

**MITTEILUNGEN
DER FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT
WIEN**

(früher "Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs")

167. Heft/Band II

1992

**MITTELFRISTIGE
VERÄNDERUNGEN DES BODENZUSTANDES
AUF
EXAKTDÜNGUNGSVERSUCHSFLÄCHEN
DER FBVA**

II. Teil: Gedüngte Parzellen

**und
Vergleich
gedüngter mit unbehandelten
Parzellen**

FDK 114.26:114.25:237.4:(436)

Ilse Strohschneider

**Herausgegeben
von der
Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien**

Das Lebensministerium.

LAND
FORST
WASSER

Copyright by
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Printed in Austria

ISBN 3-7040-1157-6
ISSN 0374-9037

Herstellung und Druck
Forstliche Bundesversuchsanstalt

VORWORT

Die Forstliche Bundesversuchsanstalt hat 1962 in Zusammenarbeit mit der Österreichischen Düngerberatungsstelle eine Reihe von Exaktdüngungsversuchen in Fichten- und Kiefernbeständen mittlerer Altersklasse angelegt, die zum Teil bis heute unter Beobachtung stehen.

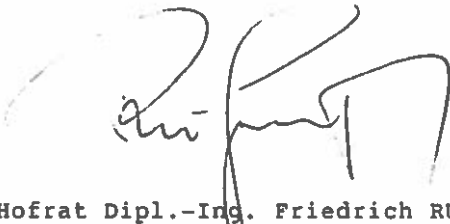
Das Versuchsprogramm umfaßt sehr dichte periodische zuwachskundliche, bodenkundliche und nadelanalytische Untersuchungen mit dem Ziel, neben zahlreichen bestehenden, aber kaum dokumentierten Schauversuchen nun auch exakte Meßdaten für eine quantifizierende Beurteilung allfälliger Düngerwirkungen zu sammeln. Die Walddüngung gilt als eine der Möglichkeiten, geschädigte oder labile Waldökosysteme zu regenerieren bzw. zu stabilisieren.

Im ersten, bereits erschienenen Teil dieser Arbeit wurden die unbehandelten Parzellen als Beispiel für das Verhalten durchschnittlicher, unbehandelter Waldböden untersucht. Der Zweck dieser Versuchsanlage, die Walddüngung, blieb dabei außer Betracht.

Der vorliegende zweite Teil ist hingegen als eine bodenkundliche Auswertung der Düngungsversuche selbst zu verstehen, wenn auch unter dem während des Versuchsverlaufes neu hinzugekommenen Zielaspekt der Walddüngung.

Wien, im November 1992

Der Direktor



Hofrat Dipl.-Ing. Friedrich RUHM

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	7
2	Versuchsfläche Grottenhof	9
	Veränderungen im Boden	
2.1	pH-Wert	10
2.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	12
2.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	13
2.4	CaO-Gehalt und -Menge	15
2.5	MgO-Gehalt und -Menge	17
2.6	N-Gehalt und -Menge	19
2.7	C-Gehalt und -Menge	21
2.8	C/N-Verhältnis	23
2.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	24
3	Versuchsfläche Unzmarkt	27
	Veränderungen im Boden	
3.1	pH-Wert	28
3.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	30
3.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	32
3.4	CaO-Gehalt und -Menge	34
3.5	MgO-Gehalt und -Menge	36
3.6	N-Gehalt und -Menge	38
3.7	C-Gehalt und -Menge	39
3.8	C/N-Verhältnis	41
3.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	42
4	Versuchsfläche Karlstift	45
	Veränderungen im Boden	
4.1	pH-Wert	47
4.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	49
4.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	52
4.4	CaO-Gehalt und -Menge	56
4.5	MgO-Gehalt und -Menge	60
4.6	N-Gehalt und -Menge	64
4.7	C-Gehalt und -Menge	67
4.8	C/N-Verhältnis	71
4.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	72
5	Vergleich gedüngter mit unbehandelten Parzellen	75
5.1	Grottenhof	75
5.1.1	pH-Wert	75
5.1.2	Phosphor	76
5.1.3	Kalium	77
5.1.4	Calcium	78
5.1.5	Magnesium	79
5.1.6	Stickstoff	80
5.1.7	Kohlenstoff (Organische Substanz)	80
5.1.8	C/N-Verhältnis	81
5.1.9	Mächtigkeit der Humushorizonte	82

5.2	Unzmarkt	83
5.2.1	pH-Wert	83
5.2.2	Phosphor	84
5.2.3	Kalium	85
5.2.4	Calcium	86
5.2.5	Magnesium	87
5.2.6	Stickstoff	87
5.2.7	Kohlenstoff (Organische Substanz)	88
5.2.8	C/N-Verhältnis	89
5.2.9	Mächtigkeit der Humushorizonte	90
5.3	Karlstift	91
5.3.1	pH-Wert	91
5.3.2	Phosphor	92
5.3.3	Kalium	92
5.3.4	Calcium	93
5.3.5	Magnesium	94
5.3.6	Stickstoff	95
5.3.7	Kohlenstoff (Organische Substanz)	96
5.3.8	C/N-Verhältnis	97
5.3.9	Mächtigkeit der Humushorizonte	98
6	Gemeinsame Diskussion der Versuchsflächen	99
7	Zusammenfassung	105
	Summary	108
8	Literatur	109

1 Einleitung und Fragestellung

Im Zusammenhang mit den neuartigen Waldschäden werden immissionsbedingte Veränderungen und Möglichkeiten der Sanierung des Waldbodens diskutiert. Ein exakter Nachweis läßt sich nur an Datenmaterial aus Zeitreihenuntersuchungen führen, welches allerdings nur punktuell und selten über längere Zeiträume zur Verfügung steht.

Als solches boten sich Exaktdüngungsversuche der Forstlichen Bundesversuchsanstalt an, die seit den frühen 60ziger Jahren unter Beobachtung stehen.

Eingehende Beschreibungen der Versuchsflächen, Ergebnisse von Nadelanalysen und vor allem zuwachskundliche Ergebnisse der Düngungsversuche wurden wiederholt publiziert, unter anderem von POLLANSCHÜTZ nach 5- und 10jähriger (1969 und 1974), von JOHANN nach 15-jähriger (1981) Beobachtungszeit.

Im 1. Teil der vorliegenden Arbeit (STROHSCHNEIDER 1991) wurden die bodenanalytischen Daten der unbehandelten Parzellen von sieben Versuchsflächen ausgewertet, um Veränderungstendenzen im mehr oder weniger naturbelassenen Boden zu erfassen.

Im diesem 2. Teil soll die vergleichsweise Untersuchung der gedüngten Varianten von drei Versuchsflächen Auskunft geben, inwieweit durch Düngung mittelfristige Waldboden-Veränderungen modifiziert, insbesondere Bodenversauerung und Nährstoffauswaschung hintangehalten werden können.

Hinsichtlich des Versuchsdesign, der Versuchsmethodik, der Grenzen der Vergleichbarkeit und Eignung der Analysendaten aus heutiger Sicht sei auf den ersten Teil der Arbeit verwiesen.

Zunächst wird die Änderung von pH-Wert, Konzentrationen und Menge an einigen Nährelementen (Phosphor, Kalium, Calcium, Magnesium, Stickstoff und Kohlenstoff bzw. organische Substanz) auf den gedüngten Parzellen während des 20jährigen Beobachtungszeitraumes untersucht - gleiches Schema wie bei den unbe-

handelten Parzellen im 1. Teil. Beide Varianten (gedüngt und unbehandelt) werden anschließend gegenübergestellt.

Im 1. Teil wurde auf die im Laufe der Zeit wechselnden Analysenmethoden, davon abzuleitenden Unsicherheiten und bei manchen Elementen möglichen systematischen Fehler hingewiesen. Solche Fehler sind auch für die gedüngten Parzellen zu erwarten. Innerhalb des Probensatzes eines Termines müßten sich diese Fehler jedoch aufheben und somit den Vergleich zwischen den Behandlungsvarianten nicht stören. Andererseits sind hier - da die Einzelwerte unabhängig sind - im Gegensatz zu den Zeitreihen auf konkreten Meßpunkten nur Mittelwertvergleiche möglich.

2 Versuchsfläche Grottenhof - Hardt bei Graz (401)

Versuchs- und Standortsbeschreibung:

Erstaufnahme: 7. November 1962

Wiederholungsaufnahmen: 16.11.1967; 13.6.1973; 25.10.1983

Teilflächengröße: Meßfläche 8x 1000m²,
Behandlungsfläche 8x 2174m²

Eigentümer: Landesackerbauschule Grottenhof, Graz-Wetzelsdorf

Nutzraum 20: Südöstliches Hügel- und Terrassenland
(subpannonisch-subillyrisches Ei-Mischwaldgebiet)

Klima: Niederschlag (Graz Universität) ... 870mm/Jahr
Temperatur (Graz Universität) ... Jänner -2,0°C
Juli 18,9°C ... Jahr 9,0°C

Lage: 460 m, schwach gegen Osten geneigt

Natürliche Waldgesellschaft: Luzula-Bu-Ta-Fi-Mischwald

aktueller Bestand: Fi-Baumholz

Alter zu Versuchsbeginn: 34 Jahre

Bodenvegetation: Nadelstreudecke mit lichtem Moosschleier, vereinzelt Vaccinium myrtillus, Luzula albida

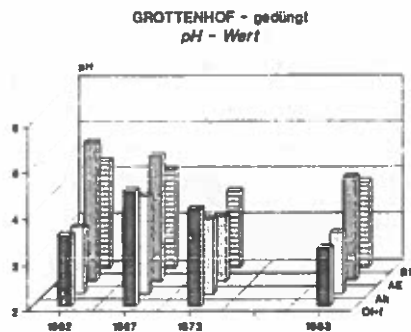
Grundgestein: Jungtertiärer (Pannon-) Schotterkörper

Boden: Pseudogley-Parabraunerde aus altem Braunlehmmaterial

Profilaufbau:

O _{1+f}	4-(2)0cm	Nadelstreu und Moderauflage, mäßig verpilzt
O _h	2 - 0cm)	nicht durchgehend, schwärzlich schmieriger Feinmoder, stark feindurchwurzelt
A _h	0 - 3cm	humoser sandiger Lehm, undeutliche Humusstoffeinwaschung, dunkelbraun (10 YR 3/4)
A _E	3 - 20cm	sandiger Lehm, fahl gelbbraun (10 YR 5,5/4) mit taschenförmiger Humuseinwaschung, kantenrund-blockige Struktur
B _t	20 - 30cm	Lehm, grob blockige Struktur, gelbbraun (10 YR 5/4), schwach nadelstich-fleckig (Punktkonkretionen), schwach durchwurzelt, kein Grobanteil
B _{tg}	30 - 70cm	Lehm, deutlich grobblockig, dicht, braun (7,5-10 YR 5/5), deutlich rost- und fahlfleckig, auslaufende Grobwurzeln
D	70 - 130cm	sandig-grusiger Lehm, dicht, stark steinig (vorwiegend Quarzschotter)

Abb.2.1: pH - Wert



Tab.2.1: Grottenhof - gedüngt, pH - Wert

	1962	1967	1973	1983
Auftragchumus				
\bar{x}	3,54	4,51	4,11	3,27
s	0,219	0,339	0,390	0,150
Min	3,1	4,0	3,5	3,1
Max	3,9	5,2	4,9	3,5
n	14	13	12	14
Horizont A _h				
\bar{x}	3,44	4,11	3,61	3,32
s	0,594	0,646	0,199	0,568
Min	3,0	3,3	3,3	3,0
Max	5,5	5,4	3,9	5,4
n	15	16	15	16
Horizont AE				
\bar{x}	5,00	4,70	3,38	4,23
s	2,546	-	0,096	1,621
Min	3,2	-	3,3	3,2
Max	6,8	-	3,5	6,1
n	2	1	4	3
Horizont B _t				
\bar{x}	4,30	4,10	3,65	3,84
s	0,793	0,424	0,071	1,236
Min	3,8	3,8	3,6	3,0
Max	5,9	4,4	3,7	6,3
n	6	2	2	6

2.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

Die P₂O₅-Konzentrationen zeigen signifikante und gleichsinnige Veränderungen (s.Abb.2.2) im Auflagehumus und A_h-Horizont. Der P₂O₅-Gehalt steigt in beiden Horizonten zunächst (1967) kräftig und hoch signifikant an, im Zeitraum danach sinkt er wieder stetig und höchst (bzw. hoch) signifikant ab und erreicht 1983 wieder den Ausgangswert im Auflagehumus. Im AE- und B_t-Horizont sind keine statistisch gesicherten Veränderungen nachweisbar (s.Tab.2.2.1).

Die P₂O₅-Menge im Auflagehumus nimmt zunächst von 131kg/ha auf 259kg/ha zu und fällt in den folgenden 16 Jahren unter den Ausgangswert ab. Im Mineralboden bis 15cm sinkt die P₂O₅-Menge geringfügig von 504kg/ha auf 460kg/ha innerhalb des Versuchszeitraumes ab (s.Abb.2.3 und Tab.2.2.2).

Die Gesamtbilanz an P₂O₅ im Mineralboden bis 15cm incl. Auflagehumus ist demnach über den Beobachtungszeitraum 1962-1983 mit 86kg/ha negativ.

Tab.2.2.1: Grottenhof - gedüngt, P₂O₅ - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,19	0,35	0,25	0,18
s	0,048	0,048	0,032	0,031
Min	0,10	0,29	0,20	0,14
Max	0,27	0,42	0,30	0,27
n	14	13	12	14
Horizont A _h				
\bar{x}	0,12	0,22	0,17	0,12
s	0,020	0,042	0,036	0,022
Min	0,09	0,14	0,11	0,06
Max	0,15	0,30	0,25	0,15
n	15	15	15	16
Horizont AE				
\bar{x}	0,10	0,12	0,13	0,06
s	0,000	-	0,039	0,006
Min	0,10	-	0,09	0,09
Max	0,10	-	0,18	0,11
n	2	1	4	3
Horizont B _t				
\bar{x}	0,09	0,15	0,13	0,10
s	0,023	0,057	0,028	0,016
Min	0,06	0,11	0,11	0,08
Max	0,13	0,19	0,15	0,12
n	6	2	2	6

Abb.2.2: P_2O_5 - Gehalt

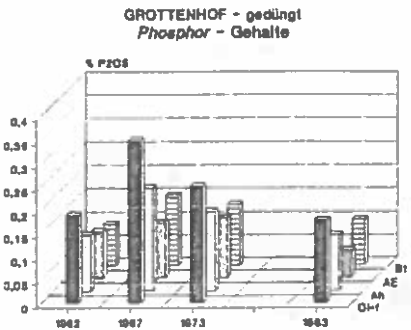
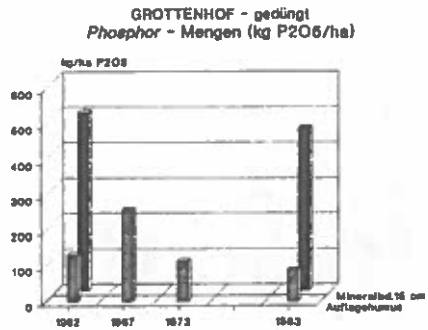


Abb.2.3: P_2O_5 - Menge



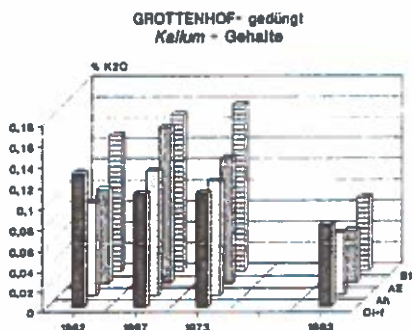
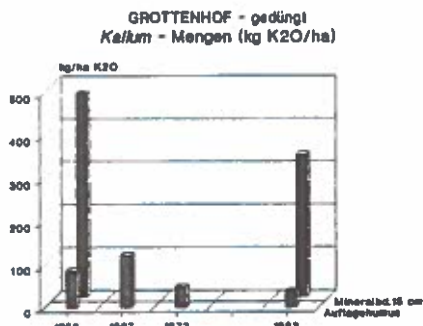
Tab.2.2.2: Grottenhof - gedüngt, P_2O_5 - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	131	259	115	89
s	73	160	61	44
Min	30	132	57	30
Max	266	688	265	187
n	14	13	12	14
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	504	-	-	460
Min	117	-	-	37
Max	1.366	-	-	1.184

2.3 K_2O -Gehalt und -Menge

Die K_2O -Gehalte über den 20-jährigen Zeitraum sind kontinuierlich gesunken (s.Abb.2.4); im Auflagehumus hoch signifikant von 0,13% auf 0,08% , im A_h -Horizont höchst signifikant von 0,09% auf 0,06% , mit einer gesicherten Zunahme auf 0,12% in den ersten 5 Jahren seit Versuchsbeginn (s.Tab.2.3.1).

Im Auflagehumus nimmt die K_2O -Menge von 90kg/ha auf 123kg/ha zu und dann ab auf 40kg/ha. Die Abnahme der K_2O -Menge im Mineralboden von 474kg/ha auf 331kg/ha (s.Abb.2.5 und Tab.2.3.2) und die daraus errechnete Gesamtbilanz für Mineralboden bis 15cm und Auflagehumus mit 193kg/ha negativ ist wegen der stark streuenden Einzelwerte ohne Aussage.

Abb.2.4: K_2O - GehaltAbb.2.5: K_2O - MengeTab.2.3.1: Grottenhof - gedüngt, K_2O - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,13	0,11	0,11	0,08
s	0,034	0,029	0,023	0,019
Min	0,07	0,06	0,10	0,06
Max	0,19	0,16	0,18	0,13
n	14	13	12	14
Horizont A _h				
\bar{x}	0,09	0,12	0,11	0,06
s	0,027	0,036	0,020	0,020
Min	0,05	0,06	0,09	0,05
Max	0,13	0,20	0,16	0,12
n	15	16	15	16
Horizont AE				
\bar{x}	0,09	0,15	0,12	0,05
s	0,007	-	0,010	0,006
Min	0,08	-	0,11	0,05
Max	0,09	-	0,13	0,06
n	2	1	4	3
Horizont B _t				
\bar{x}	0,13	0,15	0,16	0,07
s	0,037	0,014	0,028	0,014
Min	0,09	0,14	0,14	0,05
Max	0,18	0,16	0,18	0,09
n	6	2	2	6

Tab.2.3.2: Grottenhof - gedüngt, K_2O - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	90	123	50	40
s	60	176	21	18
Min	30	40	23	12
Max	229	700	106	73
n	14	13	12	14
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	474	-	-	331
Min	14	-	-	49
Max	1.572	-	-	1.002

2.4 CaO-Gehalt und -Menge

Hervorgerufen durch die Düngung gibt es im Auflagehumus eine höchst signifikante Zunahme von 0,23% auf 0,76% in der 1. Periode; in der folgenden Periode steigt der CaO-Gehalt auf 0,91% allerdings nicht gesichert, da die Anzahl der Proben unterschiedlich ist (s. Tab. 2.4.1). Im A_h -Horizont nimmt der CaO-Gehalt zunächst bis 1973 höchst signifikant zu, doch liegt der Endwert 1983 noch über dem Ausgangswert von 1962. Im AE-Horizont schwanken die CaO-Konzentrationen, hingegen im B_t -Horizont nehmen sie kontinuierlich ab (s. Abb. 2.6).

Die CaO-Konzentration nimmt in der 3. Periode im Auflagehumus von 0,91% auf 0,31% statistisch ungesichert, im A_h -Horizont von 0,42% auf 0,15% höchst gesichert ab.

Wegen der unsicheren Analysen in den Zwischenperioden ist nur über den Gesamtzeitraum 1962-1983 eine sichere Aussage erlaubt.

Die CaO-Menge (s. Abb. 2.7) des Auflagehumus nimmt nur in der 1. Periode von 162 kg/ha auf 586 kg/ha gesichert zu und sinkt danach unter den Ausgangswert. Im Mineralboden nimmt die CaO-Menge von 899 kg/ha auf 1,1 t/ha zu (s. Tab. 2.4.2), incl. Auflagehumus beträgt der Zuwachs durch Düngung über 20 Jahre 170 kg/ha.

Abb.2.6: CaO - Gehalt

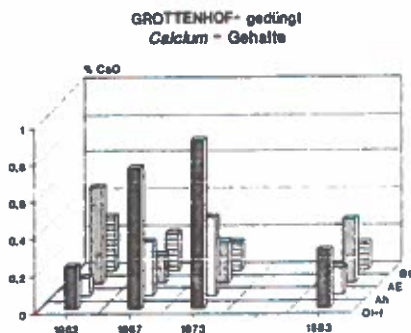
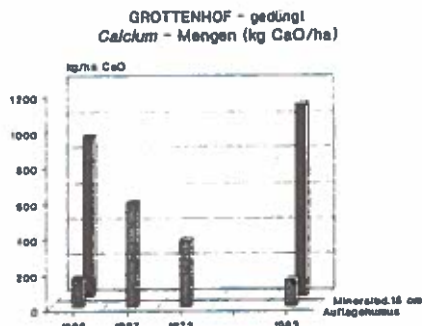


Abb.2.7: CaO - Menge



Tab.2.4.1: Grottenhof - gedüngt, CaO - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,23	0,76	0,91	0,31
s	0,195	0,260	0,335	0,129
Min	0,04	0,17	0,50	0,09
Max	0,66	1,08	1,85	0,51
n	14	13	12	14
Horizont A _h				
\bar{x}	0,10	0,29	0,42	0,15
s	0,192	0,132	0,159	0,120
Min	0,04	0,12	0,18	0,06
Max	0,78	0,53	0,75	0,54
n	15	16	15	16
Horizont AE				
\bar{x}	0,52	0,15	0,22	0,34
s	0,672	-	0,054	0,462
Min	0,04	-	0,18	0,05
Max	0,99	-	0,30	0,87
n	2	1	4	3
Horizont B _t				
\bar{x}	0,29	0,20	0,15	0,14
s	0,171	0,141	0,071	0,212
Min	0,04	0,10	0,10	0,04
Max	0,56	0,30	0,20	0,57
n	6	2	2	6

Tab.2.4.2: Grottenhof - gedüngt, CaO - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	162	586	375	151
s	197	468	90	86
Min	22	102	247	43
Max	693	1.814	530	303
n	14	13	12	14
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	899	-	-	1.080
Min	108	-	-	11
Max	9.608	-	-	8.464

2.5 MgO-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus steigt die MgO-Konzentration von 0,15% auf 0,28% im Jahre 1973, danach fällt sie auf 0,22% (s.Abb.2.8).

Auch im A_h -Horizont nimmt der MgO-Gehalt im ersten Dezennium von 0,08% auf 0,42% höchst signifikant zu, die Abnahme auf 0,33% in den letzten 10 Jahren ist nur gesichert (s.Tab.2.5.1). Wie zu erwarten verläuft die Tendenz im A_h -Horizont bei MgO und CaO ähnlich.

Auch die MgO-Menge im Auflagehumus pendelt sich im Jahre 1983 fast wieder auf den Ausgangswert von 1962 mit etwas über 100kg/ha ein (s.Tab.2.5.2).

Hingegen im Mineralboden steigt die MgO-Menge von 1,5t/ha auf 2,7t/ha über zwei Dezennien an (s.Abb.2.9).

Die Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus ist mit 1,1t/ha positiv (gleich mit CaO-Menge).

Abb.2.8: MgO - Gehalt

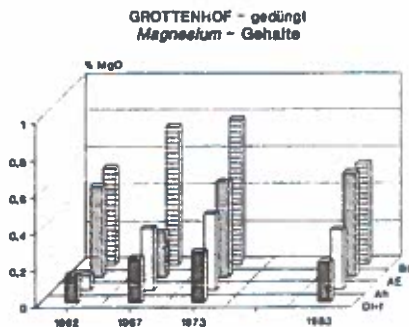
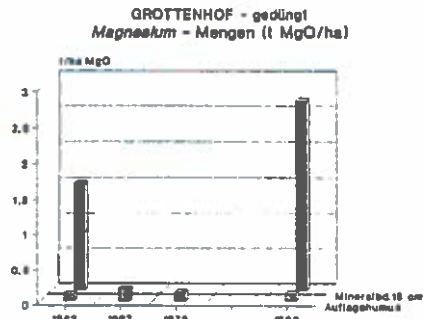


Abb.2.9: MgO - Menge



Tab.2.5.1: Grottenhof - gedüngt, MgO - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,15	0,24	0,28	0,22
s	0,097	0,241	0,049	0,058
Min	0,02	0,02	0,24	0,15
Max	0,32	0,85	0,40	0,33
n	14	13	12	14
Horizont A _h				
\bar{x}	0,08	0,34	0,42	0,33
s	0,224	0,249	0,071	0,119
Min	0,02	0,02	0,32	0,22
Max	0,89	0,85	0,53	0,69
n	15	16	15	16
Horizont AE				
\bar{x}	0,50	0,25	0,52	0,57
s	0,672	—	0,108	0,286
Min	0,02	—	0,42	0,39
Max	0,97	—	0,65	0,90
n	2	1	4	3
Horizont B ₁				
\bar{x}	0,53	0,75	0,79	0,55
s	0,328	0,000	0,014	0,156
Min	0,02	0,75	0,78	0,31
Max	0,89	0,75	0,80	0,80
n	6	2	2	6

Tab.2.5.2: Grottenhof - gedüngt, MgO - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	104	179	130	111
s	96	199	62	59
Min	11	8	48	35
Max	300	663	265	270
n	14	13	12	14
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	1.519	-	-	2.670
Min	5	-	-	216
Max	10.958	-	-	12.129

2.6 N-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus bleiben die N-Gehalte in den ersten beiden Perioden trotz Düngung annähernd gleich; in der 3.Periode setzt eine signifikante Abnahme auf 1,12% ein (s.Abb.2.10).

Hingegen zeigt der A_h -Horizont eine hoch signifikante Zunahme der N-Konzentration von 0,49% auf 0,68% aufgrund der Düngung (1967) im 1.Dezennium, worauf wieder eine gesicherte Abnahme bis 1983 erfolgt (s.Tab.2.6.1).

Der AE- und B_t -Horizont sind durch die unterschiedliche Anzahl der Proben wieder nicht vergleichbar.

Die N-Menge im Auflagehumus nimmt bis 1967 auf 968kg/ha zu und danach bis 1983 auf 510kg/ha ab (s.Abb.2.11).

In den obersten 15cm Mineralboden ist die N-Menge von 1,6t/ha im Jahre 1962 auf 1,5t/ha im Jahre 1983 abgesunken (s.Tab.2.6.2).

Die Gesamtbilanz der N-Menge über Auflagehumus und Mineralboden weist darauf hin, dass die N-Menge im Mineralboden bis 1967 auf 1,6t/ha zu und danach bis 1983 auf 1,5t/ha abgenommen hat.

Abb.2.10: N - Gehalt

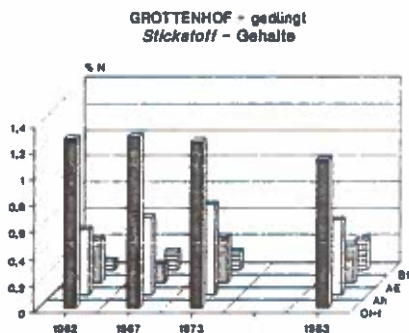
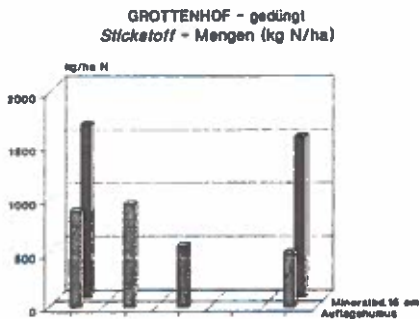


Abb.2.11: N - Menge



Tab.2.6.1: Grottenhof - gedüngt, N - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	1,28	1,30	1,26	1,12
s	0,194	0,257	0,125	0,130
Min	1,02	0,82	1,09	0,97
Max	1,55	1,69	1,51	1,36
n	14	13	12	11
Horizont A _h				
\bar{x}	0,49	0,58	0,68	0,56
s	0,198	0,172	0,148	0,149
Min	0,19	0,34	0,47	0,33
Max	0,92	0,91	1,00	0,85
n	15	16	15	16
Horizont A _E				
\bar{x}	0,32	0,14	0,34	0,28
s	0,064	-	0,050	0,060
Min	0,27	-	0,29	0,22
Max	0,36	-	0,40	0,34
n	2	1	4	3
Horizont B _t				
\bar{x}	0,07	0,14	0,14	0,22
s	0,005	0,007	0,007	0,103
Min	0,07	0,13	0,13	0,13
Max	0,08	0,14	0,14	0,38
n	4	2	2	6

Tab.2.6.2: Grottenhof - gedüngt, N - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	902	968	576	510
s	494	612	294	324
Min	357	369	287	15
Max	1.848	2.301	1.420	979
n	14	13	12	14
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	1.618	-	-	1.501
Min	133	-	-	573
Max	6.892	-	-	3.215

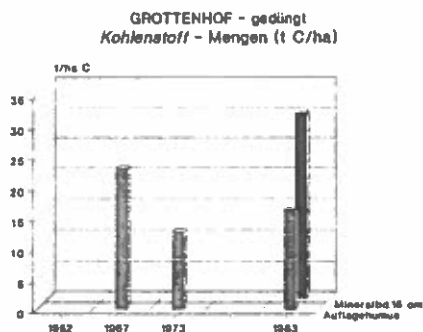
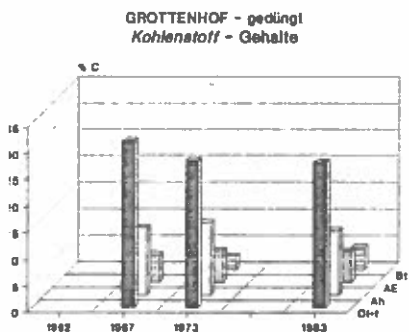
2.7 C-Gehalt und -Menge

Der Gehalt an Kohlenstoff ist ein Maß für die organische Substanz im Boden. Für 1962 stehen leider noch keine C-Bestimmungen zur Verfügung. In den letzten 15 Jahren sank der C-Gehalt im Auflagehumus unsignifikant von 32% auf 28%, im A_h -Horizont blieb er um 13% gleich (s.Tab.2.7.1 und Abb.2.12).

Bei der C-Menge (s.Abb.2.13) ist von 1967 bis 1973 im Auflagehumus eine Abnahme um 10t/ha eingetreten; im nachfolgenden Dezenium erfolgt eine Zunahme um fast 4t/ha. Im Mineralboden kann nur für 1983 eine C-Menge berechnet werden (s.Tab.2.7.2).

Abb.2.12: C - Gehalt

Abb.2.13: C - Menge



Tab.2.7.1: Grottenhof - gedüngt, C - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	31,62	27,83	27,56
s	-	6,709	3,512	3,674
Min	-	22,4	23,0	23,6
Max	-	43,1	34,0	34,0
n	-	13	12	11
		Horizont A ^h		
\bar{x}	-	12,73	13,66	12,09
s	-	4,049	3,704	3,876
Min	-	8,2	9,0	5,5
Max	-	21,2	20,0	20,9
n	-	16	15	16
		Horizont AE		
\bar{x}	-	5,20	6,00	5,80
s	-	-	0,817	2,227
Min	-	-	5,0	3,8
Max	-	-	7,0	8,2
n	-	1	4	3
		Horizont B ^t		
\bar{x}	-	-	2,50	4,28
s	-	-	0,707	2,714
Min	-	-	2,0	1,8
Max	-	-	3,0	8,8
n	-	-	2	6

Tab.2.7.2: Grottenhof - gedüngt, C - Mengen in kg/ha

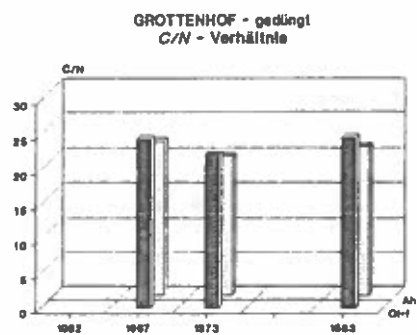
	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	22.779	12.617	16.251
s	-	12.130	5.722	5.057
Min	-	10.080	6.460	9.912
Max	-	46.170	27.560	23.800
n	-	13	12	11
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	-	-	-	30.180
Min	-	-	-	4.980
Max	-	-	-	101.816

2.8 C/N - Verhältnis

Eine Verengung des C/N-Verhältnisses ist im Auflagehumus in der 2.Periode von 25 auf 22 eingetreten; dies deutet auf eine Humusumwandlung hin. Die neuerliche Weitung des C/N-Verhältnisses von 1973 auf 1983 (von 22 auf 25), ist nicht signifikant, doch ist damit die Ausgangslage des C/N-Verhältnisses wieder hergestellt (s.Tab.2.8).

Das C/N-Verhältnis im A_h-Horizont ist annähernd gleich geblieben (s.Abb.2.14).

Abb.2.14: C/N - Verhältnis



Tab.2.8: Grottenhof - gedüngt, C/N - Verhältnis

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	24,46	22,25	24,64
s	-	3,711	2,563	1,362
Min	-	19	19	23
Max	-	33	26	28
n	-	13	12	11
		Horizont A _h		
\bar{x}	-	22,19	20,07	21,50
s	-	3,937	3,635	2,033
Min	-	13	14	17
Max	-	30	26	25
n	-	16	15	16

2.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

Die Auflagehumusmächtigkeiten sind in der 1.Periode beinahe ident, worauf sie in der 2.Periode auf 2,6cm abfallen und dann bis 1983 konstant bleiben (s.Abb.2.15).

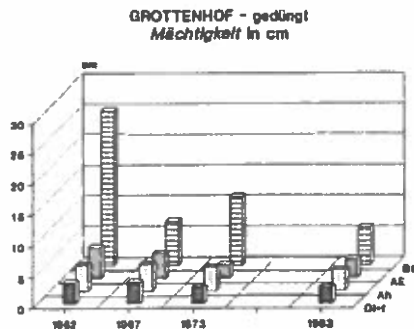
Gleichzeitig sinkt in der 2.Periode der C-Gehalt im Auflagehumus und steigt der Fe₂O₃-Gehalt (s.Tab.2.10), was auf erhöhte Bioturbation und Humusumwandlung weist.

Die Humusmächtigkeit im A_h-Horizont ist bis 1973 annähernd gleich, im Jahr 1983 auf 3,6cm geringfügig gesunken (s.Tab.2.9). Auch der Fe₂O₃-Gehalt nimmt über 20 Jahre kontinuierlich höchst signifikant um 1% im A_h-Horizont ab.

Tab.2.9: Grottenhof - gedüngt, Mächtigkeit in cm

	1962	1967	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	3,4	3,6	2,6	2,6
s	1,223	1,446	0,515	1,336
Min	2	2	2	1
Max	5	6	3	5
n	14	13	12	14
	Horizont A ^h			
\bar{x}	4,3	4,4	4,0	3,6
s	3,595	3,949	2,138	2,032
Min	1	1	2	2
Max	14	14	10	10
n	15	16	15	16
	Horizont AE			
\bar{x}	5,0	4,0	2,25	3,0
s	2,828	-	0,957	0,000
Min	3	-	1	3
Max	7	-	3	3
n	2	1	4	3
	Horizont B ^l			
\bar{x}	25,2	7,0	11,0	6,0
s	10,553	0,000	9,900	2,191
Min	12	7	4	2
Max	40	7	18	8
n	6	2	2	6

bb.2.15: Mächtigkeit in cm



Tab.2.10: Grottenhof - gedüngt, Fe_2O_3 - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	1,58	1,68	2,16	1,90
s	0,542	0,691	0,348	0,444
Min	0,72	0,50	1,54	1,17
Max	2,23	2,74	2,69	2,67
n	14	13	12	14
Horizont A				
	h			
\bar{x}	3,84	3,38	3,21	2,85
s	0,476	0,336	0,284	0,417
Min	3,20	2,74	2,67	2,22
Max	4,95	4,07	3,58	3,63
n	15	16	15	16
Horizont AE				
\bar{x}	3,71	4,30	3,81	3,60
s	0,283	-	0,211	0,119
Min	3,51	-	3,65	3,53
Max	3,91	-	4,12	3,74
n	2	1	4	3
Horizont B				
\bar{x}	5,22	4,45	5,86	3,61
s	0,607	0,212	1,831	0,375
Min	4,55	4,30	4,56	3,09
Max	6,22	4,60	7,15	4,17
n	6	2	2	6

3 Versuchsfläche Unzmarkt (408)

Versuchs- und Standortsbeschreibung:

Erstaufnahme: 1963

Wiederholungsaufnahmen: 17.10.1968; 28.10.1974; 18.u.19.10.1983

Teilflächengröße: Meßfläche 6x 1000m²,
Behandlungsfläche 6x 2200m²

Eigentümer: Schwarzenberg'sche Forstverwaltung, Frauenburg-Schrattenberg, Unzmarkt, Stmk

Wuchsraum 13: Zentralalpen, (inneralpines Ta-Fi-Waldgebiet)

Klima: Niederschlag (Stolzalpe) ... 958mm/Jahr
Temperatur (Stolzalpe) ... Jänner -3,8°C
Juli 13,9°C ... Jahr 5,2°C

Lage: 1450 m, unregelmäßiger S-Hang (Hangmulde gegen W)

Natürliche Waldgesellschaft: *Aira flexuosa*-*Luzula nemorosa*-Fi-Lä-Wald

Aktueller Bestand: Fi- Altholz mit einigen LÄ

Alter zu Versuchsbeginn: 65 Jahre

Bodenvegetation: *Oxalis*-Typ oder gering deckend *Vaccinium myrtillus*-Typ mit *Homogyne alpina*, *Luzula flavescens*, *Pteridium aquilinum*

Grundgestein: Glimmerschiefer und Grobgneis, Hangschutt

Boden: uneinheitlich, Semipodsol und kolluviale Braunerde wechselnd; mäßige Nährstoffversorgung - bis stellenweise gut; Wasserhaushalt mäßig frisch und frisch; vorzügliche physikalische Eigenschaften

Profilaufbau:

O ₁	7 - 5cm	Nadelstreu
O _{2f+h}	5 - 0cm	Grobmoder, schwach verpilzt
A _{eh}	0 - 2(7)cm	stark humoser, lehmiger Feinsand, Feinmoder und etwas Humusinfiltrat
(AE)	2 - 7cm)	nicht durchgehender Horizont, schluffiger, lehmiger Sand, etwas verdichtet von Humusinfiltrat, strukturlos, einzelne Bleichnester, stark durchwurzelt, kein Grobanteil
B _h	7 - 11cm	lehmiger Sand, etwas verkittet - dicht, wenig durchwurzelt, dunkelbraun von Humusseinwaschung (7,5 YR 3/2)
(B _s	11 - 25cm)	nicht durchgehender Horizont, sandiger Lehm, granulär locker, gelbbraun (10 YR 4/4), Wurzeln auslaufend, mäßig
B _v	25 - 80cm	grusig, steinig, allmählich übergehend lehmiger Sand, stark steinig, strukturlos, gelbbraun (10 YR 5/4)

DÜNGUNG: 1963; Thomasphosphat	3,05dt/ha =	46kg/ha P_2O_5 + 153kg/ha CaO
Kaliumsulfat	2,40dt/ha =	120kg/ha K_2O + 43kg/ha S
Mischkalk	6,05dt/ha =	393kg/ha CaO
1964: Nitramoncal	6,05dt/ha =	133kg/ha N + 115kg/ha CaO
Kaliumsulfat	2,50dt/ha =	125kg/ha K_2O + 45kg/ha S
1966: Nitramoncal	6,05dt/ha =	133kg/ha N + 115kg/ha CaO

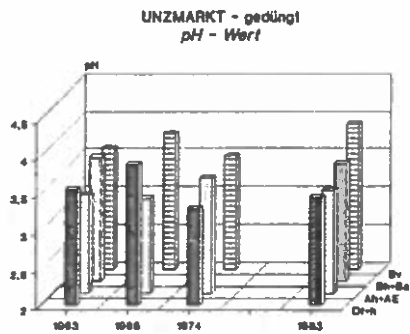
Veränderungen im Boden

3.1 pH-Wert

Im Auflagehumus ist der pH-Wert nach der Düngung zunächst merklich angestiegen, doch ist dies wegen der geringen Probenzahl von 1963 nicht gesichert. Danach nimmt der pH-Wert kontinuierlich und signifikant von 3,9 auf 3,5 ab, das ist etwa der Ausgangswert (s.Abb.3.1).

Im A_h +AE-Horizont schwankt der pH-Wert über den gesamten Beobachtungszeitraum ohne erkennbaren Trend um 3,35. In den B-Horizonten ist keine gesicherte Aussage möglich (s.Tab.3.1).

Abb.3.1: pH - Wert



Tab.3.1: Unzmarkt - gedüngt, pH - Wert

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
		-----*		
\bar{x}	3,55	3,89	3,50	3,45
s	0,289	0,714	0,175	0,177
Min	3,2	3,2	3,1	3,2
Max	3,9	5,3	3,7	3,8
n	4	11	11	12
		Horizont A _h + AE		
\bar{x}	3,32	3,27	3,42	3,38
s	0,214	0,309	0,259	0,161
Min	3,0	2,9	3,1	3,2
Max	3,6	4,1	4,1	3,7
n	11	12	12	12
		Horizont B _h + B _v		
\bar{x}	3,65	3,7	3,5	3,57
s	0,212	-	-	0,173
Min	3,5	-	-	3,4
Max	3,8	-	-	3,7
n	2	1	1	4
		Horizont B _v		
\bar{x}	3,6	3,80	3,87	3,93
s	0,217	0,265	0,231	0,227
Min	3,3	3,6	3,6	3,57
Max	3,9	4,1	4,0	4,24
n	5	3	3	9

3.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

Nach einem ungesicherten Anstieg bis 1968 nimmt der P₂O₅-Gehalt im Auflagehumus kontinuierlich und höchst signifikant von 0,25 auf 0,18% ab. Der Verlauf im A_h+AE-Horizont ist ähnlich, hier aber durchgehend höchst gesichert. Der Endwert liegt auch hier etwas unter dem Anfangswert. Die P₂O₅-Werte der tieferen Bodenhorizonte lassen keine gesicherte Aussage zu (s.Tab.3.2.1 und Abb.3.2).

Auch die P₂O₅-Menge nimmt im Auflagehumus (nach einem anfänglichen, nicht absicherbaren Anstieg) ab 1968 kontinuierlich auf 171kg/ha ab (s.Abb.3.3). Im Mineralboden sinkt die P₂O₅-Menge im gesamten Versuchszeitraum 1963–1983 um 64kg/ha (s.Tab.3.2.2). Die Gesamtbilanz wäre demnach für Mineralboden bis 15cm incl Auflagehumus mit 30kg/ha negativ.

Abb.3.2: P₂O₅ - Gehalt

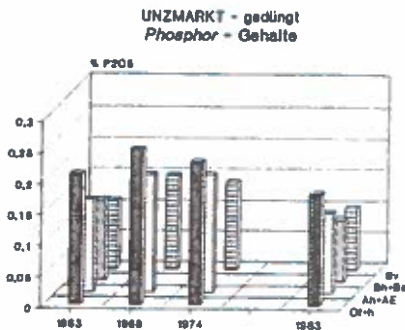
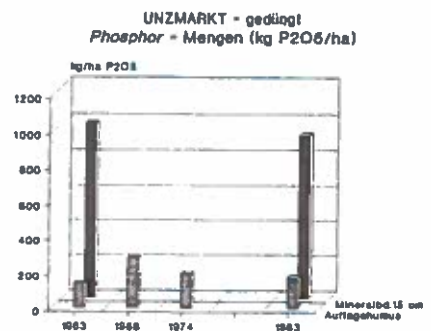


Abb.3.3: P₂O₅ - Menge



Tab.3.2.1: Unzmarkt - gedüngt, P_2O_5 - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,21	0,25	0,23	0,18
s	0,027	0,020	0,015	0,022
Min	0,19	0,22	0,20	0,14
Max	0,24	0,29	0,25	0,21
n	3	11	11	12
Horizont A _b + AE				
\bar{x}	0,15	0,19	0,19	0,13
s	0,031	0,018	0,025	0,015
Min	0,08	0,15	0,15	0,10
Max	0,20	0,21	0,23	0,15
n	11	12	12	12
Horizont B _b + B				
\bar{x}	0,13	0,21	0,15	0,10
s	0,014	-	-	0,006
Min	0,12	-	-	0,09
Max	0,14	-	-	0,11
n	2	1	1	6
Horizont B _v				
\bar{x}	0,11	0,15	0,14	0,10
s	0,018	0,025	0,015	0,010
Min	0,08	0,12	0,12	0,09
Max	0,13	0,17	0,15	0,12
n	5	3	3	9

Tab.3.2.2: Unzmarkt - gedüngt, P_2O_5 - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	137	278	195	171
s	108	168	98	75
Min	13	58	62	81
Max	273	572	378	330
n	4	11	11	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	985	-	-	921
Min	361	-	-	120
Max	1.928	-	-	1.360

3.3 K₂O-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus steigt die K₂O-Konzentration zunächst bis 1974 höchst signifikant von 0,10% auf 0,15% an und nimmt danach ebenso signifikant bis 1983 auf 0,08% unter den Ausgangswert ab. Im A_h+AE-Horizont verläuft die Entwicklung gleichsinnig und ebenfalls höchst gesichert. Die B-Horizonte sind nicht vergleichbar (s.Tab.3.3.1 und Abb.3.4).

Die K₂O-Menge im Auflagehumus hat ein Maximum im Jahre 1974 von 124kg/ha; danach nimmt sie bis 1983 hoch gesichert auf 75kg/ha ab (s.Abb.3.5).

Im mineralischen Oberboden bis 15cm vermehrt sich die K₂O-Menge über zwei Dezennien um 16kg/ha (s.Tab.3.3.2).

Die Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus über den 20-jährigen Beobachtungszeitraum ist mit 32kg/ha positiv.

Abb.3.4: K₂O - Gehalt

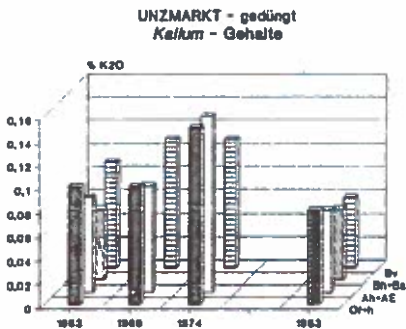
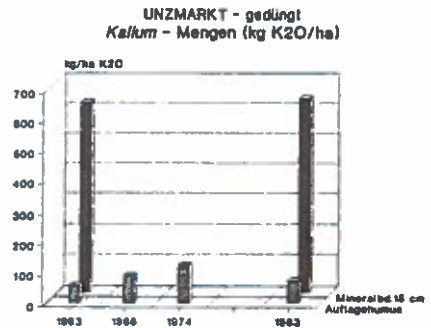


Abb.3.5: K₂O - Menge



Tab.3.3.1: Unzmarkt - gedüngt, K_2O - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,10	0,10	0,15	0,08
s	0,046	0,018	0,020	0,020
Min	0,06	0,05	0,13	0,05
Max	0,15	0,12	0,19	0,13
n	3	11	11	12
Horizont A _h + AE				
\bar{x}	0,08	0,09	0,15	0,07
s	0,045	0,020	0,047	0,037
Min	0,01	0,06	0,10	0,05
Max	0,18	0,12	0,26	0,18
n	11	12	12	12
Horizont B _h + B				
\bar{x}	0,06	0,13	0,11	0,06
s	0,007	-	-	0,006
Min	0,05	-	-	0,05
Max	0,06	-	-	0,06
n	2	1	1	6
Horizont B _v				
\bar{x}	0,09	0,11	0,11	0,06
s	0,043	0,012	0,006	0,017
Min	0,05	0,10	0,11	0,04
Max	0,15	0,12	0,12	0,09
n	5	3	3	9

Tab.3.3.2: Unzmarkt - gedüngt, K_2O - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	59	88	124	75
s	32	56	56	34
Min	13	18	39	39
Max	86	180	221	154
n	4	11	11	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	624	-	-	640
Min	60	-	-	180
Max	1.385	-	-	1.955

3.4 CaO-Gehalt und -Menge

Die mehrfache CaO-Gabe wirkt sich im Auflagehumus stark aus; vor einem unsicheren – wie der Vergleich mit den anderen Parzellen zeigt – eher zu hoch angeschätzten Ausgangswert ist der CaO-Gehalt 1968 bereits kräftig auf 0,61% gestiegen, bis 1974 bleibt er konstant und nach 10 Jahren sinkt er auf 0,39% hoch signifikant ab (s.Abb.3.6). Im A_h +AE-Horizont tritt erst 1974 ein weniger deutlicher Peak zwischen sonst gleichbleibenden Konzentrationen auf (s.Tab.3.4.1). In den B-Horizonten ist wegen der unterschiedlichen Probenanzahl wieder keine Aussage möglich.

Die CaO-Menge im Auflagehumus zeigt eine ähnliche Entwicklung: Anstieg nur über 400kg/ha CaO bis 1968 und danach eine kontinuierliche Abnahme (364kg/ha) auf einen etwas höheren Endwert (s.Abb.3.7). Im Mineralboden ergibt die eigentlich unzulässige Umrechnung einen Verlust von 770kg/ha (s.Tab.3.4.2), incl. Auflagehumus somit fast 700kg/ha CaO, das wäre 61% des Ausgangswertes.

Abb.3.6: CaO – Gehalt

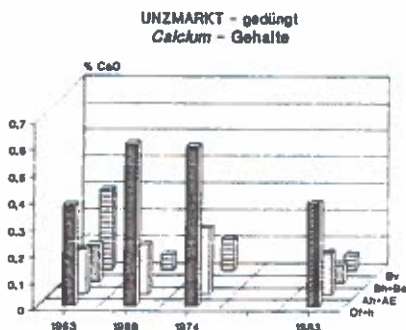
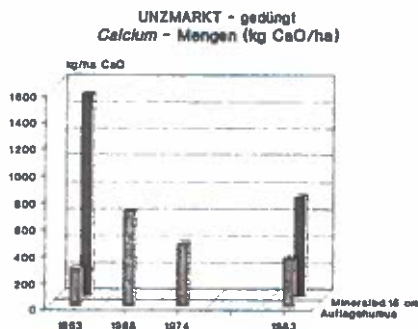


Abb.3.7: CaO – Menge



Tab.3.4.1: Unzmarkt - gedüngt, CaO - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,38	0,61	0,60 ---***--	0,39
s	0,127	0,414	0,170	0,131
Min	0,23	0,15	0,35	0,18
Max	0,45	1,30	0,88	0,60
n	3	11	11	12
		Horizont A _h + AE		
\bar{x}	0,17	0,19	0,25 ---***--	0,16
s	0,172	0,208	0,093	0,102
Min	0,04	0,05	0,13	0,06
Max	0,45	0,60	0,45	0,45
n	11	11	12	12
		Horizont B _h + B		
\bar{x}	0,14	0,70	0,10	0,07
s	0,134	-	-	0,019
Min	0,04	-	-	0,06
Max	0,23	-	-	0,10
n	2	1	1	4
		Horizont B _v		
\bar{x}	0,30	0,06	0,12	0,06
s	0,159	0,017	0,029	0,011
Min	0,11	0,05	0,10	0,04
Max	0,48	0,08	0,15	0,07
n	5	3	3	9

Tab.3.4.2: Unzmarkt - gedüngt, CaO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	288	710	469	364
s	274	839	168	148
Min	50	120	195	162
Max	648	2.860	775	636
n	4	11	11	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	1.507	-	-	736
Min	103	-	-	450
Max	3.694	-	-	996

3.5 MgO-Gehalt und -Menge

Sowohl im Auflagehumus als auch im A_h +AE-Horizont schwankt der MgO-Gehalt uneinheitlich bei relativ großer Streuung zwischen den Probepunkten. Die Minima liegen im Jahre 1968. Im Auflagehumus ist die Zunahme der MgO-Konzentration von 0,09% nach 1968 bzw. 10 Jahren auf 0,31% bzw. 0,22% (hoch) signifikant (s.Abb.3.8). Im A_h +AE-Horizont erfolgt erst eine Abnahme auf 0,11%, worauf bis 1974 eine hoch signifikante Zunahme stattfindet; im folgenden Dezennium sinkt die MgO-Konzentration geringfügig ab. Keine Aussage ist über die B-Horizonte zu treffen (s.Tab.3.5.1).

Wie schon in Band I erläutert, sind die MgO-Daten hinsichtlich systematischer Fehler besonders unsicher. Daher ist auch die Umrechnung auf Hektar-Mengen unzulässig. Der Vollständigkeit halber sind die Rechenwerte dennoch in Tab.3.5.2 und Abb.3.9 angeführt.

Abb.3.8: MgO - Gehalt

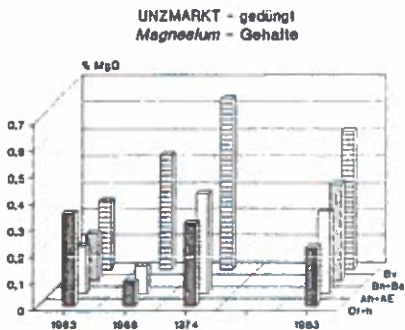
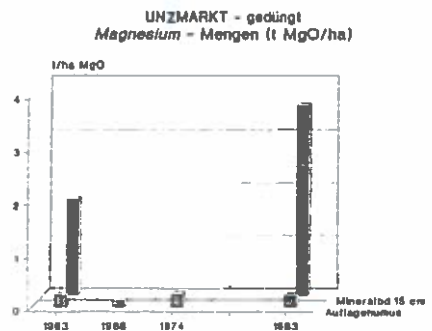


Abb.3.9: MgO - Menge



Tab.3.5.1: Unzmarkt - gedüngt, MgO - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,35	0,09	0,31	0,22
s	0,323	0,066	0,246	0,116
Min	0,16	0,05	0,15	0,11
Max	0,72	0,25	1,00	0,51
n	3	11	11	12
Horizont A _h + AE				
\bar{x}	0,18	0,11	0,38	0,31
s	0,109	0,071	0,222	0,197
Min	0,02	0,05	0,18	0,13
Max	0,32	0,25	0,97	0,86
n	11	12	12	12
Horizont B _h + B				
\bar{x}	0,18	0,40	0,50	0,37
s	0,219	-	-	0,152
Min	0,02	-	-	0,21
Max	0,33	-	-	0,53
n	2	1	1	4
Horizont B _v				
\bar{x}	0,26	0,43	0,64	0,52
s	0,224	0,407	0,121	0,181
Min	0,02	0,15	0,55	0,30
Max	0,56	0,90	0,78	0,79
n	5	3	3	9

Tab.3.5.2: Unzmarkt - gedüngt, MgO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	222	110	229	202
s	243	105	146	108
Min	26	10	104	92
Max	561	330	578	418
n	4	11	11	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	1.807	-	-	3.574
Min	51	-	-	860
Max	3.292	-	-	6.924

3.6 N-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus nimmt der N-Gehalt stetig ab (s.Abb.3.10), in A_h+AE-Horizont bleibt er zu allen Terminen nahezu völlig, in den B-Horizonten weitgehend gleich (s.Tab.3.6.1). Eine Düngerwirkung der immerhin zugeführten 265kg/ha N ist daraus zunächst nicht zu erkennen.

Die N-Menge im Auflagehumus nimmt ab 1968 um 350kg/ha ab, in Mineralboden innerhalb von 20 Jahren um 300kg/ha zu (s.Abb.3.11 und Tab.3.6.2).

Der Gesamtzuwachs für Mineralboden incl. Auflagehumus von 1963 bis 1983 betrüge demnach 100kg/ha, wobei alle diese hochgerechneten Mengen jedoch unsicher sind.

Tab.3.6.1: Unzmarkt - gedüngt, N - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1,40	1,21	1,14	1,10
s	0,416	0,100	0,156	0,122
Min	0,96	1,04	0,88	0,93
Max	1,96	1,36	1,33	1,31
n	4	11	11	12
		Horizont A _h + AE		
\bar{x}	0,71	0,71	0,71	0,69
s	0,166	0,185	0,163	0,123
Min	0,50	0,50	0,53	0,40
Max	1,01	1,01	1,05	0,85
n	11	12	12	12
		Horizont B _h + B		
\bar{x}	0,46	0,44	0,49	0,46
s	0,149	-	-	0,092
Min	0,35	-	-	0,37
Max	0,56	-	-	0,58
n	2	1	1	4
		Horizont B _v		
\bar{x}	0,28	0,28	0,27	0,31
s	0,072	0,045	0,053	0,099
Min	0,19	0,24	0,21	0,18
Max	0,38	0,33	0,31	0,45
n	5	3	3	9

Abb.3.10: N - Gehalt

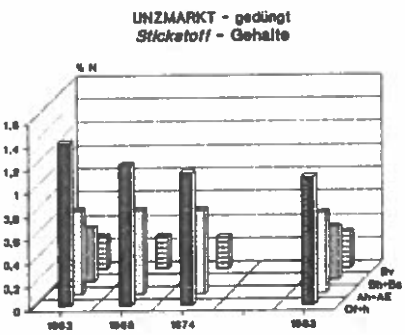
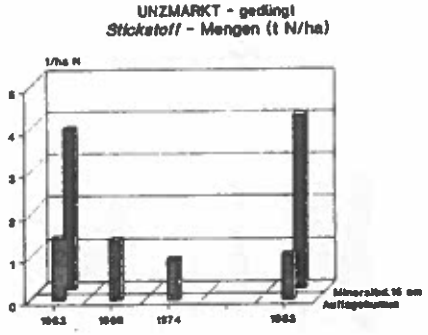


Abb.3.11: N - Menge



Tab.3.6.2: Unzmarkt - gedüngt, N - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	1.462	1.413	954	1.063
s	1.036	888	426	444
Min	567	236	330	541
Max	2.822	2.816	1.636	2.112
n	4	11	11	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	3.758	-	-	4.067
Min	2.475	-	-	590
Max	6.825	-	-	5.966

3.7 C-Gehalt und -Menge

Durch die ungleiche Probenanzahl ist im Auflagehumus nur die 15-jährige Periode ab 1968 vergleichbar, innerhalb der eine geringe Abnahme der C-Gehalte von 33% auf 29% stattfindet (s.Abb.3.12). Im A_h+AE -Horizont schwanken die Werte ohne statistische Absicherung (s.Tab.3.7.1).

Die C-Menge bleibt im Auflagehumus über zwei Dezennien annähernd konstant, mit einem Maximum von 32t/ha im Jahre 1968 (s.Abb.3.13 und Tab.3.7.2). Die hochgerechneten C-Mengen im Mineralboden sind für eine Aussage unzulässig.

Abb.3.12: C - Gehalt

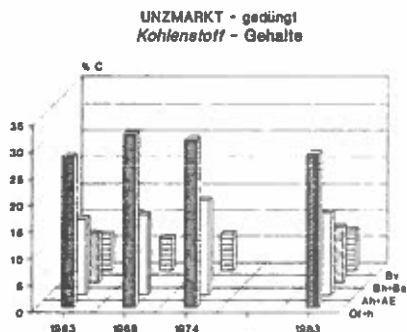
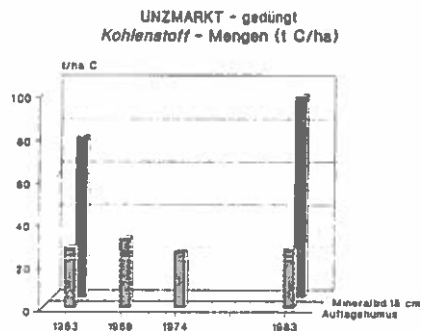


Abb.3.13: C - Menge



Tab.3.7.1: Unzmarkt - gedüngt, C - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	28,45	32,64	31,63	28,96
s	1,323	6,264	6,252	4,665
Min	26,9	25,4	20,5	23,1
Max	29,6	43,5	40,1	39,1
n	4	11	11	12
Horizont A _h + AE				
\bar{x}	14,4	15,05	17,88	15,53
s	2,364	5,063	5,295	2,734
Min	12,1	8,3	11,7	9,4
Max	19,8	25,2	26,2	20,0
n	11	12	12	12
Horizont B _h + B				
\bar{x}	9,25	9,30	9,530	10,58
s	4,172	-	-	2,419
Min	6,3	-	-	8,7
Max	12,2	-	-	14,1
n	2	1	1	4
Horizont B _v				
\bar{x}	6,68	6,15	6,90	7,53
s	2,004	2,192	1,493	2,065
Min	4,3	4,6	5,2	4,7
Max	9,2	7,7	8,0	10,2
n	4	2	3	9

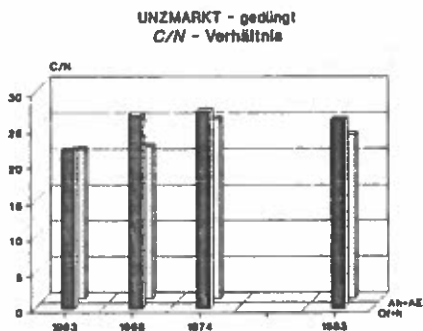
Tab.3.7.2: Unzmarkt - gedüngt, C - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	27.873	32.370	25.919	27.670
s	13.153	24.617	11.234	10.795
Min	12.232	7.080	9.776	15.494
Max	42.624	78.300	49.323	50.820
n	4	11	11	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	74.572	-	-	93.468
Min	35.346	-	-	15.700
Max	125.916	-	-	123.047

.8 C/N-Verhältnis

Das C/N-Verhältnis bleibt im Zeitraum 1968-1983 im Auflagehumus annähernd gleich bei 27. Im A_h+AE -Horizont ist das C/N-Verhältnis im 1. Pentennium bei 21; danach folgt eine signifikante Weitung auf 25; ein Dezennium später verengt sich das C/N-Verhältnis auf 23 (s. Abb. 3.14 und Tab. 3.8).

Abb. 3.14: C/N - Verhältnis



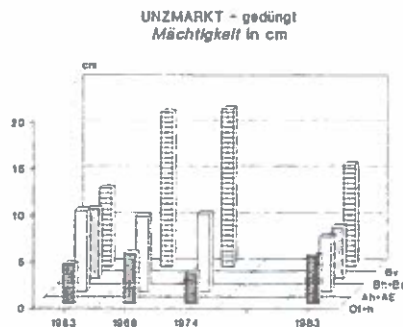
Tab.3.8: Unzmarkt - gedüngt, C/N - Verhältnis

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	22,00	27,00	27,55	26,33
s	6,683	3,633	3,205	2,708
Min	15	22	23	22
Max	31	33	33	30
n	4	11	11	12
		Horizont A _h +AE		
\bar{x}	20,82	21,25	25,00	22,83
s	4,215	4,026	4,349	1,801
Min	14	14	19	20
Max	26	26	34	27
n	11	12	12	12

3.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

Die Mächtigkeit des Auflagehumus schwankt zwischen 3,3cm und 5,5cm, wobei das Maximum 1968 mit der höchsten C-Konzentration (= Gehalt an organischer Substanz) zusammenfällt (s.Tab.3.9). Die Mächtigkeit des A_h+AE-Horizontes sinkt ab 1974 von 8,6cm zuletzt auf 5,9cm; gleichzeitig steigt der Fe₂O₃-Gehalt signifikant (s.Tab.3.10), ebenso der Gehalt an organischer Substanz (s.Abb.3.15) - offensichtlich hat in diesem Zeitraum ein Humusabbau eingesetzt.

Abb.3.15: Mächtigkeit in cm



Tab.3.9: Unzmarkt - gedüngt, Mächtigkeit in cm

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	4,3	5,5	3,3	5,2
s	1,708	3,475	1,272	1,586
Min	2,0	1,0	1,0	3,0
Max	6,0	13,0	5,0	9,0
n	4	11	11	12
Horizont A _h + AE				
\bar{x}	8,7	8,1	8,4	5,9
s	1,790	1,490	1,554	0,973
Min	2,0	2,0	1,0	2,0
Max	20,0	17,0	20,0	15,0
n	11	11	12	12
Horizont B _h + B _s				
\bar{x}	7,5	12,0	6,0	5,5
s	3,536	-	-	3,697
Min	5,0	-	-	2,0
Max	10,0	-	-	10,0
n	2	1	1	4
Horizont B _v				
\bar{x}	8,4	16,7	17,0	10,9
s	4,037	12,702	1,414	3,100
Min	4	2	16	6
Max	14	24	18	16
n	5	3	2	9

Tab.3.10: Unzmarkt - gedüngt, Fe₂O₃ - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,59	1,24	1,22	1,75
s	0,281	0,500	0,318	0,461
Min	0,32	0,50	0,87	0,98
Max	0,88	2,10	1,88	2,31
n	3	11	11	12
Horizont A _h + AE				
\bar{x}	2,68	2,86	2,16	2,88
s	0,753	0,808	0,367	0,386
Min	1,52	1,35	1,50	2,36
Max	3,91	4,00	2,63	3,54
n	11	12	12	12
Horizont B _h + B _s				
\bar{x}	3,31	2,72	2,62	3,40
s	1,174	-	-	0,391
Min	2,48	-	-	3,01
Max	4,14	-	-	3,85
n	2	1	1	4
Horizont B _v				
\bar{x}	3,95	3,83	3,04	3,79
s	0,712	0,111	0,441	0,194
Min	3,04	3,70	2,62	3,49
Max	5,00	4,05	3,50	4,05
n	5	3	3	9

4 Versuchsfläche Karlstift (409)

Versuchs- und Standortsbeschreibung:

Erstaufnahme: November 1964

Niederholungsaufnahmen: 20.10.1969; 24.10.1975; 11.-13.10.1983

Flächengröße: Meßfläche 9x 1250m²,
Behandlungsfläche 9x 2600m²

Eigentümer: Pfeleider'sches Forstamt Karlstift, NÖ

Nutzungsraum 1: Mühl- und Waldviertel

Niederschlag (Karlstift) ... 915mm/Jahr
Temperatur (Karlstift) ... Jänner -3,4°C
Juli 14,0°C ... Jahr 5,2°C

Höhe: 940 m, flach geneigter Südwesthang

Natürliche Waldgesellschaft: *Aira flexuosa*-*Oxalis*-*Fi*-*Bu*-*Ta*-Wald

Aktueller Bestand: *Fi*-Reinbestand, Altholz

Alter zu Versuchsbeginn: 66 Jahre

Moosvegetation: fast vegetationsfrei, etwas Moosdecke
(*Dicranum*); in Lücken *Aira flexuosa* und *Oxalis*

Grundgestein: Weinsberger Granit, biotitreich mit großen Feldspäten

Boden: tiefgründiger, frischer Semipodsol bis schwach ausgeprägter Podsol

Profilaufbau:

l	7 - 5cm	Nadelstreu
f+h	5 - 0cm	Grobmoder
eh	0 - 4cm	sehr stark humos, dunkler Feinmoder mit Bleichsandkörnern
E	4 - 9(10)cm	undeutlicher Bleichhorizont, stellenweise durch violettbraune Humuseinwaschung überdeckt, lehmiger Sand, humos
B _h	9 - 10cm)	nicht durchgehender Horizont, Humuseinwaschungssaum, etwas dicht, platte Struktur
s	10 - 50cm	lehmiger Sand, locker, granuläre Struktur, gut durchwurzelt, intensiv rostbraun (7,5 YR 5/6)
v	50 - 80cm	schwach lehmiger Grobsand, weniger intensiv gefärbt (10 YR 5/5), schwach durchwurzelt, übergehend
c	ab 80cm	Grobsand, fahle Färbung (2,5 Y 5/4), steinig, grusig, strukturlos, lose

DÜNGUNG:

Variante 1 (N(Ca));

1965: Kalkstickstoff 8,30dt/ha = 174kg/ha N
+ 498kg/ha CaO

1967: Nitramoncal 10,25dt/ha = 226kg/ha N
+ 195kg/ha CaO

Variante 2 (NPKCa(Mg));

1965: Kalkstickstoff 8,30dt/ha = 174kg/ha N
+ 498kg/ha CaO
Thomasphosphat 5,80dt/ha = 87kg/ha P₂O₅
+ 290kg/ha CaO
Patentkali 2,90dt/ha = 81kg/ha K₂O
+ 29kg/ha MgO
Mischkalk 5,80dt/ha = 377kg/ha CaO

1967: Nitramoncal 10,25dt/ha = 226kg/ha N
+ 195kg/ha CaO

Veränderungen im Boden

4.1 pH-Wert

Beide Düngungsvarianten bewirkten bis 1969 eine starke pH-Erhö-
 rung im Auflagehumus (s.Tab.4.1.1 und Tab.4.1.2); für die
 NPKCa(Mg)-Variante eine Steigerung um eine ganze pH-Einheit.
 Danach fällt der pH-Wert allmählich wieder auf - bei der
 N(Ca)-Variante etwas unter - den Ausgangswert. Bei der
 NPKCa(Mg)-Variante ist diese Abnahme signifikant. Der A_{eh} -Hori-
 zont verhält sich analog, mit einem gedämpften Verlauf. Nach 2
 Jahrzehnten ist - trotz Düngung - der Anfangs-pH-Wert wieder
 hergestellt (s.Abb.4.1.1 und Abb.4.1.2). Für die
 NPKCa(Mg)-Variante ist der pH-Anstieg im A_{eh} -Horizont im
 1.Dezennium gesichert, die Abnahme im 2.Dezennium höchst signi-
 fikant.

Im A_E - und B_s -Horizont bleiben die pH-Werte bei beiden Düngungs-
 varianten annähernd gleich, mit einer geringfügigen Depression
 1969 und 1973. Somit hat die Düngung nur im Auflagehumus und
 A_{eh} -Horizont den pH-Wert beeinflusst.

Abb.4.1.1: pH - Wert
 Variante 1
 N(Ca)

KARLSTIFT - gedüngt - N(Ca)
 pH - Wert

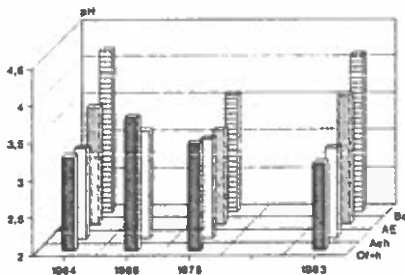
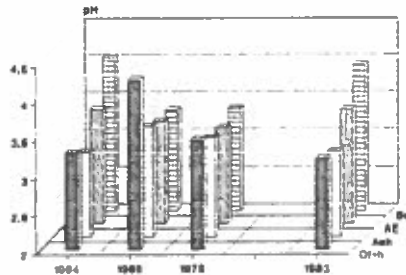


Abb.4.1.2: pH - Wert
 Variante 2
 NPKCa(Mg)

KARLSTIFT - gedüngt - NPKCa(Mg)
 pH - Wert



Tab.4.1.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

pH - Wert

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	3,26	3,78	3,43	3,18
s	0,207	0,465	0,323	0,170
Min	3,1	3,3	3,0	2,9
Max	3,6	4,7	4,0	3,5
n	5	8	10	12
		Horizont A ^{ch}		
\bar{x}	3,20	3,43	3,32	3,20
s	0,293	0,167	0,351	0,265
Min	2,8	3,2	2,9	2,9
Max	3,9	3,7	4,0	3,7
n	11	8	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	3,58	3,40	3,27	3,74
s	0,239	-	0,192	0,343
Min	3,3	-	2,9	3,2
Max	3,9	-	3,6	4,1
n	5	1	12	6
		Horizont B ^s		
\bar{x}	4,18	4,00	3,57	4,11
s	0,184	-	0,289	0,193
Min	3,9	-	3,4	3,9
Max	4,4	-	3,9	4,3
n	6	1	3	6

Tab.4.1.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

pH - Wert

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	3,29	4,28 ----*	3,46 ----*	3,22
s	0,368	0,673	0,246	0,117
Min	2,9	3,4	3,1	3,1
Max	4,1	5,6	4,0	3,5
n	8	10	11	12
		Horizont A ^{eh}		
\bar{x}	3,13	3,47	3,32 ----*	3,14
s	0,243	0,194	0,127	0,139
Min	2,6	3,2	3,1	2,9
Max	3,6	3,8	3,5	3,4
n	11	9	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	3,53	3,37	3,28	3,53
s	0,186	0,058	0,148	0,267
Min	3,3	3,3	3,1	3,1
Max	3,8	3,4	3,6	3,7
n	6	3	10	4
		Horizont B ^s		
\bar{x}	4,06	3,35	3,37	3,96
s	0,182	0,071	0,058	0,199
Min	3,8	3,3	3,3	3,8

4.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

In beiden Düngungsvarianten sinkt der P₂O₅-Gehalt stetig ab (s. Abb. 4.2.1 und 4.2.2); im Auflagehumus von 0,24% auf 0,16%, im O_{eh}-Horizont von 0,16% auf 0,08%. Im A_{eh}-Horizont ist diese Abnahme höchst gesichert. Die Zufuhr von 90 kg/ha P₂O₅ der NPKCa(Mg)-Variante ist in den Analysendaten nicht erkennbar.

Im AE- und B_s-Horizont bleiben die P₂O₅-Gehalte annähernd unverändert um einen Mittelwert von 0,07%, ebenfalls bei beiden Varianten (s. Tab. 4.2.1.1 und Tab. 4.2.1.2).

Die P₂O₅-Menge im Auflagehumus nimmt ebenfalls stark ab bei der Variante NPKCa(Mg) bis 1975 sogar um fast die Hälfte des Ausgangswertes (s. Tab. 4.2.2.2). Danach steigt sie wieder – bei der NPKCa(Mg)-Variante sogar signifikant, bleibt aber unter dem Ausgangswert.

Im Mineralboden bis 15 cm schwanken die P₂O₅-Mengen mit generell abnehmender Tendenz von ca. 700 kg/ha auf 550 kg/ha (s. Abb. 4.3.1 und Abb. 4.3.2).

Die rechnerische Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus ist bei Düngungsvariante NPKCa(Mg) mit 127 kg/ha und bei der N(Ca)-Variante mit 261 kg/ha negativ (s. Tab. 4.2.2.1).

Abb. 4.2.1: P₂O₅ - Gehalt
Variante 1
N(Ca)

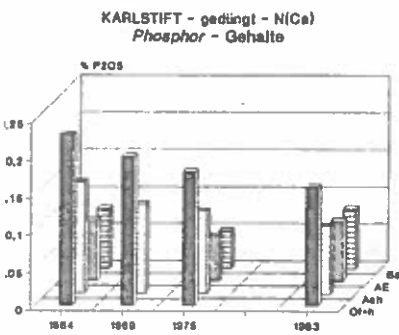


Abb. 4.2.2: P₂O₅ - Gehalt
Variante 2
NPKCa(Mg)

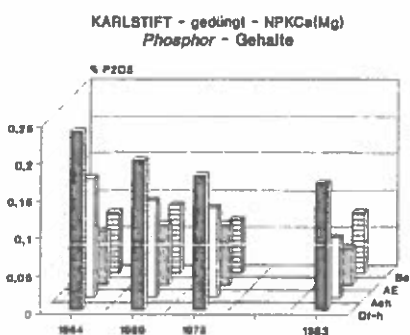


Abb.4.3.1: P_2O_5 - Menge
Variante 1
N(Ca)

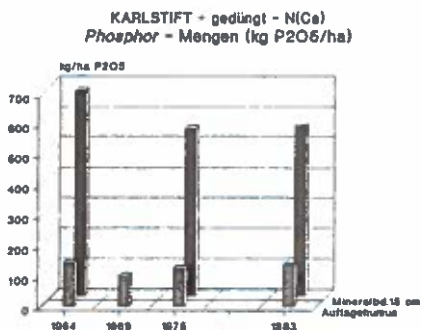
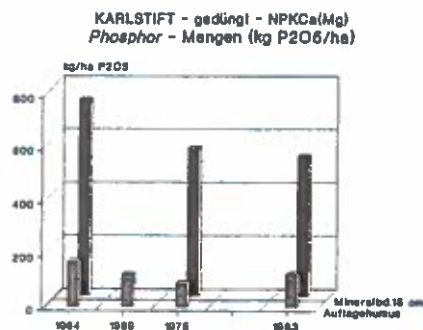


Abb.4.3.2: P_2O_5 - Menge
Variante 2
NPKCa(Mg)



Tab.4.2.1.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)
 P_2O_5 - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	0,23	0,20	0,18	0,16
s	0,012	0,035	0,038	0,023
Min	0,22	0,16	0,10	0,13
Max	0,25	0,24	0,23	0,20
n	5	8	10	12

	Horizont A			
	-----***-----ch			
\bar{x}	0,15	0,12	0,11	0,09
s	0,040	0,045	0,035	0,022
Min	0,09	0,06	0,06	0,04
Max	0,20	0,19	0,18	0,13
n	11	7	12	12

	Horizont AE			
\bar{x}	0,08	0,07	0,06	0,08
s	0,017	-	0,014	0,020
Min	0,06	-	0,04	0,05
Max	0,09	-	0,09	0,10
n	4	1	12	6

	Horizont B			
\bar{x}	0,08	0,08	0,05	0,08
s	0,013	-	0,012	0,012
Min	0,06	-	0,04	0,07
Max	0,09	-	0,06	0,10
n	6	1	3	6

Tab.4.2.1.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

P_2O_5 - Gehalt in %				
	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,24	0,20	0,18	0,17
s	0,023	0,050	0,045	0,028
Min	0,20	0,16	0,06	0,12
Max	0,27	0,30	0,22	0,21
n	8	11	11	12
Horizont A eh				
	-----***-----			
	-----**-----			
\bar{x}	0,16	0,13	0,12	0,08
s	0,030	0,030	0,030	0,016
Min	0,12	0,09	0,07	0,06
Max	0,21	0,16	0,17	0,11
n	11	8	12	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,07	0,08	0,08	0,05
s	0,034	0,020	0,014	0,014
Min	0,04	0,06	0,06	0,03
Max	0,12	0,10	0,10	0,06
n	5	3	10	4
Horizont B s				
\bar{x}	0,08	0,09	0,07	0,08
s	0,018	0,007	0,025	0,024
Min	0,06	0,08	0,05	0,05
Max	0,10	0,09	0,10	0,11
n	5	2	3	6

Tab.4.2.2.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

P_2O_5 - Menge in kg/ha				
	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	145	102	127	137
s	51	29	51	50
Min	85	67	58	85
Max	212	135	198	283
n	5	8	10	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	675	-	550	556
Min	172	-	253	82
Max	1.519	-	1.234	1.102

Tab.4.2.2.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

P_2O_5 - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	168	118	87	122
s	104	74	29	40
Min	66	30	54	86
Max	338	252	132	229
n	8	11	11	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	737	-	553	522
Min	120	-	63	88
Max	1.636	-	1.114	1.301

4.3 K₂O-Gehalt und -Menge

In beiden Düngungsvarianten schwanken die K₂O-Gehalte sowohl im Auflagehumus als auch im A_{eh}-Horizont nur wenig, allenfalls mit einer geringfügig abnehmenden Tendenz (s. Abb. 4.4.1 und Abb. 4.4.2). Auch die K₂O-Konzentrationen im AE- und B_s-Horizont beider Behandlungsvarianten unterliegen nur geringen Schwankungen (s. Tab. 4.3.1.1), mit Ausnahme des 1. Termins der NPKCa(Mg)-Variante, wo der Mittelwert von einem Ausreißer stark gestört ist (s. Tab. 4.3.1.2).

Die K₂O-Menge im Auflagehumus nimmt bei der N(Ca)-Variante im Beobachtungszeitraum 1964-1983 allmählich etwas zu (s. Abb. 4.5.1); bei der NPKCa(Mg)-Variante aber etwas ab (s. Abb. 4.5.2), allerdings um sehr geringe Beträge.

Die Gesamtbilanz ist für den Mineralboden incl. Auflagehumus mit 433 kg/ha bei der NPKCa(Mg)-Variante negativ (s. Tab. 4.3.2.2) und bei der N(Ca)-Variante mit 6 kg/ha positiv (s. Tab. 4.3.2.1).

Die Hochrechnung der K₂O-Mengen in 15 cm Mineralboden ist angesichts der Streuung der Einzelwerte unrealistisch.

Abb.4.4.1: K_2O - Gehalt
Variante 1
N(Ca)

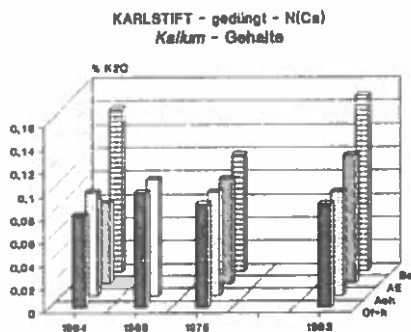


Abb.4.4.2: K_2O - Gehalt
Variante 2
NPKCa(Mg)

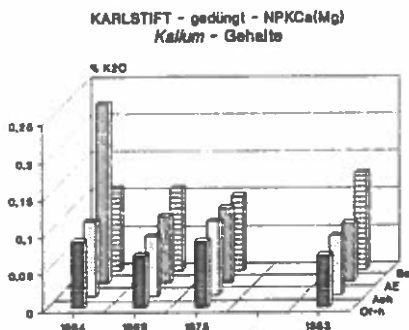


Abb.4.5.1: K_2O - Menge
Variante 1
N(Ca)

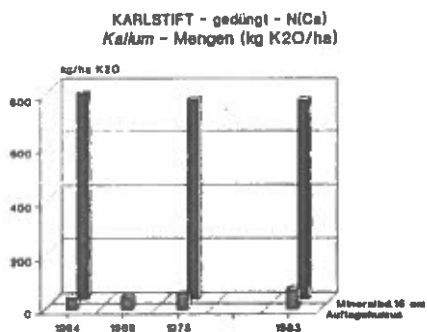
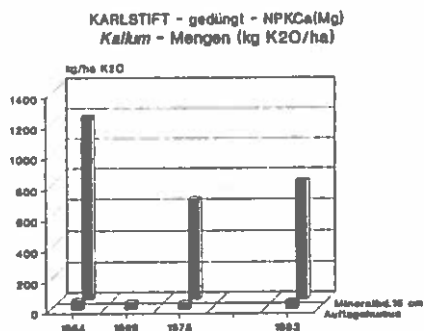


Abb.4.5.2: K_2O - Menge
Variante 2
NPKCa(Mg)



Tab.4.3.1.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

K₂O - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,08	0,10	0,09	0,09
s	0,011	0,017	0,016	0,022
Min	0,06	0,08	0,06	0,06
Max	0,09	0,13	0,11	0,12
n	5	8	10	12
		Horizont A _{ch}		
\bar{x}	0,09	0,10	0,09	0,09
s	0,027	0,022	0,017	0,043
Min	0,05	0,08	0,06	0,05
Max	0,14	0,13	0,10	0,20
n	11	7	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	0,07	0,08	0,09	0,11
s	0,022	-	0,022	0,037
Min	0,06	-	0,06	0,05
Max	0,11	-	0,13	0,15
n	5	1	12	6
		Horizont B _s		
\bar{x}	0,14	0,13	0,10	0,15
s	0,029	-	0,006	0,072
Min	0,10	-	0,09	0,10
Max	0,18	-	0,10	0,29
n	6	1	3	6

Tab.4.3.2.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

K₂O - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	47	50	60	78
s	17	12	20	40
Min	31	36	30	47
Max	68	75	90	195
n	5	8	10	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	768	-	748	743
Min	144	-	212	69
Max	3.343	-	1.426	1.579

Tab.4.3.1.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

K₂O - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,09	0,07	0,09	0,07
s	0,023	0,032	0,011	0,022
Min	0,05	0,01	0,06	0,05
Max	0,13	0,10	0,10	0,12
n	8	11	11	12
		Horizont A		
\bar{x}	0,10	0,08	0,10	0,08
s	0,045	0,030	0,025	0,025
Min	0,05	0,01	0,06	0,04
Max	0,17	0,10	0,15	0,13
n	11	8	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	0,24	0,09	0,10	0,08
s	0,243	0,012	0,028	0,038
Min	0,05	0,08	0,06	0,03
Max	0,63	0,10	0,17	0,11
n	6	3	10	4
		Horizont B		
\bar{x}	0,17	0,11	0,10	0,13
s	0,099	0,035	0,006	0,048
Min	0,08	0,08	0,10	0,07
Max	0,30	0,13	0,11	0,19
n	5	2	3	6

Tab.4.3.2.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

K₂O - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	61	48	45	54
s	36	36	17	20
Min	30	7	24	29
Max	117	115	82	106
n	8	11	11	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	1.187	-	641	761
Min	53	-	88	85
Max	4.737	-	1.585	1.912

4.4 CaO-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus sind die CaO-Gehalte bis 1969 zunächst kräftig angestiegen, in guter Relation zu den gestaffelten CaO-Gaben, stärker bei der NPKCa(Mg)-Variante (s.Abb.4.6.2). Bis 1975 sanken sie bei Variante NPKCa(Mg) wieder ab, bei der N(Ca)-Variante (s.Abb.4.6.1) stiegen sie weiter, auf einen gemeinsamen Wert vor 0,59%. Bis 1983 ist Variante N(Ca) unter den Ausgangswert gesunken, Variante NPKCa(Mg) liegt noch darüber.

Im Gegensatz zu den pH-Werten ist aus den CaO-Konzentrationen 1969 noch kein Vordringen des Düngerkalkes in den A_{eh} -Horizont erkennbar. Die Ca-reichere Bodenlösung führt offenbar noch zu keiner Erhöhung der Gesamt-CaO-Gehalte.

Im A_{eh} -Horizont sinkt der CaO-Gehalt im Zeitraum 1964–1983 bei beiden Düngungsvarianten von 0,24% bzw. 0,21% auf 0,09% bzw. 0,14% ab, jeweils statistisch hoch bzw. höchst signifikant (s.Tab.4.4.1.1 und Tab.4.4.1.2). In den Zeiträumen dazwischen treten Schwankungen auf, die aber keine Wirkung von Düngerkalk erkennen lassen. Die Abnahme 1975–1983 ist bei beiden Behandlungsvarianten hoch gesichert. Der AE-Horizont zeigt hoch gesichert den gleichen Trend in der N(Ca)-Variante; ähnlich verhält sich der CaO-Gehalt im B_s -Horizont.

Auch die CaO-Menge im Auflagehumus ist bei der NPKCa(Mg)-Variante im Jahre 1964 (s.Abb.4.7.2), bei der N(Ca)-Variante erst 1975 am höchsten (s.Abb.4.7.1). Danach nehmen die CaO-Mengen wieder ab, bei Variante N(Ca) auf den Ausgangswert (s.Tab.4.4.2.1), bei der NPKCa(Mg)-Variante auf 200kg/ha darüber (s.Tab.4.4.2.2).

Die Hochrechnung von CaO-Mengen im Mineralboden ist angesichts der gewaltigen Streuung irrelevant, ebenso die Angabe einer Gesamtbilanz.

Abb.4.6.1: CaO - Gehalt
 Variante 1
 N(Ca)

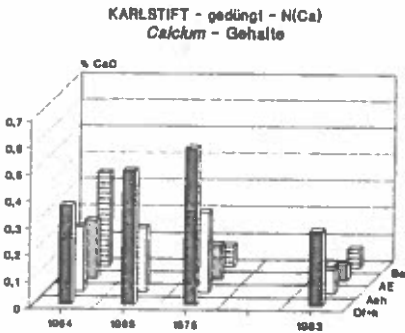


Abb.4.6.2: CaO - Gehalt
 Variante 2
 NPKCa(Mg)

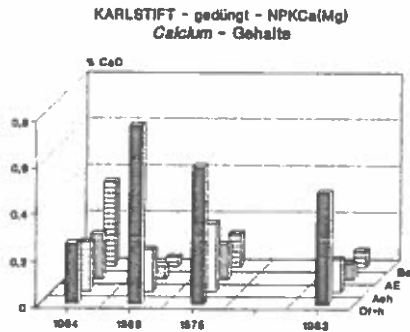


Abb.4.7.1: CaO - Menge
 Variante 1
 N(Ca)

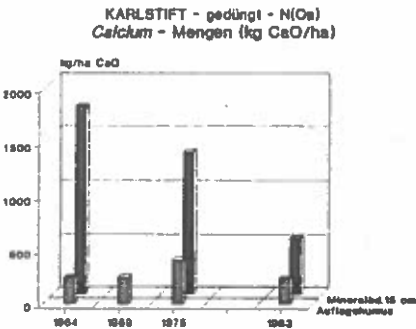
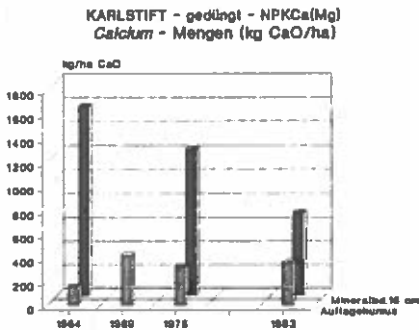


Abb.4.7.2: CaO - Menge
 Variante 2
 NPKCa(Mg)



Tab.4.4.1.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

CaO - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	0,37	0,50	0,59	0,28
s	0,160	0,356	0,237	0,091
Min	0,22	0,05	0,30	0,16
Max	0,56	0,95	1,13	0,45
n	5	8	10	12
	Horizont A			
	-----**--ch-----			
\bar{x}	0,24	0,24	0,30	0,09
s	0,125	0,247	0,164	0,032
Min	0,04	0,05	0,10	0,04
Max	0,51	0,82	0,75	0,15
n	11	8	12	12
	Horizont AE			
	-----**--s-----			
\bar{x}	0,22	0,05	0,13	0,06
s	0,064	-	0,050	0,017
Min	0,12	-	0,05	0,03
Max	0,28	-	0,23	0,08
n	5	1	12	6
	Horizont B			
	-----**--s-----			
\bar{x}	0,35	0,02	0,08	0,07
s	0,066	-	0,029	0,031
Min	0,28	-	0,05	0,04
Max	0,45	-	0,10	0,13
n	6	1	3	6

Tab.4.4.2.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

CaO - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	246	249	413	242
s	160	182	226	103
Min	85	37	225	130
Max	433	513	915	436
n	5	8	10	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	1.745	-	1.326	521
Min	182	-	412	156
Max	4.378	-	4.531	1.051

Tab.4.4.1.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

CaO - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	0,26	0,77	0,59	0,48
s	0,140	0,370	0,195	0,108
Min	0,11	0,37	0,30	0,32
Max	0,56	1,55	0,87	0,68
n	8	10	11	12
	Horizont A ch			
\bar{x}	0,21	0,18	0,29	0,14
s	0,050	0,114	0,149	0,041
Min	0,11	0,02	0,12	0,07
Max	0,28	0,40	0,60	0,20
n	11	8	12	12
	Horizont AE			
\bar{x}	0,19	0,06	0,15	0,07
s	0,086	0,040	0,035	0,022
Min	0,11	0,02	0,10	0,05
Max	0,33	0,10	0,20	0,10
n	6	3	10	4
	Horizont B s			
\bar{x}	0,36	0,04	0,14	0,07
s	0,194	0,021	0,012	0,026
Min	0,12	0,02	0,13	0,05
Max	0,56	0,05	0,15	0,12
n	5	2	3	6

Tab.4.4.2.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

CaO - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	158	426	320	366
s	74	303	206	140
Min	69	3	144	221
Max	264	977	792	700
n	8	11	11	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	1.581	-	1.221	696
Min	128	-	113	169
Max	4.303	-	2.704	1.326

4.5 MgO-Gehalt und -Menge

Die marginale Gabe von 29kg/ha MgO in der NPKCa(Mg)-Variante läßt keinerlei Effekt auf die MgO-Gehalte erwarten.

In den ersten 11 Jahren nimmt die MgO-Konzentration im Auflagehumus von 0,19% auf 0,11% ab; danach bleibt er bei der NPKCa(Mg)-Variante konstant (s.Abb.4.8.2), bei der N(Ca)-Variante steigt er auf 0,14% (s.Abb.4.8.1).

Im A_{eh} -Horizont sind die MgO-Gehalte nach 19 Jahren jenen zu Versuchsbeginn ähnlich; bei der N(Ca)-Variante ist ein ungesicherter Anstieg von 0,16% auf 0,19% eingetreten (s.Tab.4.5.1.1). Zum Zwischentermin 1969 ist jedoch in allen Horizonten ein markantes Minimum erkennbar. Dies weist wohl auf einen systematischen Analysenfehler zumindest zu diesem Termin. Auf die Problematik insbesondere der Vergleichbarkeit der MgO-Analyse wurde in 1.Band dieser Studie eingegangen. Der ähnliche Verlauf und insbesondere Anstieg von 0,02% auf 0,38% im B_s -Horizont ist wohl auch nur so zu erklären (s.Tab.4.5.1.2).

Die MgO-Menge im Auflagehumus bleibt bei der N(Ca)-Variante über 19 Jahre nahezu unverändert (s.Abb.4.9.1 und Tab.4.5.2.1), bei der NPKCa(Mg)-Variante nimmt sie etwas ab (s.Abb.4.9.2 und Tab.4.5.2.2). Die Zwischentermine sind unsicher und vermutlich fehlerhaft. Die MgO-Mengen im mineralischen Oberboden sind angesichts der unsicheren Ausgangsdaten eine unzulässige Hochrechnung und nur aus Gründen der formalen Vollständigkeit gegeben.

Abb.4.8.1: MgO – Gehalt
 Variante 1
 N(Ca)

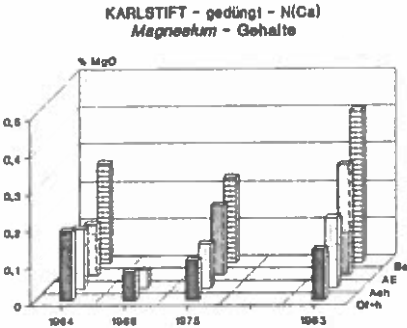


Abb.4.8.2: MgO – Gehalt
 Variante 2
 NPKCa(Mg)

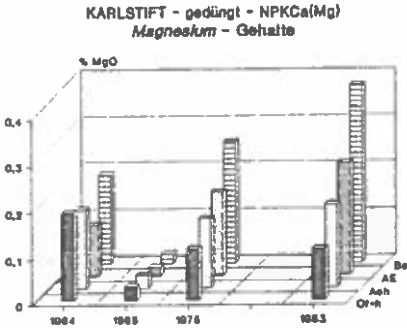


Abb.4.9.1: MgO – Menge
 Variante 1
 N(Ca)

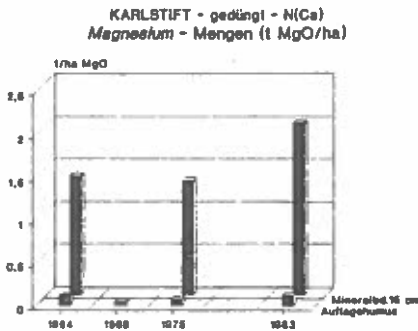
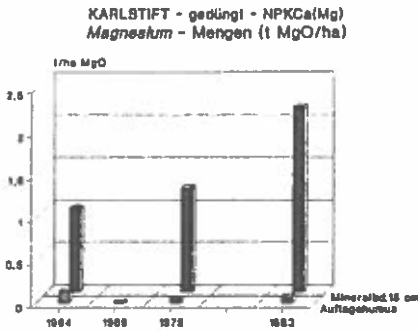


Abb.4.9.2: MgO – Menge
 Variante 2
 NPKCa(Mg)



Tab.4.5.1.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)
MgO - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,19	0,08	0,11	0,14
s	0,072	0,170	0,038	0,058
Min	0,08	0,02	0,06	0,07
Max	0,24	0,50	0,20	0,23
n	5	8	10	12
Horizont A ^{ch}				
\bar{x}	0,16	0,05	0,12	0,19
s	0,049	0,049	0,045	0,139
Min	0,08	0,02	0,05	0,05
Max	0,28	0,15	0,21	0,52
n	11	8	12	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,14	0,02	0,19	0,30
s	0,038	-	0,094	0,118
Min	0,08	-	0,06	0,11
Max	0,17	-	0,38	0,43
n	5	1	12	6
Horizont B ^s				
\bar{x}	0,27	0,25	0,23	0,41
s	0,083	-	0,049	0,121
Min	0,16	-	0,17	0,33
Max	0,39	-	0,26	0,65
n	6	1	3	6

Tab.4.5.2.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)
MgO - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	111	55	79	114
s	36	129	44	52
Min	68	7	31	60
Max	165	375	162	230
n	5	8	10	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	1.383	-	1.329	2.002
Min	177	-	342	82
Max	5.049	-	3.191	4.654

Tab.4.5.1.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,19	0,03	0,11	0,11
s	0,114	0,013	0,034	0,040
Min	0,08	0,02	0,07	0,07
Max	0,38	0,05	0,20	0,19
n	8	10	11	12
		Horizont A ^{eh}		
\bar{x}	0,17	0,03	0,15	0,18
s	0,089	0,028	0,083	0,113
Min	0,08	0,02	0,09	0,05
Max	0,32	0,10	0,33	0,47
n	11	8	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	0,11	0,02	0,18	0,24
s	0,039	0,000	0,100	0,137
Min	0,08	0,20	0,10	0,05
Max	0,16	0,02	0,45	0,37
n	6	3	10	4
		Horizont B ^s		
\bar{x}	0,19	0,02	0,26	0,38
s	0,066	0,000	0,023	0,156
Min	0,12	0,02	0,25	0,18
Max	0,28	0,02	0,29	0,64
n	5	2	3	6

Tab.4.5.2.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	125	14	58	77
s	102	6	24	25
Min	28	3	29	48
Max	352	23	102	123
n	8	11	11	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	991	-	1.230	2.184
Min	151	-	202	118
Max	2.163	-	3.935	5.938

4.6 N-Gehalt und -Menge

Eine Düngerwirkung ist nur bei der N(Ca)-Variante im Auflagehumus mit einem Anstieg 1975 auf 1,37% erkennbar; anschließend sinkt der N-Gehalt unter den Ausgangswert (s.Abb.4.10.1). Bei der NPKCa(Mg)-Variante pendelt die N-Konzentration im Auflagehumus um 1,30% (s.Abb.4.10.2).

Im A_{eh} -Horizont nimmt der N-Gehalt über den Gesamtzeitraum hoch gesichert von 0,77% bzw. 0,90% auf 0,45% ab (s.Tab.4.6.1.1 und Tab.4.6.1.2).

Im AE- und B_s -Horizont bleibt bei beiden Düngungsvarianten der N-Gehalt unter zwischenzeitlichen z.T. beachtlichen Anstiegen (Fehler oder Perkolation ?!) konstant; abgesehen von einer Abnahme bei der NPKCa(Mg)-Variante von 0,19% auf 0,15%.

Die N-Menge im Auflagehumus nimmt zunächst bis 1969 ab (s.Abb.4.11.1 und Abb.4.11.2), danach jedoch bis 1975 bzw. 1983 von 0,6t/ha (bei der NPKCa(Mg)-Variante signifikant) auf 1t/ha zu.

Die N-Menge im mineralischen Oberboden schwankt uneinheitlich, die Werte sind für eine Aussage zu unsicher (s.Tab.4.6.2.1 und Tab.4.6.2.2).

Abb.4.10.1: N - Gehalt
Variante 1
N(Ca)

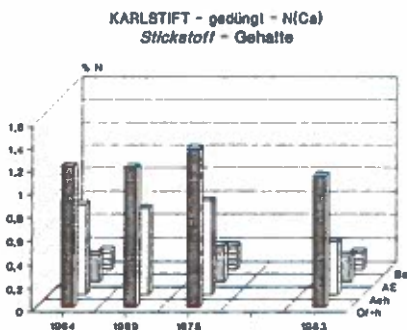


Abb.4.10.2: N - Gehalt
Variante 2
NPKCa(Mg)

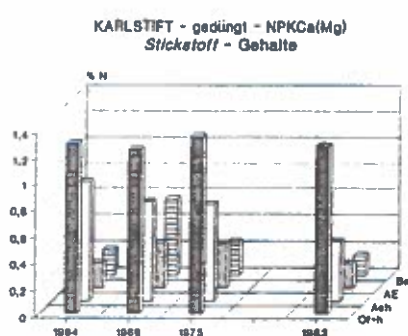


Abb.4.11.1: N - Menge
Variante 1
N(Ca)

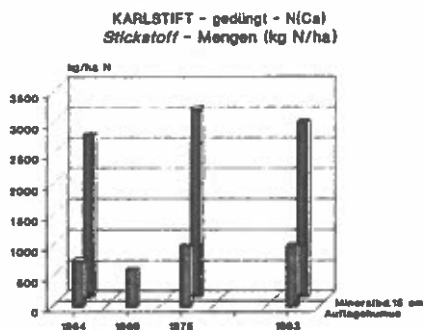
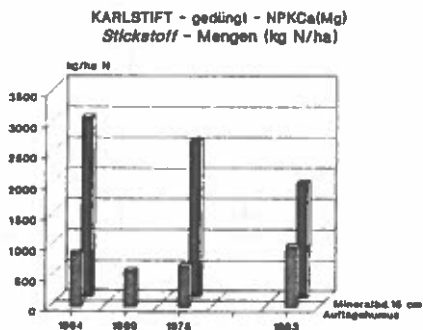


Abb.4.11.2: N - Menge
Variante 2
NPKCa(Mg)



Tab.4.6.1.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)
N - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	1,21	1,20	1,37	1,13
s	0,277	0,198	0,205	0,152
Min	0,72	0,92	1,04	0,91
Max	1,39	1,50	1,62	1,42
n	5	8	10	12
Horizont A ch				
\bar{x}	0,77	0,74	0,80	0,45
s	0,209	0,279	0,198	0,102
Min	0,53	0,41	0,48	0,27
Max	1,15	1,17	1,19	0,63
n	11	8	12	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,23	0,25	0,31	0,22
s	0,064	-	0,064	0,059
Min	0,15	-	0,23	0,14
Max	0,32	-	0,41	0,30
n	5	1	12	6
Horizont B s				
\bar{x}	0,16	0,19	0,20	0,15
s	0,043	-	0,012	0,042
Min	0,11	-	0,19	0,10
Max	0,22	-	0,21	0,20
n	6	1	3	6

Tab.4.6.1.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

N - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1,30	1,25	1,35	1,28
s	0,086	0,239	0,279	0,128
Min	1,15	0,84	0,60	1,08
Max	1,43	1,52	1,61	1,49
n	8	10	11	12
		Horizont A		
		ch		
\bar{x}	0,90	0,74	0,72	0,45
s	0,302	0,189	0,296	0,109
Min	0,49	0,48	0,31	0,20
Max	1,48	0,97	1,24	0,60
n	11	9	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	0,19	0,34	0,33	0,19
s	0,048	0,147	0,067	0,026
Min	0,14	0,17	0,24	0,17
Max	0,25	0,45	0,43	0,23
n	6	3	10	4
		Horizont B		
\bar{x}	0,19	0,57	0,25	0,15
s	0,057	0,417	0,067	0,025
Min	0,15	0,27	0,19	0,11
Max	0,29	0,86	0,32	0,18
n	5	2	3	6

Tab.4.6.2.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

N - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	788	631	1.003	1.009
s	343	173	482	473
Min	280	407	495	493
Max	1.147	832	2.138	2.301
n	5	8	10	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	2.660	-	3.099	2.874
Min	412	-	1.394	710
Max	7.035	-	5.950	12.033

Tab.4.6.2.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)
N - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
		-----*		
\bar{x}	898	619	703	1.010
s	515	417	319	455
Min	429	9	306	626
Max	1.911	1.322	1.392	2.218
n	8	11	11	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	2.941	-	2.555	1.873
Min	717	-	214	550
Max	6.017	-	5.982	3.626

4.7 C-Gehalt und -Menge

Die Analysendaten für Gesamt-Kohlenstoff liegen wiederum nur für die Periode 1969-1983 vor.

Nur die Abnahme des C-Gehaltes im A_{eh} -Horizont von 1975 bis 1983 ist bei beiden Varianten signifikant (s.Abb.4.12.1 und Tab.4.7.1.1, Abb.4.12.2 und Tab.4.7.1.2).

Die Menge an C und damit an organischer Substanz nimmt im Auflagehumus deutlich bei der N(Ca)-Variante um 10t/ha zu (s.Abb.4.13.1); bei der NPKCa(Mg)-Variante um 6t/ha (s.Abb.4.13.2).

Im mineralischen Oberboden nimmt die C-Menge im Zeitraum 1975-1983 in beiden Düngungsvarianten ab (s.Tab.4.7.2.1 und Tab.4.7.2.2).

Die konkreten Rechenwerte sind dabei zweifellos unkorrekt, der Trend darf aber wohl als zutreffend gelten. Die errechnete Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus wäre für die Behandlungsvariante N(Ca) mit fast 12t/ha und für die NPKCa(Mg)-Variante mit fast 25t/ha positiv; dies entspräche einem Gewinn von fast 21t/ha bzw. 42t/ha organischer Substanz.

Abb.4.12.1: C - Gehalt
Variante 1
N(Ca)

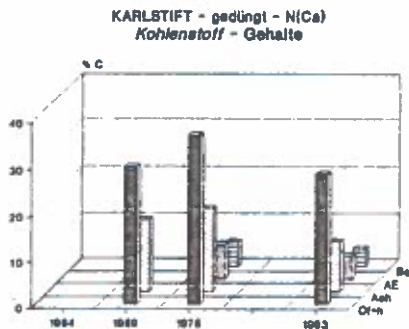


Abb.4.12.2: C - Gehalt
Variante 2
NPKCa(Mg)

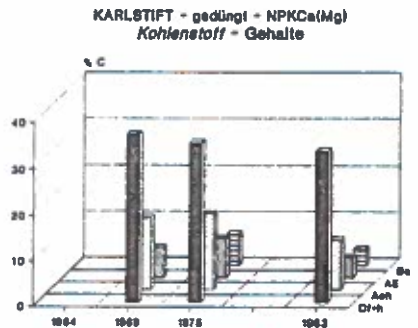


Abb.4.13.1: C - Menge
Variante 1
N(Ca)

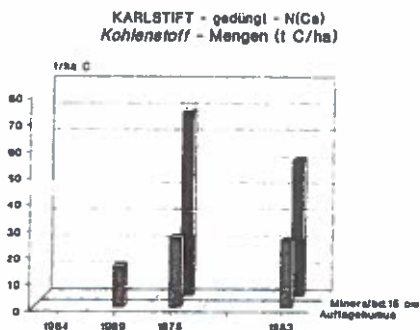
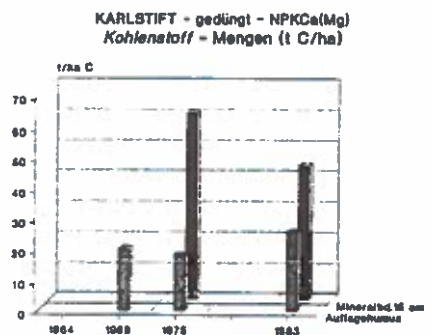


Abb.4.13.2: C - Menge
Variante 2
NPKCa(Mg)



Tab.4.7.1.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

C - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	-	29,74	36,65	28,23
s	-	8,614	5,332	5,514
Min	-	19,2	24,9	20,2
Max	-	42,0	45,1	37,9
n	-	8	10	12
Horizont A ^{ch}				
\bar{x}	-	15,86	18,08	10,93
s	-	8,367	5,120	2,861
Min	-	7,6	10,0	6,2
Max	-	31,8	25,5	16,1
n	-	8	12	12
Horizont AE				
\bar{x}	-	4,60	7,57	5,02
s	-	-	2,123	1,317
Min	-	-	4,4	3,7
Max	-	-	11,2	7,1
n	-	1	12	6
Horizont B ^s				
\bar{x}	-	-	5,40	3,88
s	-	-	0,819	1,389
Min	-	-	4,7	1,90
Max	-	-	6,3	5,5
n	-	-	3	6

Tab.4.7.2.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

C - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	-	15.205	26.474	25.361
s	-	4.300	11.250	11.978
Min	-	10.416	11.979	10.706
Max	-	22.680	49.896	54.339
n	-	8	10	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	-	-	69.387	51.182
Min	-	-	28.875	18.421
Max	-	-	117.192	88.062

Tab.4.7.1.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)
C - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	36,48	34,70	32,88
s	-	9,183	7,704	4,465
Min	-	21,5	17,8	26,4
Max	-	53,5	44,7	42,0
n	-	10	11	12
		Horizont A		
\bar{x}	-	15,90	16,67	11,02
s	-	6,038	7,143	2,790
Min	-	8,8	7,0	4,7
Max	-	24,3	29,2	14,4
n	-	8	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	-	6,65	8,48	4,40
s	-	0,354	2,212	0,983
Min	-	6,4	5,7	3,5
Max	-	6,9	12,8	5,6
n	-	2	10	4
		Horizont B		
\bar{x}	-	-	6,77	3,58
s	-	-	2,359	0,717
Min	-	-	4,3	2,6
Max	-	-	9,0	4,5
n	-	-	3	6

Tab.4.7.2.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)
C - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	20.203	18.180	25.948
s	-	13.366	8.361	11.718
Min	-	5.805	9.078	14.364
Max	-	48.760	33.488	55.968
n	-	10	11	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	-	-	61.186	43.980
Min	-	-	5.103	16.000
Max	-	-	139.144	85.623

4.8 C/N-Verhältnis

Bei der N(Ca)-Variante schwankt das C/N-Verhältnis im Auflagehumus um 25 (s.Abb.4.14.1); bei der NPKCa(Mg)-Variante sollte die Abnahme von 29 auf 26 auf verbesserte Humusqualität hinweisen (s.Abb.4.14.2). Im A_{eh}-Horizont wird das C/N-Verhältnis in beiden Behandlungsvarianten während des Beobachtungszeitraumes allmählich weiter (s.Tab.4.8.1 und Tab.4.8.2). Allerdings fehlen hier die Ausgangswerte von 1964.

Abb.4.14.1: C/N - Verhältnis
Variante 1
N(Ca)

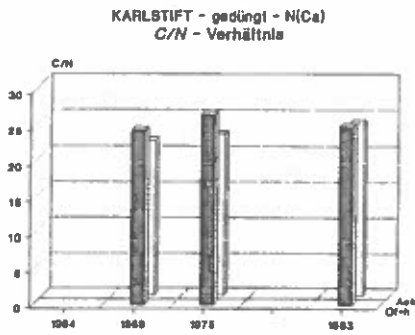
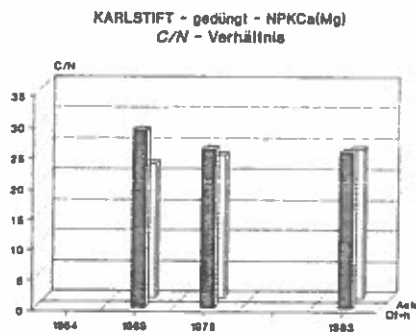


Abb.4.14.2: C/N - Verhältnis
Variante 2
NPKCa(Mg)



Tab.4.8.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)
C/N - Verhältnis

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	24,63	26,80	25,17
s	-	4,438	3,048	3,129
Min	-	17	23	22
Max	-	30	31	32
n	-	8	10	12
		Horizont A _{eh}		
\bar{x}	-	21,75	22,64	24,17
s	-	7,344	3,233	3,099
Min	-	8	19	20
Max	-	33	29	31
n	-	8	12	12

Tab.4.8.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)
C/N - Verhältnis

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	-	29,20	26,09	25,58
s	-	4,756	3,986	2,109
Min	-	23	19	22
Max	-	37	33	29
n	-	10	11	12
Horizont A _{eh}				
\bar{x}	-	22,00	23,42	24,42
s	-	4,957	3,872	1,975
Min	-	13	17	21
Max	-	28	32	29
n	-	8	12	12

4.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

Die Mächtigkeit des Auflagehumus bleibt über den gesamten Versuchszeitraum annähernd gleich; bei Variante N(Ca) mit 3-4cm (s.Abb.4.15.1), bei der NPKCa(Mg)-Variante mit 4-5cm (s.Abb.4.15.2). Der Fe₂O₃-Gehalt bleibt annähernd konstant (s.Tab.4.10.1) bzw. nimmt bei der NPKCa(Mg)-Variante geringfügig von 0,71% auf 0,77% zu (s.Tab.4.10.2).

Der A_{eh}-Horizont bleibt im Beobachtungszeitraum 1964-1983 annähernd gleich mächtig (s.Tab.4.9.1 und 4.9.2). Die Schwankungen der Fe₂O₃-Gehalte reichen nicht für eine Interpretation aus.

Abb.4.15.1: Mächtigkeit in cm
Variante 1
N(Ca)

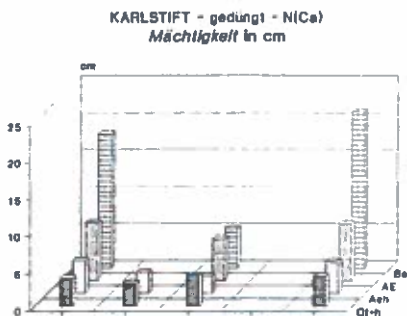
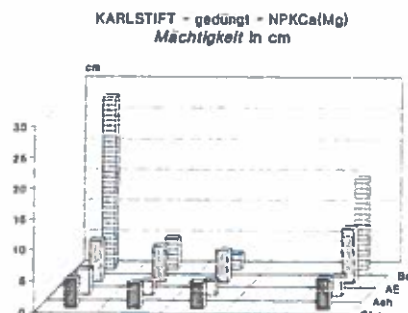


Abb.4.15.2: Mächtigkeit
Variante 2
NPKCa(Mg)



Tab.4.9.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)
Mächtigkeit in cm

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	3,8	3,1	4,2	4,0
s	0,837	0,835	0,789	1,206
Min	3	2	3	2
Max	5	5	5	6
n	5	8	10	12
		Horizont A		
\bar{x}	4,5	2,9	ch 2,4	4,3
s	1,635	1,126	0,900	1,670
Min	3	2	1	2
Max	8	5	4	7
n	11	9	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	7,8	7,0	5,6	7,7
s	6,907	-	2,234	1,862
Min	3	-	1	6
Max	20	-	10	10
n	5	1	12	6
		Horizont B		
\bar{x}	18,2	13,0	s 5,3	21,2
s	14,190	-	4,163	9,411
Min	3	-	2	6
Max	40	-	10	29
n	6	1	3	6

Tab.4.9.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)
Mächtigkeit in cm

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	4,5	3,9	4,0	4,8
s	1,690	1,578	1,095	1,545
Min	2	2	3	3
Max	7	7	6	8
n	8	11	11	12
		Horizont A		
\bar{x}	4,0	2,3	ch 2,2	3,1
s	1,095	0,707	1,030	0,669
Min	2	2	1	2
Max	5	4	4	4
n	11	9	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	6,7	5,7	5,1	8,8
s	2,944	5,686	2,558	1,708
Min	3	1	2	7
Max	11	12	10	11
n	6	3	10	4
		Horizont B		
\bar{x}	28,0	5,0	s 2,5	14,8
s	11,314	2,828	0,707	11,215
Min	10	3	2	6
Max	39	7	3	34
n	5	2	2	2

Tab.4.10.1: Karlstift - gedüngt; Variante N(Ca)

Fe_2O_3 - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,75	0,99	0,84	0,97
s	0,303	0,237	0,337	0,381
Min	0,48	0,60	0,37	0,39
Max	1,12	1,35	1,62	1,61
n	5	8	10	12
		Horizont A ^{eh}		
\bar{x}	1,34	1,68	1,40	1,47
s	0,411	0,590	0,487	0,702
Min	0,54	0,85	0,62	0,45
Max	1,92	2,50	2,25	2,39
n	11	8	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	2,10	1,80	1,95	2,35
s	0,555	-	0,577	0,392
Min	1,44	-	1,00	1,75
Max	2,88	-	2,88	2,91
n	5	1	12	6
		Horizont B ^s		
\bar{x}	3,46	4,50	2,83	2,87
s	0,637	-	0,878	0,271
Min	2,70	-	2,00	2,56
Max	4,39	-	3,75	3,30
n	6	1	3	6

Tab.4.10.2: Karlstift - gedüngt; Variante NPKCa(Mg)

Fe_2O_3 - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,85	0,71	0,91	0,77
s	0,457	0,355	0,301	0,255
Min	0,40	0,10	0,50	0,45
Max	1,67	1,35	1,50	1,27
n	8	11	11	12
		Horizont A ^{eh}		
\bar{x}	1,54	0,98	1,43	1,29
s	0,989	0,347	0,516	0,460
Min	0,40	0,40	0,87	0,40
Max	3,56	1,35	2,50	2,31
n	11	8	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	1,52	1,18	1,99	1,81
s	0,334	0,116	0,636	0,912
Min	1,03	1,05	1,25	0,54
Max	2,07	1,25	3,12	2,71
n	6	3	10	4
		Horizont B ^s		
\bar{x}	2,72	2,08	3,08	2,56
s	0,872	0,679	0,903	0,223
Min	1,59	1,60	2,50	2,17
Max	3,75	2,56	4,12	2,81
n	5	2	2	5

5 Vergleich gedüngter mit unbehandelten Parzellen

5.1 GROTTENHOF

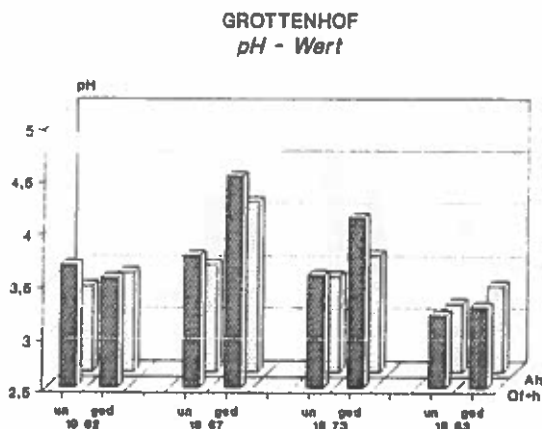
5.1.1 pH-Wert

Auch auf den unbehandelten Flächen stieg der pH-Wert zunächst (bis 1967) etwas an, jedoch nur um 0,1 bzw. 0,2 pH-Stufen.

Der kräftige Anstieg des pH-Wertes nach der Düngung im Auflagehumus und A_h -Horizont unterscheidet sich signifikant vom Trend der unbehandelten Parzellen. Danach folgen die gedüngten Flächen den Schwankungen der Unbehandelten, jedoch auf einem höheren pH-Niveau (s.Abb.5.1.1); der anfängliche Unterschied nimmt bis 1983 allmählich ab. Die mittleren Endwerte liegen aber in allen Fällen merklich unter den Ausgangswerten.

Die Düngung/Kalkung konnte die allgemeine Versauerungstendenz somit mildern und verzögern, aber nicht aufhalten.

Abb.5.1.1: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

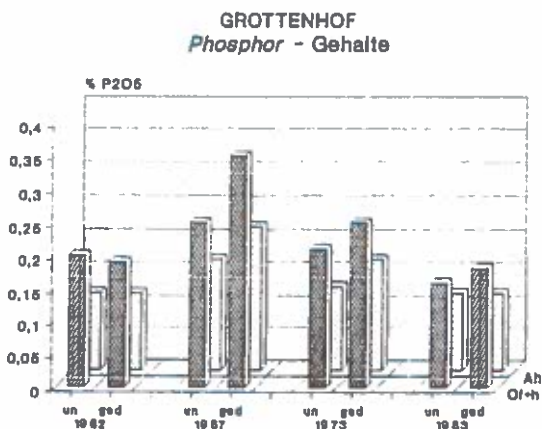


5.1.2 Phosphor

Der Verlauf der P_2O_5 -Konzentrationen ist dem der unbehandelten Flächen ähnlich, doch übertrifft der sprunghafte Anstieg im Auflagehumus und A_h -Horizont der gedüngten Flächen bis 1967 die auch in den unbehandelten Parzellen gemessene Zunahme deutlich. Die positive Differenz bleibt im A_h -Horizont bis 1973, im Auflagehumus bis 1983 erhalten.

Der Dünger-P (Thomasphosphat) ist offensichtlich bereits nach 5 Jahren bis in den Mineralboden gelangt, nach 20 Jahren dort aber nicht mehr erkennbar. Der noch 1983 etwas P_2O_5 -reichere Auflagehumus könnte auf einer noch vorhandenen Anreicherung in der Nadelmasse weisen. Insgesamt wurden jedoch in beiden Gruppen die Ausgangsgehalte nach 20 Jahren unterschritten (s. Abb. 5.1.2).

Abb. 5.1.2: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

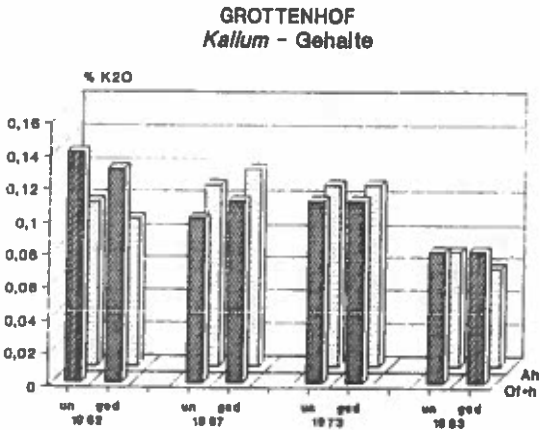


5.1.3 Kalium

Nach 5 Jahren ist im Auflagehumus und besonders im A_h -Horizont eine relative Anhebung des K_2O -Gehaltes durch Zufuhr von Patentkali(119kg/ha K_2O) erkennbar, zumal die Ausgangswerte für K_2O auf den gedüngten Parzellen deutlich niedriger waren. Die K_2O -Mengen zeigen 1967 sogar ein deutliches Maximum im Auflagehumus gegenüber einem ziemlich unveränderten Wert in den unbehandelten Flächen.

Die Düngerwirkung war jedoch relativ kurzfristig; sie ist 1973 allenfalls aus noch gleich hohen Werten gegenüber Unbehandelt abzuleiten. 1983 ist der K_2O -Gehalt im Mineralboden der gedüngten Flächen wieder um den gleichen Betrag niedriger als zu Versuchsbeginn (s.Abb.5.1.3). Alle K_2O -Gehalte liegen zuletzt merklich unter den Ausgangswerten.

Abb.5.1.3: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

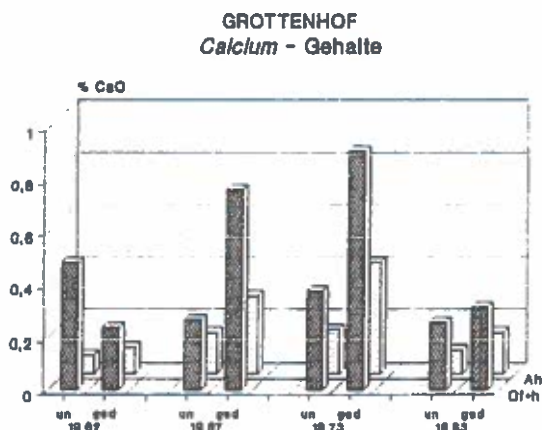


5.1.4 Calcium

Die CaO-Gehalte verhalten sich analog zu den pH-Werten:

Die zwischen 1963 und 1965 insgesamt zugeführten 1080kg/ha CaO schlagen sich in einer kräftigen Erhöhung der CaO-Konzentration, auch im Mineralboden, nieder (s.Abb.5.1.4). Die Differenz gegenüber Unbehandelt bleibt bis 1973 in vollem Umfang, bis 1983 undeutlich erhalten und überlagert die temporären - gleichsinnigen - Schwankungen aller Parzellen. Im Gegensatz zur Null-Variante konnten sich die Absolutwerte über 20 Jahre halten (sogar etwas ansteigen). Die große Streuung der Einzelwerte und der Mittelwerte zu Versuchsbeginn relativieren jedoch alle Aussagen.

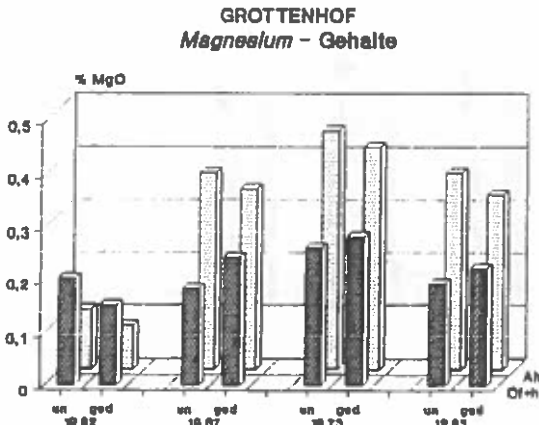
Abb.5.1.4: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.1.5 Magnesium

Auch hier ist die Ausgangslage auf den gedüngten Parzellen für den MgO-Gehalt ungünstiger (s.Abb.5.1.5). Durch Patentkali wurden 43kg/ha MgO ausgebracht, eine Menge, die im Gesamtgehalt kaum nachzuweisen ist. Die schon diskutierten systematischen Analysefehler, die für MgO durch die wiederholten Methodenänderungen unterstellt werden müssen, sollten für eine Quervergleich innerhalb eines Termines keine Rolle spielen. Dennoch sind keine signifikanten Abweichungen zwischen gedüngten und unbehandelten Parzellen erkennbar, abgesehen von einer geringfügigen aber nachhaltigen Anhebung im Auflagehumus.

Abb.5.1.5: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

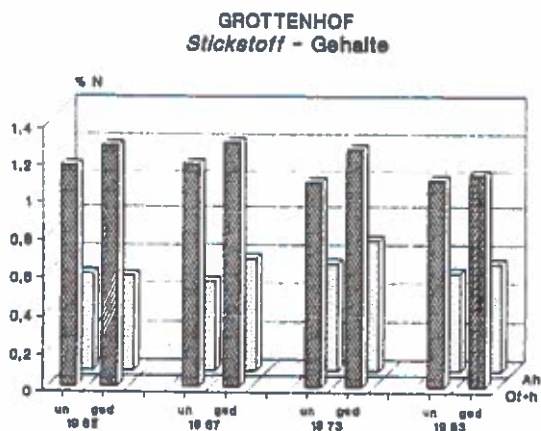


5.1.6 Stickstoff

Obwohl 390kg/ha N zugeführt wurden, ist im Auflagehumus kein abweichender Trend gegenüber den unbehandelten Parzellen erkennbar (s. Abb. 5.1.6). Im A_h -Horizont war der N-Gehalt bis 1973 vergleichsweise erhöht, gegenüber Unbehandelt ist dieser Unterschied nicht gesichert.

Für die Entscheidung, ob die gegenüber den unbehandelten Parzellen um Größenordnungen höheren N-Gehalte im AE- und B_t -Horizont nur Zufall oder nachhaltiger Düngereffekt sind, ist deren Probenzahl zu gering.

Abb. 5.1.6: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

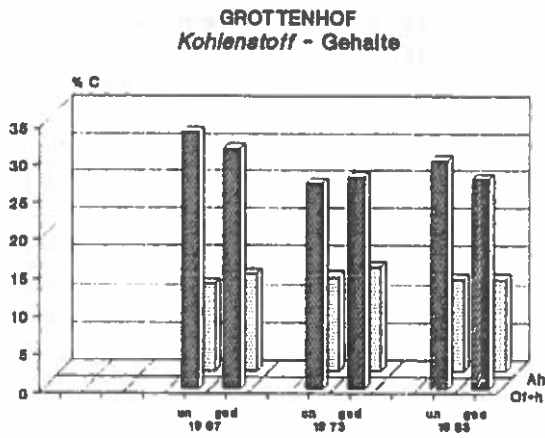


5.1.7 Kohlenstoff (Organische Substanz)

Die C-Gehalte liegen in den gedüngten und unbehandelten Parzellen sowohl im Auflagehumus als auch im A_h -Horizont sehr nahe beieinander, verglichen mit den beachtlichen zeitlichen Schwankungen und der Streuung der Einzelwerte (s. Abb. 5.1.7).

Ein Düngereffekt auf die Humusmenge ist jedenfalls nicht ableitbar.

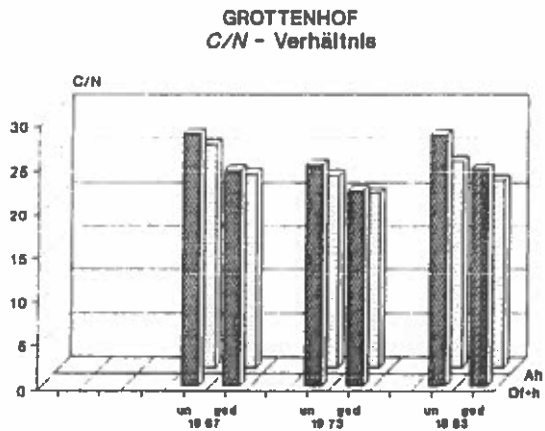
Abb.5.1.7: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.1.8 C/N-Verhältnis

Auf den gedüngten Flächen ist das C/N-Verhältnis von 1967 bis 1983 eindeutig enger als auf den Unbehandelten (s. Abb. 5.1.8). Allerdings ist diese Feststellung ohne Kenntnis der Ausgangswerte von 1962 nur wenig aussagekräftig.

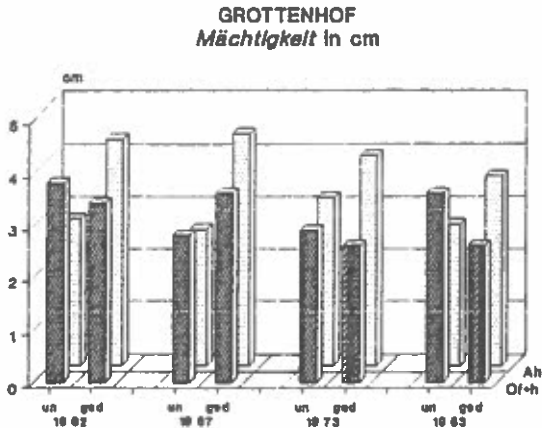
Abb.5.1.8: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.1.9 Mächtigkeit der Humushorizonte

Die uneinheitliche Ausgangslage und unregelmäßige Veränderung in allen Versuchsgliedern läßt keine Aussage über eine allfällige Düngewirkung zu (s.Abb.5.1.9).

Abb.5.1.9: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



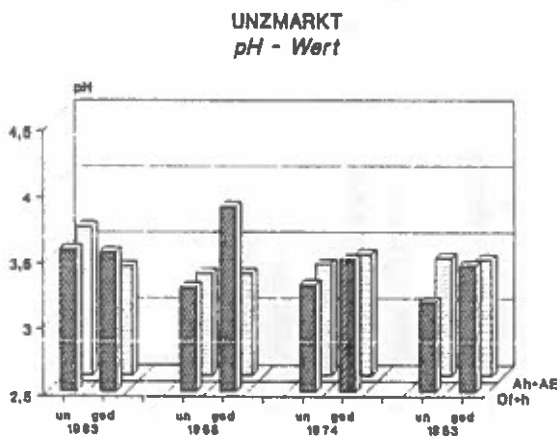
5.2 UNZMARKT

5.2.1 pH-Wert

Im Auflagehumus steht einer signifikanten und kontinuierlichen Versauerung in den unbehandelten Parzellen zunächst ein deutlicher Anstieg des pH-Wertes nach der Düngung gegenüber, der aber wieder auf den Ausgangswert absinkt. Mit insgesamt 780kg/ha CaO aus verschiedenen Düngerkombinationen konnte somit der Versauerungstrend über 20 Jahre aufgehalten und der pH-Wert auf dem Anfangsniveau gehalten werden (s.Abb.5.2.1).

Im A_h +AE-Horizont sind keine deutlichen Unterschiede nachweisbar. Auf den unbehandelten Parzellen sank der pH-Wert allerdings zunächst gesichert ab und blieb danach etwa konstant.

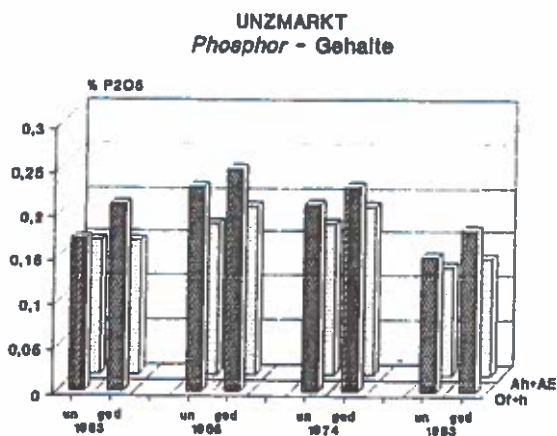
Abb.5.2.1: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.2.2 Phosphor

Aus dem Vergleich mit den unbehandelten Flächen ist kein Düngungseffekt erkennbar (s. Abb. 5.2.2). In den unbehandelten Parzellen schwanken die P_2O_5 -Gehalte völlig gleichsinnig: Anstieg bis 1968, danach allmähliches Absinken, jeweils gut gesichert. Allenfalls liegen die Werte im A_h+AE -Horizont ab 1968 jeweils etwas höher, doch ist dieser Unterschied ungesichert und wäre angesichts der geringen Gabe von 46 kg/ha auch kaum zu erwarten. In beiden Varianten liegen die Endgehalte unter den Ausgangswerten. Die negative Mengenbilanz ist auf den gedüngten Flächen etwas geringer, doch ist auch dieser Unterschied nicht gesichert.

Abb. 5.2.2: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

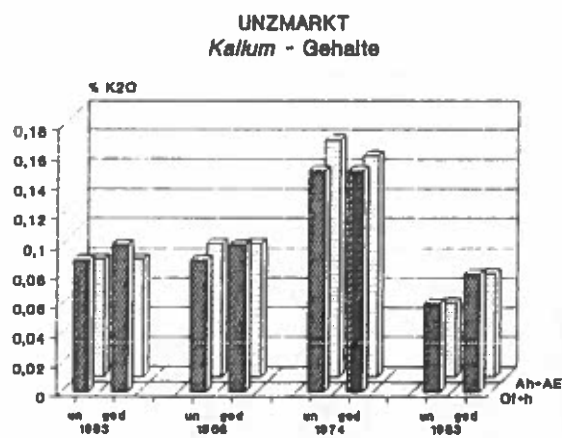


5.2.3 Kalium

Die parallel laufenden, recht erheblichen Schwankungen der K_2O -Gehalte zwischen den Wiederholungsaufnahmen legen den Verdacht auf systematische Analysenfehler nahe. Dem stehen allerdings anders verlaufende Kurven anderer Versuchsflächen zu vergleichbaren Terminen gegenüber.

In jedem Fall sind zwischen den gedüngten und unbehandelten Parzellen zunächst keine Unterschiede zu erkennen, die auf die insgesamt aufgebrauchten $245\text{kg/ha } K_2O$ schließen lassen (s. Abb. 5.2.3). Erst 1983 tritt eine positive Differenzierung auf, die nur im Auflagehumus gesichert ($t=3,03$) ist. Ebenso steht der bescheidenen positiven Mengenbilanz über den gesamten Beobachtungszeitraum ein (ungesicherter) Verlust von 180kg/ha auf unbehandeltem Boden gegenüber. Eine solche späte Düngerwirkung wäre allerdings gerade bei dem leicht beweglichen K wenig plausibel.

Abb. 5.2.3: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.2.4 Calcium

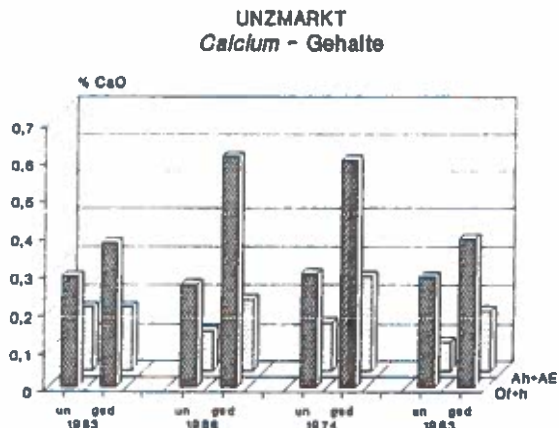
Der Vergleich mit den unbehandelten Parzellen zeigt eine eindeutige Wirkung der zwischen 1963 und 1965 insgesamt zugeführter 776kg/ha, zuerst im Auflagehumus und mit entsprechender Verzögerung auch im A_h +AE-Horizont (s. Abb. 5.2.4). Der auf unbehandelten Parzellen im Auflagehumus gleichbleibenden CaO-Konzentration steht eine nachhaltige, anfangs kräftige, dann allmählich abklingende Anreicherung gegenüber (der Anfangswert der gedüngten Flächen ist mit nur 3 Wiederholungen unsicher und kann gleich wie jener der unbehandelten Parzellen angenommen werden).

Im A_h +AE-Horizont blieb der CaO-Gehalt per saldo etwa gleich, während dieser in den unbehandelten Böden stetig und hoch gesichert fast auf die Hälfte abgesunken ist.

Durch die Düngung konnte der offensichtlich stetige CaO-Verlust durch 20 Jahre hindurch kompensiert werden.

Diese Entwicklung des CaO-Haushaltes deckt sich im übrigen völlig mit jener der pH-Werte.

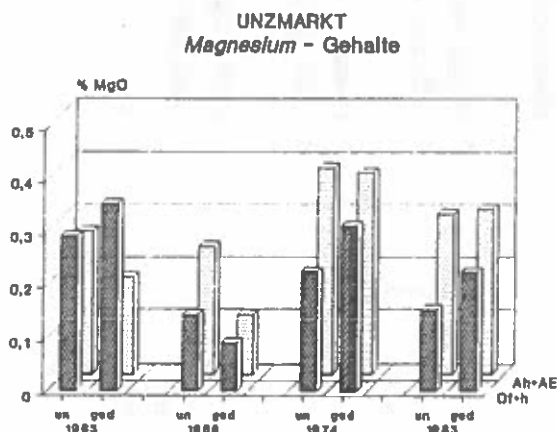
Abb. 5.2.4: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.2.5 Magnesium

Bei der Düngung wurde kein MgO zugeführt. Dementsprechend zeigen die im Zeitablauf stark schwankenden MgO-Gehalte keine Unterschiede zwischen den gedüngten und unbehandelten Parzellen (s.Abb.5.2.5).

Abb.5.2.5: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

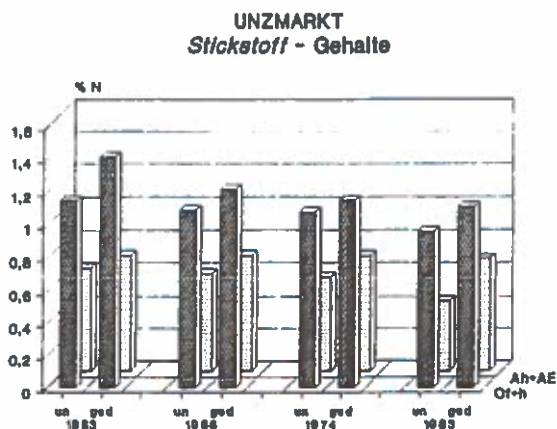


5.2.6 Stickstoff

Im Vergleich mit den unbehandelten Parzellen zeigt die Versorgung mit Gesamt-N nach der Düngung einen günstigen Verlauf (s.Abb.5.2.6). Sieht man von dem einen, mit 3 Wiederholungen recht unsicheren - von den anderen Parzellen stark abweichenden Wert vor der Düngung ab, so sind die N-Gehalte im Auflagehumus auf den gedüngten Flächen bis 1983 stets höher und die Abnahme geringer als auf den Unbehandelten. Die gleichbleibenden Gehalte im Mineralboden stehen einer stetigen Abnahme auf den unbehandelten Flächen gegenüber.

Auch die hochgerechnete Mengenbilanz ergibt einen bescheidenen Gewinn an Gesamt-N gegenüber einem beachtlichen Verlust auf den unbehandelten Parzellen, wobei die Absolutbeträge zweifellos als fehlerhaft betrachtet werden müssen.

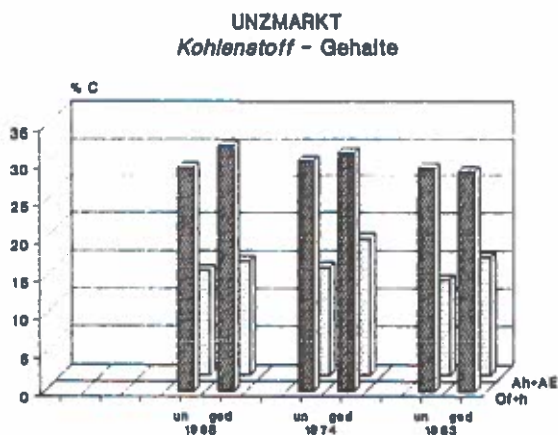
Abb.5.2.6: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.2.7 Kohlenstoff (Organische Substanz)

Die verfügbaren Mittelwerte des C-Gehaltes sind auf den gedüngten Parzellen im A_h +AE-Horizont durchwegs höher, im Auflagehumus sinken sie allmählich unter die Vergleichswerte (s.Abb.5.2.7). Alle Differenzen sind jedoch ungesichert und erlauben somit keine Interpretation.

Abb.5.2.7: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

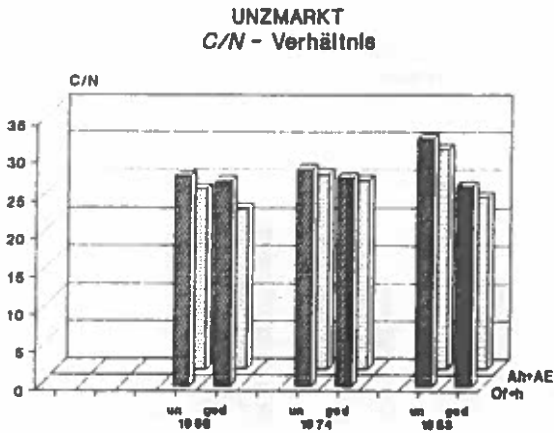


5.2.8 C/N-Verhältnis

Während sich auf den unbehandelten Parzellen das C/N-Verhältnis erhöht, bleibt es auf den gedüngten Flächen weitgehend konstant (s. Abb. 5.2.8). Dies gilt sowohl für den Auflagehumus als auch abgesehen von einer temporären Erweiterung 1974 – für den A_h +AE-Horizont.

Die vergleichbaren Werte liegen auf den unbehandelten Parzellen im A_h +AE-Horizont zuletzt mit 29 im Bereich von Rohhumus, nach der Düngung mit 21–23 in jenem eines Moders mittlerer Qualität.

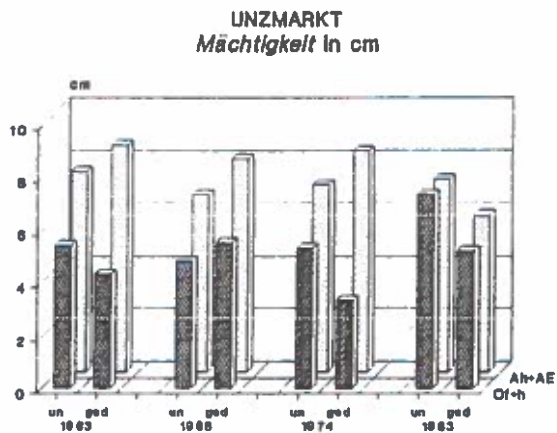
Abb. 5.2.8: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.2.9 Mächtigkeit der Humushorizonte

Die Mächtigkeit des Auflagehumus wächst auf den unbehandelten Parzellen langsam, im Gegensatz zu den uneinheitlichen Schwankungen der gedüngten Parzellen (s. Abb. 5.2.9). Im A_h+AE -Horizont ist der auf den gedüngten Parzellen ab 1974 festgestellte Humusabbau (ansteigendes Fe, sinkendes C, verringerte Mächtigkeit) nicht erkennbar. Inclusive C/N-Verhältnisses ist daraus eine etwas bessere Umsetzung (und Humusverlust) auf den gedüngten Parzellen abzuleiten.

Abb. 5.2.9: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



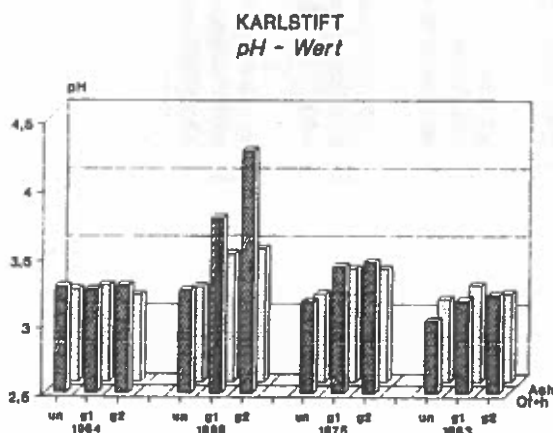
5.3 KARLSTIFT

5.3.1 pH-Wert

Die Ausgangslage aller Behandlungsvarianten ist sehr gut vergleichbar, die Mittelwerte nahezu gleich.

In den unbehandelten Parzellen sinkt der pH-Wert im Laufe des Beobachtungszeitraumes im Auflagehumus und A_{eh} -Horizont stetig und gesichert ab. Die insgesamt 700kg/ha bzw. 1360kg/ha CaO der beiden Düngungsvarianten haben zunächst eine kräftige - und proportionale - Aufbasung bewirkt, die auch den A_{eh} -Horizont erfaßt hat (s.Abb.5.3.1); 1973 sind die Werte immer noch erhöht, aber auf beiden Varianten etwa gleich, 1983 liegen sie wieder um bzw. geringfügig unter dem Ausgangswert. Immerhin wurde durch die Düngung 20 Jahre lang die sonst fortschreitende Versauerung aufgehalten.

Abb.5.3.1: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

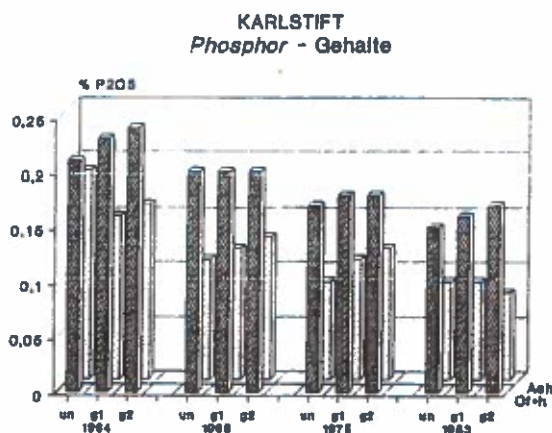


5.3.2 Phosphor

Thomasphosphat ($87\text{kg/ha P}_2\text{O}_5$) wurde nur 1965 auf der 2. Behandlungsvariante aufgebracht, trotzdem ist kein Düngeeffekt aus Abbildung 5.3.2 abzulesen, zumal die Mittelwerte zu Versuchsbeginn sehr inhomogen sind. Sowohl im Auflagehumus als auch im A_{eh} -Horizont liegt eine kontinuierliche Abnahme auf beiden Behandlungsvarianten incl. Null-Fläche vor.

Auch die P_2O_5 -Mengen nehmen auf allen Behandlungsvarianten um ca. 100kg/ha bis 200kg/ha ab, wobei auf die Unsicherheit dieser hochgerechneten Beträge hingewiesen sei.

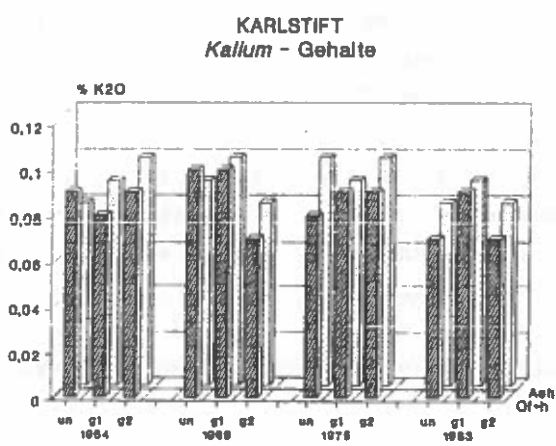
Abb.5.3.2: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.3.3 Kalium

Ein Düngungseffekt der allerdings nur bescheidenen Gabe von $81\text{kg/ha K}_2\text{O}$ auf der 2. Behandlungsvariante ist nicht zu erkennen (s. Abb. 5.3.3), zumal die Mittelwerte ein recht uneinheitliches Bild bieten. Eher ist bis 1983 eine generelle Abnahme angedeutet.

Abb.5.3.3: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.3.4 Calcium

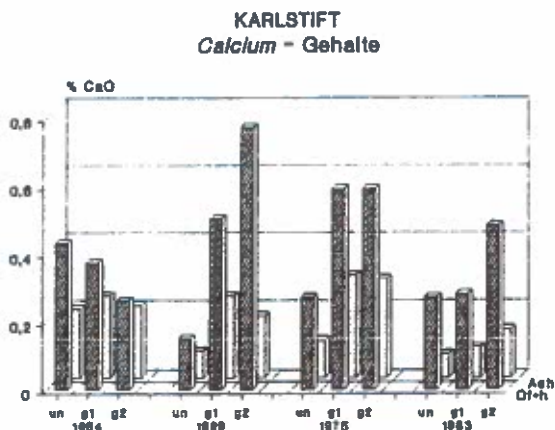
Die Mittelwerte im Auflagehumus sind zu Versuchsbeginn recht unterschiedlich. Dennoch wird im Vergleich mit den unbehandelten Parzellen der uneinheitliche Trend der beiden Düngervarianten verständlicher; 1969 wird ohne Düngung ein ausgeprägtes Minimum erreicht. Inwieweit es sich dabei um systematische Fehler durch geänderte Analysenmethoden handelt, ist dabei für den Quervergleich unerheblich. Jedenfalls steht 1969 eine kräftige und den gestaffelten CaO-Gaben proportionale Erhöhung der CaO-Gehalte gegenüber (s.Abb.5.3.4).

Der weitere Anstieg in Variante N(Ca) entspricht nicht ganz jenem der Null-Fläche, kann also ebenso wie bei Variante NPKCa(Mg) als relatives Absinken seit 1969 interpretiert werden. 1983 liegt Variante NPKCa(Mg) noch über dem Ausgangswert, die beiden anderen deutlich darunter.

Im A_{eh} -Horizont wird die 1969 eingetretene Entbasung der Null-Fläche bei den gedüngten Varianten aufgefangen (jedenfalls liegt der CaO-Gehalt höher, auch wenn die Absolutwerte 1969 insgesamt zu niedrig analysiert wurden). Erst 1975 wird ein Maximum erreicht und 1983 ist nur mehr bei der Steigerungsvariante NPKCa(Mg) ein undeutlicher Bonus erkennbar, bei insgesamt niedrigeren CaO-Gehalten als 1964.

Der Trend der CaO-Konzentration deckt sich gut mit jenem der pH-Werte. Die Kalkung vermochte die generelle Versauerung und Entbasung über 20 Jahre zumindest zu verlangsamen, bei 1360kg/ha CaO einigermaßen zu kompensieren.

Abb.5.3.4: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

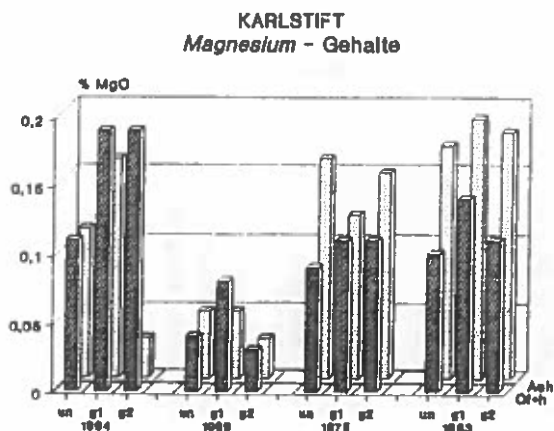


5.3.5 Magnesium

Die Graphik (s. Abb. 5.3.5) zeigt keine Inhomogenität des Materials und läßt keinerlei Düngerwirkung erkennen. Eine solche ist bei einer Gabe von 29kg/ha MgO auch nicht zu erwarten.

Die extrem niedrigen MgO-Gehalte von 1969 beruhen wohl auf Abweichungen der Meßmethode, wie im Band I berichtet wurde.

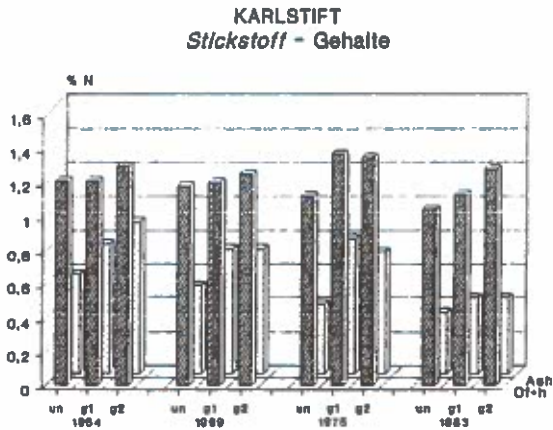
Abb.5.3.5: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



5.3.6 Stickstoff

Auf beiden Behandlungsvarianten wurden zwischen 1965 und 1967 400kg/ha N als Kalkstickstoff und Nitramoncal ausgebracht. Diese beachtliche Menge tritt in den Daten zunächst nicht in Erscheinung (s.Abb.5.3.6). Erst 1975 ist eine gewisse Differenzierung der gedüngten gegenüber der Null-Fläche erkennbar, die im Auflagehumus vielleicht bis 1983 anhält. Die für die unbehandelten Flächen signifikante stete Abnahme des N-Gehaltes ist auf beiden gedüngten Varianten zumindest im Auflagehumus nicht eingetreten. Die bis 1983 anhaltende Zunahme der N-Menge im Auflagehumus um 400kg/ha N gegenüber gleichbleibender Werte in den Null-Parzellen könnte jedoch als Düngereffekt diskutiert werden.

Abb.5.3.6: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

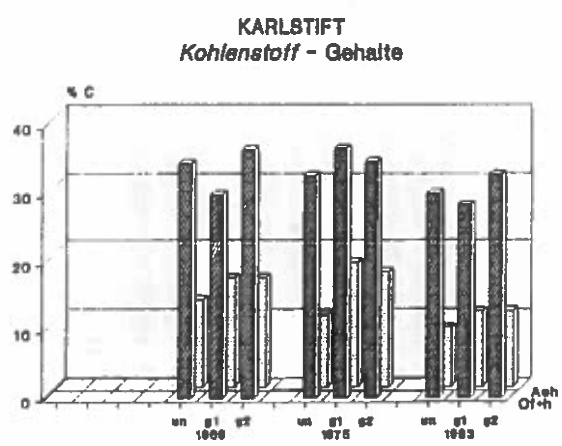


5.3.7 Kohlenstoff (Organische Substanz)

Die recht uneinheitlichen C-Gehalte zeigen keine gezielten Unterschiede, die auf eine Düngewirkung schließen lassen (s.Abb.5.3.7).

Der - im einzelnen sicherlich fehlerhaften - gleichbleibenden C-Menge im Auflagehumus der Null-Fläche steht eine Abnahme um 5-14t/ha auf den Düngervarianten gegenüber. Ein Vergleich mit dem Termin vor der Düngung (1964) steht für C jedoch nicht zur Verfügung.

Abb.5.3.7: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

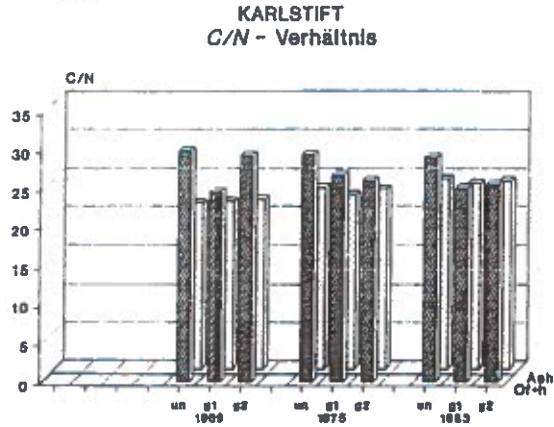


5.3.8 C/N-Verhältnis

Im Auflagehumus wird das C/N-Verhältnis nur auf der 2.Behandlungsvariante enger. Auch im A_{eh}-Horizont tritt für alle Parzellen fast keine Änderung des C/N-Verhältnisses auf (s.Abb.5.3.8).

Ab 1969 ist bei den einzelnen Varianten keine unterschiedliche Tendenz erkennbar, abgesehen vielleicht von einer einseitigen Verengung im Auflagehumus der Variante NPKCa(Mg). Vielleicht könnte das permanent engere C/N-Verhältnis im Auflagehumus der Variante N(Ca) als bereits 1969 eingetretene Humusverbesserung gedeutet werden. Die Vergleichswerte vor der Düngung fehlen allerdings.

Abb.5.3.8: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen

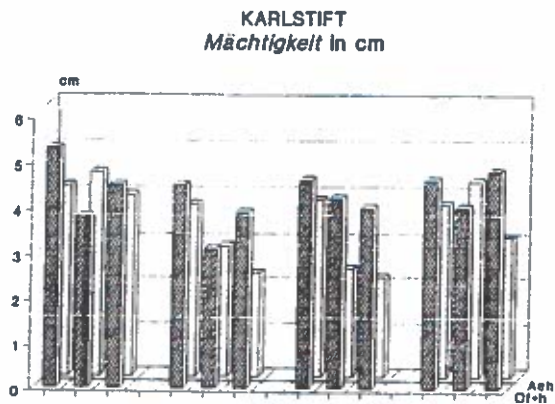


5.3.9 Mächtigkeit der Humushorizonte

Die unlogischen Mächtigkeitsveränderungen im Auflagehumus und A_{eh} -Horizont sind wahrscheinlich auf subjektive Horizontansprache durch wechselndes Erhebungspersonal zu den einzelnen Terminen zurückzuführen (s. Abb. 5.3.9).

1969 und 1975 ist der A_{eh} -Horizont jedoch jeweils vergleichsweise geringmächtiger als bei der Null-Fläche. Eine Interpretation muß aber dennoch unterbleiben.

Abb.5.3.9: Gegenüberstellung unbehandelter und gedüngter Parzellen



6 Gemeinsame Diskussion der Versuchsflächen

pH-Wert:

In GROTTENHOF unterscheidet sich der kräftige Anstieg des pH-Wertes nach der Düngung im Auflagehumus und A_h -Horizont signifikant vom Trend der unbehandelten Parzellen, jedoch nimmt der anfängliche Unterschied bis 1983 allmählich ab. Alle Endwerte liegen unter den Ausgangswerten; die Versauerung wurde auf den gedüngten Parzellen jedoch gebremst.

In UNZMARKT steht der signifikanten und kontinuierlichen Versauerung des Auflagehumus in den unbehandelten Parzellen ein deutlicher Anstieg des pH-Wertes nach der Düngung gegenüber, der zuletzt etwa wieder auf den Ausgangswert absinkt. Im A_{eh} -Horizont ist der Verlauf undeutlich – insgesamt sinkend in der Null-Fläche, ansteigend in der gedüngten.

In KARLSTIFT sinkt der pH-Wert auf den unbehandelten Parzellen im Auflagehumus und A_{eh} -Horizont während des Beobachtungszeitraumes stetig und gesichert ab. Auf den gedüngten Parzellen wurde dieser Trend in beiden Horizonten 20 Jahre lang aufgehalten.

Phosphor:

Auf allen drei Versuchsflächen und allen Behandlungsvarianten hat der P_2O_5 -Gehalt insgesamt abgenommen, in Grottenhof und Unzmarkt nach einem kurzfristigen Anstieg im 5. Jahr. Auch auf den gedüngten Varianten liegt er zuletzt unter dem Ausgangswert.

In GROTTENHOF steigen die P_2O_5 -Gehalte in den gedüngten Parzellen zunächst deutlich über jene der Unbehandelten an. Der Thomasphosphat-Dünger ist bereits nach 5 Jahren bis in den Mineralboden gelangt, aber nach 20 Jahren dort nicht mehr nachweisbar; der Auflagehumus ist bis zuletzt etwas P_2O_5 -reicher.

In UNZMARKT ist kein Düngungseffekt erkennbar.

Auch in KARLSTIFT ist kein Düngungseffekt erkennbar. Die generelle Abnahme des P_2O_5 -Gehaltes erfolgt hier sowohl im Auflagehumus als auch im A_{eh} -Horizont auf allen Behandlungsvarianten besonders deutlich und kontinuierlich.

Kalium:

In GROTTENHOF hat die Düngung mit Patentkali eine relativ kurzfristige Wirkung gezeigt, die bereits im 10. Jahr wieder abgeklungen war. Alle K_2O -Gehalte liegen zuletzt merklich unter den Ausgangswerten.

In UNZMARKT treten zwischen den gedüngten (Kaliumsulfat) und unbehandelten Parzellen keine gesicherten Unterschiede der K_2O -Gehalte auf.

Alle Endwerte liegen unter den Anfangswerten, nach einem gemeinsamen kräftigen Maximum im 11. Beobachtungsjahr.

Auch in KARLSTIFT ist kein Düngungseffekt erkennbar; allerdings wurde hier nur auf der 2. Behandlungsvariante eine bescheidene Gabe von Patentkali ausgebracht. Die Werte aller Parzellen schwanken uneinheitlich, die Endwerte liegen allgemein etwas niedriger.

Calcium:

Die Trends der CaO -Gehalte korrespondieren gut mit jenen der pH-Werte: In GROTTENHOF führten die zwischen 1963 und 1965 ausgebrachten Dünger (Kalkstickstoff, Thomasphosphat und Nitramoncal) zu einer kräftigen Erhöhung der CaO -Konzentration über 11 Jahre sowohl im Auflagehumus als auch im Mineralboden. Danach sinken die Werte wieder ab; eine positive Differenz gegenüber Unbehandelt bleibt jedoch bis zuletzt erhalten. Im Mineralboden blieb der CaO -Gehalt etwas über dem Ausgangswert.

In UNZMARKT blieb die Düngerwirkung (Thomasphosphat, Mischkalk und Nitramoncal) ebenfalls langfristig erhalten, dabei konnte der im unbehandelten Mineralboden beobachtete stetige CaO -Verlust durch 20 Jahre hindurch kompensiert werden.

In KARLSTIFT verläuft der Trend der CaO -Konzentration analog. Die Kalkung vermochte die generelle Versauerung und Entbasung über 20 Jahre bei der 1. Behandlungsvariante (Kalkstickstoff und Nitramoncal) nur zu verlangsamen, bei der 2. Variante (Kalkstickstoff, Thomasphosphat, Mischkalk und Nitramoncal) wenigstens im Auflagehumus zu kompensieren.

In allen 3 Flächen wird im A-Horizont der Maximalwert erst zum dritten Beobachtungstermin (nach 11 Jahren) erreicht.

Unter anderen weisen SAUTER und MEIWES (1990) auf negative Begleiterscheinungen bei Kalkung hin, daß nämlich dadurch allzu rasche und intensive Umsetzungsvorgänge in der Humusaufgabe ausgelöst werden. Bedenken gegen undifferenzierte Kalkungsaktionen gründen sich vor allem auf die Gefahr einer erhöhten Nitrifizierung mit nachfolgender Auswaschung von Nitrat. Die Folge können Stickstoffverluste sein, erhöhte Nitratkonzentrationen im Grund- und Oberflächenwasser sowie der Verlust von Kationen, die als Begleitungen mit dem Nitrat verfrachtet werden. Durch die Mobilisierung organischer Stoffe kann Kalkung zumindest vorübergehend auch eine Freisetzung und Tiefenverlagerung von Schwermetallen verursachen.

Die vorliegenden Ergebnisse (siehe Stickstoff, organische Substanz und Humusvorrat) geben dazu keine Hinweise.

Magnesium:

In GROTTENHOF und KARLSTIFT wurden nur sehr geringe Mengen an Magnesium in Form von Patentkali, in UNZMARKT überhaupt kein Magnesium-Dünger ausgebracht. Erwartungsgemäß ist auf keiner der Flächen ein Düngungseffekt hinsichtlich Magnesium erkennbar.

Stickstoff:

In GROTTENHOF hat die 2malige Stickstoff-Gabe (Kalkstickstoff und Nitramoncal) zunächst bis 1973 zu einer signifikanten Erhöhung der N-Gehalte im A_h -Horizont geführt, welche danach wieder abgeklungen ist. Im Auflagehumus waren keine Unterschiede nachzuweisen. Alle N-Gehalte blieben in etwa der gleichen Größenordnung.

In UNZMARKT wurde nur Nitramoncal (2-malige Gabe) ausgebracht. Im Vergleich mit den unbehandelten Parzellen, wo die N-Gehalte ständig abnehmen, zeigt die Versorgung mit Gesamt-Stickstoff nach der Düngung einen günstigeren Verlauf mit etwa gleichbleibenden Werten.

In KARLSTIFT ist die Tendenz der N-Gehalte ähnlich. Die 2malige Düngung auf beiden Behandlungsvarianten mit Kalkstickstoff und Nitramoncal kommt hier nur im Auflagehumus zur Geltung. Die N-Menge pro Hektar ist hier aber sogar bis 1983 um 400kg/ha angestiegen.

Nach KAUPENJOHANN und ZECH (1989) können hohe N-Einträge in Waldökosysteme, sofern sie von den Beständen nicht aufgenommen werden, durch NO_3 -Austrag aus dem Boden massiv zur Bodenversauerung beitragen.

Auch darauf geben die vorliegenden Daten keine Hinweise. Die kombinierte Düngung mit Stickstoff und Calcium dürfte entsprechende Einzelwirkungen kompensiert haben.

Organische Substanz:

In GROTTENHOF und UNZMARKT ist der C-Gehalt in den gedüngten und unbehandelten Parzellen sowohl im Auflagehumus als auch im Mineralboden annähernd gleich geblieben.

In KARLSTIFT zeigen die recht uneinheitlichen C-Gehalte keine Unterschiede, die auf eine Düngerwirkung schließen lassen.

Allerdings fehlen auf allen drei Versuchsflächen die Vergleichswerte vor der Düngung.

C/N-Verhältnis:

In GROTTENHOF ist auf den gedüngten Flächen das C/N-Verhältnis von 1967 bis 1983 eindeutig enger als auf den Unbehandelten.

In UNZMARKT weitet sich das C/N-Verhältnis auf den unbehandelten Parzellen, während es auf den gedüngten Flächen weitgehend konstant bleibt.

In KARLSTIFT wird das C/N-Verhältnis auf der NPKCa(Mg)-Variante im Auflagehumus enger, bei der N(Ca)-Variante bleibt es annähernd gleich. Im A_{eh} -Horizont tritt auf allen Parzellen fast keine Änderung des C/N-Verhältnisses ein.

Bei unterschiedlichem Verlauf im Einzelnen bedeutet dies dennoch bei allen Flächen eher eine positive Düngerwirkung auf die Humusqualität.

Mächtigkeit der Humushorizonte:

In GROTTENHOF läßt die uneinheitliche Ausgangslage der Humushorizonte keine Aussage über eine Düngerwirkung zu.

In UNZMARKT wächst die Mächtigkeit des Auflagehumus auf den unbehandelten Parzellen langsam, im Gegensatz zu den uneinheitlichen Schwankungen der gedüngten Parzellen.

In KARLSTIFT lassen die uneinheitlichen Veränderungen der Hor-

zontmächtigkeit in Auflagehumus und A_{eh}-Horizont keine sinnvolle Interpretation zu.

Übersichtstabelle über Düngungswirkung und Trend auf gedüngten und unbehandelten Parzellen dieser Versuchsflächen im Zeitraum 1962-1983.

	GROTTENHOF			UNZMARKT			KARLSTIFT		
	DW	Trend		DW	Trend		DW	Trend	
		NF	DF		NF	DF		NF	DF1 DF2
P ₂ O ₅	(ja)	-	(-)	nein	-	-	nein	=	= =
K ₂ O	nein	-	-	(ja)	-	-	nein	-	- -
CaO	ja	-	Ø	ja	-	Ø	ja	=	- Ø
N	nein	Ø	Ø	ja	-	Ø	ja	-	Ø Ø
pH-Wert	ja	=	-	ja	-	Ø	ja	-	Ø Ø

DW...Düngerwirkung =...starke Abnahme
 NF...Nullfläche -...schwache Abnahme
 DF...Düngerfläche Ø...gleichbleibend
 ()...undeutlicher Trend

zusätzliche Kennwerte (1967-1983)

org. Substanz	-	Ø	Ø	-	-	Ø	-
C/N	konst		konst		konst		enger
	konst		weiter		konst		
					(nur im Auflagehumus)		

7 Zusammenfassung

Das über einen Beobachtungszeitraum von 20 Jahren verfügbare bodenanalytische Material einiger Exaktdüngungsversuche der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien wurde hinsichtlich mittelfristiger Veränderungen im Boden ausgewertet, welche im Zusammenhang mit Schadstoffeinträgen vermutet werden.

Im 1. Teil der vorliegenden Arbeit (STROHSCHNEIDER 1991) wurden die unbehandelten Parzellen als Beispiele für das Verhalten naturbelassener Waldböden untersucht und dabei z. T. beachtliche Veränderungen festgestellt.

Ziel dieses 2. Teiles der Arbeit war zu klären, inwieweit durch Düngung mittelfristig diese Boden-Veränderungen modifiziert, insbesondere Bodenversauerung hintangehalten werden können.

Für den Beobachtungszeitraum stehen nur von drei Versuchsflächen auch auf den gedüngten Parzellen ausreichend Bodenproben zur Verfügung, nämlich GROTTENHOF, UNZMARKT und KARLSTIFT.

Die Abnahme des pH-Wertes wurde in Grottenhof auf den gedüngten Parzellen verlangsamt, bei den anderen beiden Versuchsflächen gestoppt.

Trotz Thomasphosphat-Düngung nahm der Phosphor-Gehalt auf allen drei Versuchsflächen und allen Behandlungsvarianten ebenfalls ab.

Mit der Kalium-Düngung (Grottenhof und Karlstift mit Patentkali; Unzmarkt mit Kaliumsulfat) wurde kein nachhaltiger Düngungseffekt erzielt.

Die Calcium-Düngung wirkte auf allen Flächen nachhaltig; bei der geringeren Gabe in Karlstift wurde der generelle Calcium-Verlust verlangsamt, bei den übrigen Flächen bzw. Varianten völlig kompensiert.

In Grottenhof und Karlstift wurden nur geringe Gaben an Magnesium in Form von Patentkali, in Unzmarkt überhaupt kein Magnesium-Dünger ausgebracht; erwartungsgemäß ist kein Düngungseffekt erkennbar.

Die relativ hohe Stickstoff-Gabe als Kalkstickstoff und Nitramoncal ergab in Grottenhof nur eine kurzfristige Wirkung, bei sonst gleichbleibenden Werten. Bei den beiden anderen Flächen (Unzmarkt nur Nitramoncal, Karlstift mit Kalkstickstoff und Nitramoncal) blieben die N-Gehalte auf den gedüngten Parzellen bis zuletzt unverändert, während auf den unbehandelten Parzellen N-Verluste eingetreten sind.

Für den Gehalt an organischer Substanz fehlen die Ausgangswerte. Der Quervergleich im folgenden Beobachtungszeitraum von 15 Jahren zeigt auf allen Parzellen und Versuchsflächen annähernd gleichbleibende Werte. Die Mengen an organischer Substanz sind gleichgeblieben oder gesunken.

Das C/N-Verhältnis ist in Grottenhof auf den gedüngten Parzellen stets enger als auf den Unbehandelten - bei annähernd gleichbleibenden Werten. In Unzmarkt tritt eine zunehmende Differenzierung durch aufweitendes C/N-Verhältnis in den Null-Parzellen ein. In Karlstift verengt sich das C/N-Verhältnis nur auf der NPKCa(Mg)-Variante, sonst ist keine Differenzierung nachweisbar.

Die "Exaktdüngungsversuchsflächen" der Forstlichen Bundesversuchsanstalt haben nach einer bis zu 30-jährigen Beobachtungszeit sehr exakte zuwachskundliche Aussagen ermöglicht.

Für die vorliegende Fragestellung erwies sich das Versuchsdesign nur beschränkt geeignet. Vor allem hat sich neuerlich erwiesen, daß nur eine Probenahme nach geometrischen Horizonten für den...

tige Bilanzierungen zielführend ist.

Dennoch konnte anhand des verfügbaren Materials ein einheitlicher Trend zur Bodenversauerung und Abnahme der $\text{CaO-K}_2\text{O}$ -Vorräte - nachgewiesen werden. Durch Düngung mit harmonischen N(P,K)Ca -Gaben wurde diese Versauerung 20 Jahre hindurch kompensiert oder zumindest verlangsamt.

Bei gleichzeitiger N-Düngung ist gegenüber der Nullfläche z.T. auch eine nachhaltige Humusverbesserung eingetreten (C/N-Verhältnis). Der N-Gehalt blieb auf den gedüngten Flächen weitgehend konstant, während dieser auf vielen unbehandelten Parzellen sank. Ein N-Verlust durch Kalkung ist somit nicht erkennbar oder zumindest durch die gleichzeitige N-Gabe kompensiert.

Summary

The second part of the paper deals with longterm changes in soil chemical properties of fertilized experimental plots. There is also a discussion about untreated and fertilized plots of three fertilizer experiments.

Acidification was stopped by fertilisation on all plots except one; here (Grottenhof) acidification took place slowly.

Phosphorus and potassium decreased on all plots, although both elements were brought out in medium quantities.

The fertilisation with calcium was lasting on all experimental plots; because of a lower dose on only one variation plot (Karlstift) the loss of calcium slowed down, on the other plots it compensated.

Magnesium showed no effect of fertilisation, because the dose on two plots (Grottenhof and Karlstift) was too low and the third one (Unzmarkt) got nothing.

The relative high dose of nitrogen took a short-time effect on one plot (Grottenhof). On the other two plots (Unzmarkt and Karlstift) the content of nitrogen did not change on the fertilized samples, whereas nitrogen decreased on the untreated ones.

The contents of organic matter were not measured at the beginning. Therefore one can only compare 15 years on the three fertilizer experiments. Even each plot itself had non-uniform contents of organic matter which showed no differences after fertilisation.

On one plot (Grottenhof) the C/N-ratio was allways narrow on the fertilized samples. The other plot (Unzmarkt) got a wider C/N-ratio on the untreated samples and on one of the variation-fertilizer-plots (Karlstift) the C/N-ratio got narrow.

8 Literatur

- JOHANN, K., 1981: Düngung lohnt sich!- Löhnen sich Düngungsversuche?. Allgemeine Forstzeitung - Wien, 92, 91-94.
- KAUPENJOHANN, M. und W. ZECH, 1989: Waldschäden und Düngung. Allgemeine Forstzeitung, 37, 1002-1008.
- POLLANSCHÜTZ, J., 1969: Bestandesdüngung - Produktionssteigerung. Zwischenbericht der Forstlichen Bundesversuchsanstalt über Bestandesdüngungsversuche. Allgemeine Forstzeitung - Wien, 80, 215-217.
- POLLANSCHÜTZ, J., 1974: Düngungsversuche in Österreich. Allgemeine Forstzeitung - Wien, 85, 273-275.
- SAUTER, U. und K.J. MEIWES, 1990: Auswirkungen der Kalkung auf den Stoffaustrag aus Waldökosystemen mit dem Sickerwasser. Forst und Holz Nr.20, 45.Jahrgang, 605-610.
- STROHSCHNEIDER, I., 1991: Mittelfristige Veränderungen des Bodenzustandes auf Exaktdüngungsversuchsflächen der FBVA. 1.Teil: Unbehandelte Parzellen. Mitt. d. forstl. Bundesversuchsanst. 167.Heft/Band I.

Aus dem Publikationsverzeichnis der Forstlichen
Bundesversuchsanstalt

Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

- | | | | |
|-----|-------------|---|------------|
| 987 | 158/I | Merwald, Ingo E.: Untersuchung und Beurteilung von Bauweisen der Wildbachverbauung in ihrer Auswirkung auf die Fischpopulation.
Preis ÖS 250.-- | S. 1-196 |
| 987 | 158/II | Merwald, Ingo E.: Untersuchung und Beurteilung von Bauweisen der Wildbachverbauung in ihrer Auswirkung auf die Fischpopulation.
Preis ÖS 250.-- | S. 196-364 |
| 988 | 159 | Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (7). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 (Wildbäche, Schnee und Lawinen). Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen.
Preis ÖS 420.-- | 410 S. |
| 988 | 160 | Müller, Ferdinand: Entwicklung von Fichtensämlingen (<i>Picea abies</i> (L.) Karst.) in Abhängigkeit von Ernährung und seehöhenangepasster Wachstumsdauer im Versuchsgarten Mariabrunn.
Preis ÖS 260.-- | 256 S. |
| 988 | 161 | Kronfellner-Kraus, Gottfried; Neuwinger, Irmentraud; Ruf, Gerhard; Schaffhauser, Horst: Über die Einschätzung von Wildbächen - Der Dürnbach.
Preis ÖS 300.-- | 264 S. |
| 988 | 162 | Recent Research on Scleroderris Canker of Conifers. IUFRO Working Party S2.06-02 - Canker Disease-Scleroderris. Proceedings of Meetings in Salzburg/Austria and Ljubljana/Yugoslavia, September 1986.
Preis ÖS 180.-- | 172 S. |
| 989 | 163/I | Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet.
Preis ÖS 300.-- | S. 1-224 |
| 989 | 163/II | Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet.
Preis ÖS 300.-- | S. 225-422 |
| 990 | 163
/III | Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet.
Preis ÖS 180.-- | 98 S. |
| 990 | 164/I | Killian, Herbert: Der Kampf gegen Wildbäche und Lawinen im Spannungsfeld von Zentralismus und Föderalismus. Historische Grundlagen.
Preis ÖS 180.-- | 167 S. |

- 1990 164/II Killian, Herbert: Der Kampf gegen Wildbäche und Lawinen im Spannungsfeld von Zentralismus und Föderalismus. Das Gesetz.
Preis ÖS 190.-- 183 S.
- 1990 164 /III/1 Killian, Herbert: Der Kampf gegen Wildbäche und Lawinen im Spannungsfeld von Zentralismus und Föderalismus. Die Organisation.
Preis ÖS 220.-- 211 S.
- 1990 164 /III/2 Killian, Herbert: Der Kampf gegen Wildbäche und Lawinen im Spannungsfeld von Zentralismus und Föderalismus. Die Organisation.
Preis ÖS 140.-- 133 S.
- 1990 164 /IV/1 Killian Herbert: Dokumente und Materialien zur Geschichte der Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich. Teil 1.
Preis ÖS 190.-- 184 S.
- 1990 164 /IV/2 Killian Herbert: Dokumente und Materialien zur Geschichte der Wildbach- und Lawinenverbauung in Österreich. Teil 2.
Preis ÖS 120.-- 118 S.
- 1990 165 Karrer, Gerhard; Kilian, Walter: Standorte und Waldbesellschaften im Leithagebirge. Revier Sommerein. Mit einem waldbaulichen Beitrag von Krissl, Wolfgang; Müller, Ferdinand.
Preis ÖS 265.-- 245 S.
- 1991 163/IV Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet.
Preis ÖS 230.-- 190 S.
- 1991 166 Zusammenfassende Darstellung der Waldzustandsinventur.
Preis ÖS 300.-- 265 S.
- 1991 167/I Strohschneider, Ilse: Mittelfristige Veränderungen des Bodenzustandes auf Exaktdüngungsversuchsflächen der FBVA. I.Teil: Unbehandelte Parzellen.
Preis ÖS 200.-- 200 S.
- 1992 167/II Strohschneider, Ilse: Mittelfristige Veränderungen des Bodenzustandes auf Exaktdüngungsversuchsflächen der FBVA. II.Teil: Gedüngte Parzellen und Vergleich gedüngter mit unbehandelten Parzellen.
Preis ÖS 115.-- 111 S.

Bezugsquelle

Österreichischer Agrarverlag