+	5	1	+		1		2												
Frangula alnus juv.		+		+	+	+				r										+
V Fagus sylvatica juv.	+		2		+														1	
Vaccinium myrtillus	+		5		5	5														

Digitalis purpurea			+			+			+	+
Sorbus aucuparia juv.	+			+		+				
Rubus idaeus			+			+		+		
Senecio sylvaticus			+			+				5

Außerdem kommen vor:

je zweimal: Picea abies juv. in Bu 4 = +, Fi 9 = +; Rubus fruticosus coll. in Fi 1 = +, Fi 9 = +; Hypnum cupressiforme in Bu 4 = +, Fi 4 = +; Stellaria media in Fi 4 = +, Fi 6 = r;

je einmal: in Bu 9 : TLV Carex pilulifera 1, Holcus mollis +, TLF M Dicranella heteromalla 5, Rumex acetosella 1, Galium aparine +, Poa annua r; in Bu 4: M Leucobryum glaucum +; in Bu 10: Athyrium filix-femina +; in Fi 1: Teucrium scorodonia +, Mycelis muralis r; in Fi 4: Epilobium angustifolium +; in Fi 6: Larix decidua juv. +; in Fi 10: Ilex aquifolium r; in Fi 7: Molinia caerulea +; in Fi 8: TLF M Mnium hornum 1.

Vb = Vegetationsbedeckung;
Bu = Luzulo-Fagetum;
Fi = Fichtenforst;
M = Moos;
juv. = Jungwuchs;

Deckungsgrade in Prozenten,
+ = ca. 0,33 %,
r = "rar" (<+);
Artnamen der Höheren Pflanzen nach EHRENDORFER (1973);

V = Fagion-Kennart,
TLF = Trennart des Luzulo-Fagetum gegen die übrigen Fagion-Assoziationen,
Trennarten des Luzulo-Fagetum nach EICHNER (1976).

grade der Bodenvegetation und insbesondere das unterschiedlich starke Auftreten von Avenella flexuosa sind die offensichtliche Folge einer unterschiedlichen Auflichtung der Baumbestände. Eine Abhängigkeit der Humusform, der Kohlenstoff- und der Stickstoffmengen oder des pH-Wertes vom Grad der Auflichtung der Bestände wurde nicht festgestellt.

5. Schluß

Die Fichte hat im USG die Humusqualität verschlechtert, gleichzeitig aber die Humusmengen vergrößert. Die vorliegenden Ergebnisse reichen jedoch nicht aus, um zu beurteilen, ob sie im Sandsteingebiet des Deisters das Nährstoffangebot des Bodens vermindert.

Den Herren vom Staatlichen Forstamt Deister sowie vom Klosterforstamt Wennigsen danken wir herzlich für die freundlichen Genehmigungen zur Entnahme von Bodenproben. Herrn St. STOCKMAR, Hannover, sei für die Reinzeichnung der Lageskizze herzlich gedankt.

6. Literatur

ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE DER GEOLOGISCHEN LANDESÄMTER UND DER BUNDESANSTALT FÜR BODENFORSCHUNG DER BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND (zit. als "ARBEITSGEMEINSCHAFT BODENKUNDE") (1971): Kartieranleitung, Anleitung und Richtlinien zur Herstellung der Bodenkarte 1 : 25 000, 2. Aufl., Hannover.

BABEL, U., K. KREUTZER, B. ULRICH, E. v. ZEZSCHWITZ und H. W. ZÖTTL (1980): Definitionen zur Humusmorphologie der Waldböden. - Z. Pfl.Ernährung, Bodenk. 143 (5), 564 - 568.

BENECKE, P., und U. BABEL (1969): Humusmorphologie und Bodengefüge; in: ARBEITSKREIS "FICHTE UND BODEN": Untersuchungen über die Auswirkungen des Fichtenreinanbaus auf Parabraunerden und Pseudogleye des Neckarlandes. Mitt. Ver. f. Forstl. Standortskde. u. Forstpflanzenzüchtg. 19, 81 - 89.

CZERNEY, P. (1966): Bodenkundlich-chemische Eigenschaften verschiedener Waldhumusformen unter besonderer Berücksichtigung des Fichtenhumus. - Diss. TU Dresden (Tharandt).

EHRENDORFER, F. (1973): Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas. 2. Aufl., Stuttgart.

EICHNER, H. (1976): Die Gesellschaften des Fagion sylvaticae im Weser-Leine-Bergland. Staatsexamensarb. TU Hannover (n.p.).

EVERS, F. H. (1967): Kohlenstoffbezogene Nährelementverhältnisse (C/N, C/P, C/K, C/Ca) zur Charakterisierung der Ernährungssituation in Waldböden. - Mitt. Ver. f. Forstl. Standortskde. u. Forstpflanzenzüchtg. 17, 69 - 76.

-- (1969): Chemische Untersuchung oberflächennaher Bodenbereiche; in: ARBEITSKREIS "FICHTE UND BODEN": Untersuchungen über die Auswirkungen des Fichtenreinanbaus auf Parabraunerden und Pseudogleye des Neckarlandes. - Mitt. Ver. f. Forstl. Standortskde. u. Forstpflanzenzüchtg. 19, 90 - 92.

GENSSLER, H. (1959): Veränderungen von Boden und Vegetation nach generationsweisem Fichtenanbau. - Diss. Hann.-Münden.

HOFMANN, G. (1968): Über Beziehungen zwischen Vegetationseinheit, Humusform, C/N-Verhältnis und pH-Wert des Oberbodens in Kiefernbeständen des nordostdeutschen Tieflandes. - Arch. Forstwes., 17, 845 - 855.

KOPP, D. und Mitarb. (1969): Ergebnisse der forstlichen Standortserkundung in der Deutschen Demokratischen Republik. - VEB Forstprojektierung Potsdam. Potsdam.

KRIEBITZSCH, W.-U. (1978): Stickstoffnachlieferung in sauren Waldböden Nordwestdeutschlands. - Scripta Geobot. 14.

MIEHLICH, G. (1970): Veränderung eines Lößlehm-Pseudogleys durch Fichtenreinanbau. - Diss. Hamburg.

-- (1971): Einfluß des Fichtenreinanbaus auf Grobporenverteilung, pH-Wert, Humus und Nährelementgehalte eines Lößlehm-Pseudogleys. - Forstwiss. Cbl. 90, 301 - 318.

MÖLLER, H. (1981): Untersuchungen zu den Beziehungen zwischen der Urease- und Saccharaseaktivität des Bodens und der Humusform, vorgenommen an drei Melico-Fagetum-Ökosystemen des Deisters. Ein Beitrag zur Indikatorfunktion von Enzymen für die biologische Aktivität des Bodens. - Flora 171, 367 - 386.

MÜLLER, E. H. (1956): Die Bodenkartierung zum Zwecke der forstlichen Standorterkundung in Nordrhein-Westfalen. - Allg. Forst- und Jagdz. 127, (8/9), 157 - 164.

NIHLGÅRD, B. (1971): Pedological influence of spruce planted on former beech forest soils in Scania, South Sweden. - Oikos 22, 302 - 314.

RENNER, E. (1970): Mathematisch-statistische Methoden in der praktischen Anwendung. - Berlin und Hamburg.

SCHLICHTING, E. (1960): Typische Böden Schleswig-Holsteins. - Schriftenr. Landw. Fak. Univ. Kiel 26.

SCHÖNHAR, S. (1952): Untersuchungen über die Korrelation zwischen der floristischen Zusammensetzung der Bodenvegetation und der Bodenazidität sowie anderen chemischen Bodenfaktoren. - Mitt. Ver. f. Forstl. Standortskart. 2, 1 - 23.

SCHROEDER, D. (1978): Bodenkunde in Stichworten. 3. Aufl. - Kiel.

STEUBING, L. (1965): Pflanzenökologisches Praktikum. - Berlin u. Hamburg.

ULRICH, B., E. AHRENS and M. ULRICH (1971): Soil chemical differences between beech and spruce sites - an example of the methods used; in: ELLENBERG, H. (edit.): Integrated experimental ecology. Methods and results of ecosystem research in the German Solling Project. - Ecological Studies 2, 171 - 190.

WITTICH, W. (1963): Bedeutung einer leistungsfähigen Regenwurmfauna unter Nadelwald für Streuzersetzung, Humusbildung und allgemeine Bodendynamik. - Schriftenr. Forstl. Fak. Göttingen 30, 3 - 60.

v. ZEZSCHWITZ, E. (1968): Beziehungen zwischen dem C/N-Verhältnis der Waldhumusformen und dem Basengehalt des Bodens. Ein Beitrag zur Kenntnis der Trophie. - Fortschr. Geol. Rheinl. u. Westf. 16, 143 - 174.

-- (1980): Analytische Kennwerte typischer Humusformen westfälischer Bergwälder. - Z. Pfl.Ernähr., Bodenk. 143 (6), 692 - 700.

ZÖTTL, H. (1960): Dynamik der Stickstoffmineralisation im organischen Waldbodenmaterial. II. Einfluß des Stickstoffgehaltes auf die Mineralstickstoff-Nachlieferung. - Plant and Soil 13 (3), 183 - 206.

Manuskript eingegangen am 9. 6. 1981

Anschrift der Verfasser:

Priv.-Doz. Dr. Hans MÖLLER
Doris PRÜSSMANN
Institut für Geobotanik der Universität
Nienburger Straße 17

3000 Hannover

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Berichte der Naturhistorischen Gesellschaft Hannover

Jahr/Year: 1983

Band/Volume: 126

Autor(en)/Author(s): Möller Hans, Prüssmann Doris

Artikel/Article: Zum Einfluß des Fichtenreinanbaus auf Morphologie, C/N-Verhältnis, C- und N-Mengen sowie pH-Wert des Humuskörpers ehemaliger Luzulo-Fagetum-Böden des Deisters 153-172