

**MITTEILUNGEN
DER FORSTLICHEN BUNDESVERSUCHSANSTALT
WIEN**
(früher "Mitteilungen aus dem forstlichen Versuchswesen Österreichs")

167. Heft/Band I

1991

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

I. Teil: Unbehandelte Parzellen

FDK 114.26:114.27:181.34:(436)

von
Ilse Strohschneider

Herausgegeben
von der
Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Wien
Kommissionsverlag: Österreichischer Agrarverlag, 1141 Wien



Copyright by
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Printed in Austria

ISBN 3-7040-1123-1
ISSN 0374-9037

Herstellung und Druck
Forstliche Bundesversuchsanstalt
A - 1131 Wien

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung und Fragestellung	9
1.1	Lage und Design der Versuchsflächen	10
2	Bisherige Untersuchungen und Ergebnisse	11
3	Material und Methoden	13
3.1	Probenwerbung und -aufbereitung	13
3.2	Analytik	14
3.2.1	Analysenverfahren der jüngsten Wiederholung	14
3.2.2	Ältere Analysen - Vergleich alter und neuer Bodenanalysen	15
3.3	Berechnung und statistische Behandlung	16
3.3.1	Analysendaten	16
3.3.2	Berechnung der Mengen pro Flächeneinheit	18
3.3.3	Korrelation zwischen Nadelspiegelwerten und Bodenanalysen	20
3.3.4	Trendvergleich Nadel - Boden	20
4	Versuchsfläche Grottenhof	21
4.1	Veränderungen im Boden	22
4.1.1	pH-Wert	22
4.1.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	23
4.1.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	25
4.1.4	CaO-Gehalt und -Menge	27
4.1.5	MgO-Gehalt und -Menge	29
4.1.6	N-Gehalt und -Menge	31
4.1.7	C-Gehalt und -Menge	33
4.1.8	C/N-Verhältnis	35
4.1.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	36
4.2	Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden	38
4.2.1	Stickstoff	39
4.2.1.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	39
4.2.1.2	Graphischer Vergleich der Trends	39
4.2.2	Phosphor	40
4.2.2.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	40
4.2.2.2	Graphischer Vergleich der Trends	40
4.2.3	Kalium	41
4.2.3.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	41
4.2.3.2	Graphischer Vergleich der Trends	41
4.2.4	Calcium	42
4.2.4.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	42
4.2.4.2	Graphischer Vergleich der Trends	42
4.2.5	Magnesium	43
4.2.5.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	43
4.2.5.2	Graphischer Vergleich der Trends	43

5	Versuchsfläche Helfenberg	45
5.1	Veränderungen im Boden	46
5.1.1	pH-Wert	46
5.1.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	47
5.1.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	48
5.1.4	CaO-Gehalt und -Menge	50
5.1.5	MgO-Gehalt und -Menge	52
5.1.6	N-Gehalt und -Menge	54
5.1.7	C-Gehalt und -Menge	56
5.1.8	C/N-Verhältnis	58
5.1.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	59
5.2	Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden	61
5.2.1	Stickstoff	62
5.2.1.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	62
5.2.1.2	Graphischer Vergleich der Trends	62
5.2.2	Phosphor	63
5.2.2.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	63
5.2.2.2	Graphischer Vergleich der Trends	63
5.2.3	Kalium	64
5.2.3.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	64
5.2.3.2	Graphischer Vergleich der Trends	64
5.2.4	Calcium	65
5.2.4.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	65
5.2.4.2	Graphischer Vergleich der Trends	65
5.2.5	Magnesium	66
5.2.5.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	66
5.2.5.2	Graphischer Vergleich der Trends	66
6	Versuchsfläche Sierning	67
6.1	Veränderungen im Boden	68
6.1.1	pH-Wert	68
6.1.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	69
6.1.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	71
6.1.4	CaO-Gehalt und -Menge	73
6.1.5	MgO-Gehalt und -Menge	75
6.1.6	N-Gehalt und -Menge	77
6.1.7	C-Gehalt und -Menge	79
6.1.8	C/N-Verhältnis	81
6.1.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	82
6.2	Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden	84
6.2.1	Stickstoff	85
6.2.1.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	85
6.2.1.2	Graphischer Vergleich der Trends	85
6.2.2	Phosphor	86
6.2.2.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	86
6.2.2.2	Graphischer Vergleich der Trends	86
6.2.3	Kalium	87
6.2.3.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	87
6.2.3.2	Graphischer Vergleich der Trends	87
6.2.4	Calcium	88
6.2.4.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	88
6.2.4.2	Graphischer Vergleich der Trends	88
6.2.5	Magnesium	89

7	Versuchsfläche Silz	91
7.1	Veränderungen im Boden	92
7.1.1	pH-Wert	92
7.1.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	93
7.1.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	95
7.1.4	CaO-Gehalt und -Menge	97
7.1.5	MgO-Gehalt und -Menge	99
7.1.6	N-Gehalt und -Menge	101
7.1.7	C-Gehalt und -Menge	103
7.1.8	C/N-Verhältnis	104
7.1.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	105
7.2	Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden	107
7.2.1	Stickstoff	108
7.2.1.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	108
7.2.1.2	Graphischer Vergleich der Trends	108
7.2.2	Phosphor	109
7.2.2.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	109
7.2.2.2	Graphischer Vergleich der Trends	109
7.2.3	Kalium	110
7.2.3.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	110
7.2.3.2	Graphischer Vergleich der Trends	110
7.2.4	Calcium	111
7.2.4.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	111
7.2.4.2	Graphischer Vergleich der Trends	111
7.2.5	Magnesium	112
7.2.5.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	112
7.2.5.2	Graphischer Vergleich der Trends	112
8	Versuchsfläche Unterangerberg	113
8.1	Veränderungen im Boden	114
8.1.1	pH-Wert	114
8.1.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	115
8.1.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	117
8.1.4	CaO-Gehalt und -Menge	119
8.1.5	MgO-Gehalt und -Menge	121
8.1.6	N-Gehalt und -Menge	122
8.1.7	C-Gehalt und -Menge	124
8.1.8	C/N-Verhältnis	126
8.1.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	127
8.2	Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden	129
8.2.1	Stickstoff	130
8.2.1.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	130
8.2.1.2	Graphischer Vergleich der Trends	130
8.2.2	Phosphor	131
8.2.2.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	131
8.2.2.2	Graphischer Vergleich der Trends	131
8.2.3	Kalium	132
8.2.3.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	132
8.2.3.2	Graphischer Vergleich der Trends	132
8.2.4	Calcium	133
8.2.4.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	133
8.2.4.2	Graphischer Vergleich der Trends	133
8.2.5	Magnesium	134

9	Versuchsfläche Unzmarkt	135
9.1	Veränderungen im Boden	136
9.1.1	pH-Wert	136
9.1.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	137
9.1.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	139
9.1.4	CaO-Gehalt und -Menge	141
9.1.5	MgO-Gehalt und -Menge	143
9.1.6	N-Gehalt und -Menge	145
9.1.7	C-Gehalt und -Menge	146
9.1.8	C/N-Verhältnis	148
9.1.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	149
9.2	Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden	151
9.2.1	Stickstoff	152
9.2.1.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	152
9.2.1.2	Graphischer Vergleich der Trends	152
9.2.2	Phosphor	153
9.2.2.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	153
9.2.2.2	Graphischer Vergleich der Trends	153
9.2.3	Kalium	154
9.2.3.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	154
9.2.3.2	Graphischer Vergleich der Trends	154
9.2.4	Calcium	155
9.2.4.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	155
9.2.4.2	Graphischer Vergleich der Trends	155
9.2.5	Magnesium	156
9.2.5.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	156
9.2.5.2	Graphischer Vergleich der Trends	156
10	Versuchsfläche Karlstift	157
10.1	Veränderungen im Boden	158
10.1.1	pH-Wert	158
10.1.2	P ₂ O ₅ -Gehalt und -Menge	159
10.1.3	K ₂ O-Gehalt und -Menge	161
10.1.4	CaO-Gehalt und -Menge	163
10.1.5	MgO-Gehalt und -Menge	165
10.1.6	N-Gehalt und -Menge	167
10.1.7	C-Gehalt und -Menge	169
10.1.8	C/N-Verhältnis	171
10.1.9	Humusmächtigkeit und Fe ₂ O ₃ -Gehalt	172
10.2	Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden	174
10.2.1	Stickstoff	175
10.2.1.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	175
10.2.1.2	Graphischer Vergleich der Trends	175
10.2.2	Phosphor	176
10.2.2.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	176
10.2.2.2	Graphischer Vergleich der Trends	176
10.2.3	Kalium	177
10.2.3.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	177
10.2.3.2	Graphischer Vergleich der Trends	177
10.2.4	Calcium	178
10.2.4.1	Korrelation zwischen Nadel und Boden	178
10.2.4.2	Graphischer Vergleich der Trends	178
10.2.5	Magnesium	179

11	Gemeinsame Interpretation der Versuchsflächen	181
11.1	pH-Wert	181
11.2	Phosphor	182
11.3	Kalium	183
11.4	Calcium	184
11.5	Magnesium	185
11.6	Stickstoff	186
11.7	Kohlenstoff (Organische Substanz)	187
11.8	C/N-Verhältnis	188
11.9	Mächtigkeit der Humushorizonte	189
11.10	Mengenvergleich	190
12	Zusammenfassung	193
	Summary	195
13	Literatur	197

1 Einleitung und Fragestellung

Zur Frage immissionsbedingter Veränderungen des Waldbodens, etwa der Bodenversauerung, sind Trenduntersuchungen von besonderer Bedeutung. Allerdings ist dazu erforderliches Zeitreihenmaterial nur sehr spärlich vorhanden. Hier bieten sich die Exaktdüngungsversuchsflächen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, welche seit 1962 bzw. 1964 unter periodischer Beobachtung stehen, als wertvolle Objekte an. Von den insgesamt 11 angelegten Versuchsflächen erwiesen sich 7 für die vorliegende Auswertung eines 20-jährigen Untersuchungszeitraumes als geeignet.

Es mußte jedoch einige Mühe aufgewendet werden, um das im Detail recht heterogene Material für Zeitvergleiche aufzubereiten .

In dieser Arbeit werden vorerst nur die Daten der ungedüngten Parzellen ausgewertet, um Veränderungstendenzen im mehr oder weniger naturbelassenen Boden zu erfassen. In einem späteren 2. Teil soll sodann die vergleichsweise Untersuchung der gedüngten Varianten Auskunft geben, inwieweit durch Düngung mittelfristig allfällige Veränderungen, insbesondere Bodenversauerung, hintangehalten werden können.

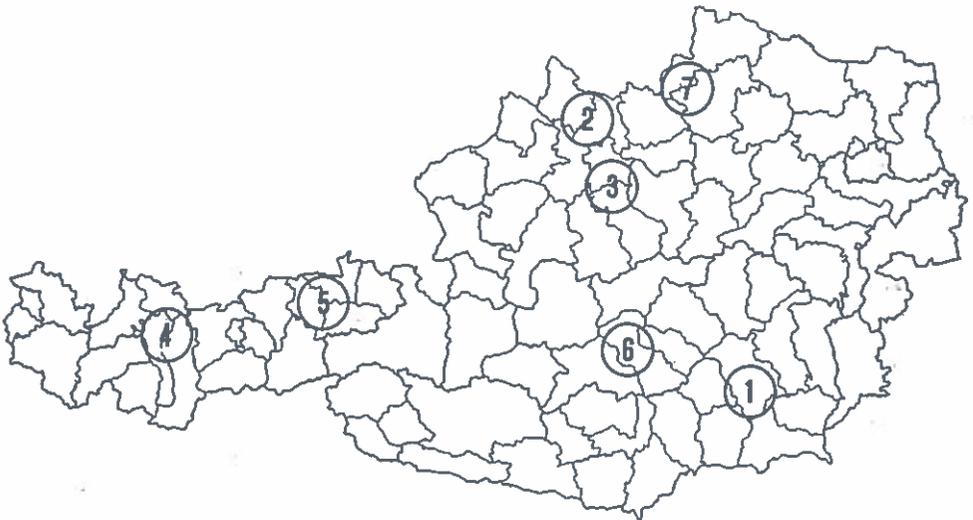
Jede Düngungsversuchsfläche umfaßt je 3-4 zufällig verteilte, dauerhaft vermarkte Teilflächen für jede Behandlungsvariante einschließlich der unbehandelten. Auf jeder dieser Teilflächen wurden aus einem eingemessenen Raster 4 Probepunkte gelöst. Diese zu Versuchsbeginn getroffene Auswahl blieb für alle Wiederholungsaufnahmen bestehen. Es stehen somit für jede Versuchsfläche und Behandlungsvariante 12 bis 16 wiederauffindbare und periodisch beprobte Untersuchungspunkte zur Verfügung. Solche bodenkundlichen Aufnahmen und Bodenanalysen liegen bisher von der Erstaufnahme (1962/64), einer 5-jährigen, 10-jährigen sowie (für alle ungedüngten Parzellen) einer 20-jährigen Wiederholung (1983) vor. An jeweils 2 der gelösten Untersuchungs-Rasterpunkte (= Hauptpunkte) wurden Probebäume zur jährlichen Nadelanalyse auf Schwefel und Hauptnährelemente ausgewählt. Dadurch können Nadel- und Bodenanalysen unmittelbar in Beziehung gesetzt werden.

Daneben existieren für jede Fläche u.a. umfangreiche 5-jährig periodische zuwachskundliche Untersuchungen und Vegetationsaufnahmen, auf welche in dieser Arbeit jedoch nicht eingegangen wird.

1.1 Lage und Design der Versuchsflächen

In Abb. 1 ist die Lage der hier untersuchten Düngungsversuchsflächen dargestellt. Aus immissionsökologischer Sicht ist zu bemerken, daß sich alle Flächen in "industriefernen" Lagen (STEFAN, 1982) befinden.

Abb.1: Lage der untersuchten Exaktdüngungsversuchsflächen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt



1=Grottenhof; 2=Helfenberg; 3=Sierning; 4=Silz;
5=Unterangerberg; 6=Unzmarkt; 7=Karlstift;

2 Bisherige Untersuchungen und Ergebnisse

Einzelvergleiche ausgewählter Analysendaten der einen oder anderen Versuchsfläche wurden ansatzweise schon vor Jahren versucht (KILIAN 1981), eine umfassendere Analyse ist jedoch immer wieder aus dem statistischen Aufwand und der Heterogenität des Materials gescheitert.

Im Rahmen seiner Diplomarbeit hat STÖHR (1984) u.a. die hier behandelten Versuchsflächen beprobt und auf Veränderung des pH-Wertes untersucht, sowie als Kontrollwerte N- und C-Konzentrationen und C/N-Verhältnis in den einzelnen Horizonten bestimmt.

Die Probenahme war aber bereits auf die nunmehr vorliegende Untersuchung weiterer Hauptnährstoffe und Mengenberechnung pro Flächeneinheit ausgerichtet.

In der vorliegenden Arbeit werden zum besseren Verständnis auch die Ergebnisse von STÖHR kurz angeführt. Die Elemente N und C wurden jedoch einer eingehenderen Untersuchung unterzogen.

3 Material und Methoden

3.1 Probenwerbung und -aufbereitung

Bei der Erstaufnahme wurden an allen 12 bzw. 16 Beprobungsorten je Behandlungsvariante und Versuchsfläche Profilgruben geöffnet und horizontweise Bodenproben gezogen; auf den Hauptpunkten (mit Nadelprobebäumen) bis in den Unterboden, auf den anderen nur bis in den B_1 -Horizont.

Da nach den bisherigen Erfahrungen nur in den obersten Zentimetern des Mineralbodens mit einer mittelfristigen Düngerwirkung zu rechnen war, wurde bei der zweiten, teilweise auch bei der dritten Aufnahme aus arbeitsökonomischen Gründen nur der Oberboden, auf den "Nebenpunkten" überhaupt nur die Auflage und der A_h -Horizont beprobt. Die Anzahl der Wiederholungen ist daher in den verschiedenen Varianten ungleich.

Bei der zweiten Wiederholung wurde auf 4 Versuchsflächen (Grottenhof, Silz, Sierning und Karlstift) die Auflage und der oberste Mineralboden volumsgerecht mittels Stechzylindern (horizontweise Mischproben aus ≥ 3 1l-Zylindern je Punkt) geworben. Im Jahre 1983 erfolgte die Probenahme volumsgerecht mittels Hohlbohrer (60cm lang, Durchmesser 7cm). Die Bohrkerne aus jeweils 3 Einschlügen wurden horizontweise zu Mischproben vereint.

Im Auflagehumus wurde dort, wo die Horizonte leicht unterscheidbar waren, der O_f und O_h -Horizont, fallweise zusätzlich die Waldstreu (O_1 -Horizont), getrennt analysiert. Da diese Trennung aber nicht stets und überall realisiert wurde, kamen für einen Vergleich nur die aus diesen Subhorizonten (ohne O_1) gebildeten, gewichteten Mittelwerte für den Auflagehumus in Frage. Diese beschreiben auch besser Veränderungen der Humusqualität, welche ja eher in einer Änderung des Anteils an O_f und O_h -Horizont besteht, als in einer Änderung deren chemischer Parameter.

Im Labor wurden die luftgetrockneten Mischproben gewogen, in der Porzellanschale vorsichtig zerkleinert, der Feinboden (≤ 2 mm) gesiebt und wiederum gewogen. Für die Bestimmung des organischen Kohlenstoffs und Gesamtstickstoffs wurde der Feinboden bis zur

3.2 Analytik

3.2.1 Analysenverfahren der jüngsten Wiederholung

- pH: in 1/10n KCl-Suspension elektrometrisch mit einer Einstabmeßkette
- N: Gesamtstickstoff nach Kjeldahl
- C_{org}: Gesamtkohlenstoff als CO₂ nach trockener Verbrennung im Sauerstoffstrom und IR-Dedektion
- Säureaufschluß: Aufschluß mit einem Gemisch von Salpetersäure-Perchlorsäure (5+1) bei 180°C. Folgende Parameter wurden in der Aufschlußlösung bestimmt: P₂O₅ (mittels Spektralphotometer), K₂O, CaO, MgO, Fe₂O₃, Mn, Cu, Zn, Co, Cr, Ni und Pb (mittels AAS in der Luft-Acetylenflamme) und Al₂O₃ (mittels AAS in der Lachgas-Acetylenflamme).
- Kationenbelag: Auszug mit 0,1 mol/l Bariumchlorid-Lösung. In der Auszugslösung wurden folgende Elemente analysiert: K, Ca, Mg, Fe und Mn (mittels AAS in der Luft-Acetylenflamme), Al (mittels AAS in der Lachgas-Acetylenflamme) und die Protonenkonzentration (über pH-Differenzmessung der Auszugslösung vor und nach der Schüttelung). Daraus errechnet wurden die Kationenaustauschkapazität (KAK) und die Basensättigung (V-Wert).

Die Bestimmung der Kationenaustauschkapazität erfolgte nur für den Mineralboden. Die Al₂O₃-Bestimmung im Säureaufschluß wurde nur für den Auflagehumus durchgeführt.

Die detaillierten Beschreibungen für Probenahme und Analyse sind den Richtlinien der Österreichischen Bodenkundlichen Gesellschaft zur Waldbodenuntersuchung (BLUM et al. 1986) zu entnehmen.

2.2 Ältere Analysen - Vergleich alter und neuer Bodenanalysen

Bei der Analyse der jüngsten Proben wurde versucht, möglichst alle alten Bestimmungen vergleichbar nach zu vollziehen. Hierzu standen neben der Korngrößenbestimmung der pH-Wert, der Gesamtgehalt an Stickstoff und Kohlenstoff sowie die "Gesamt mengen" der Hauptnährelemente P, K, Ca und Mg als auch Fe aus dem heißen Salzsäureaufschluß zur Verfügung.

Die Kohlenstoffbestimmung durch trockene Verbrennung im Sauerstoffstrom sowie die Bestimmung des Gesamtstickstoffs aus dem Kjeldahl-Aufschluß können als weitgehend identisch, die Werte als voll vergleichbar angesehen werden, wenn auch die Analytik im einzelnen apparativ zu den verschiedenen Zeitpunkten abweicht.

Vergleichende Vergleichsanalysen am Institut für Standortskunde der BVA haben gezeigt, daß auch der seinerzeit verwendete Aufschluß mit heißer konzentrierter Salzsäure in einem vertretbaren Bereich gleiche Ergebnisse brachte wie der heute verwendete Aufschluß aus Perchlorsäure-Salpetersäure-Gemisch. Gewisse Probleme ergeben sich jedoch aus den unterschiedlichen Messungsverfahren für die einzelnen Elemente. Als Bezugsstandard kann die moderne Analytik der jüngsten Wiederholung gelten.

P_2O_5 wurde zum ersten Termin noch teilweise gravimetrisch bestimmt; das Verfahren war umständlich, die Werte können jedoch als vergleichbar angesehen werden. Das gleiche gilt für die während der Versuchslaufzeit wiederholt modifizierte colorimetrischen Verfahren. Fehler könnten allenfalls durch störende Kieselsäure bei den Salzsäureaufschlüssen aufgetreten sein, doch wurde auf dieses Problem schon seinerzeit sorgfältig Rücksicht genommen.

CaO wurde zu den ersten 3 Terminen am Filterflammenphotometer bestimmt. Die relativ hohen Konzentrationen können als weitgehend störungsfrei gemessen und mit den heutigen Analysen vergleichbar angesehen werden.

Die zu Beginn gravimetrisch und später titrimetrisch bestimmten CaO - und MgO -Gehalte sind ebenfalls weitgehend vergleichbar. Dies betrifft die Erstanalyse und bei einzelnen Versuchsflächen

bestimmten CaO- und MgO-Werte sind hingegen problematisch: insbesondere die Messung von MgO ist unsicher und unterlag zweifellos einer Störung durch Al und Fe. Zu dieser Zeit war eine Maskierung dieser Elemente mittels Lanthanoxid noch nicht üblich bzw. bekannt. Für das besser meßbare CaO ist der Fehler vermutlich etwas geringer. Diese unsicheren Werte betreffen die zweite Wiederholung und bei den später eingerichteten Versuchsflächen die erste Wiederholung. Bei der Interpretation der Ergebnisse wird bei den einzelnen Versuchsflächen darauf eingegangen.

Mit dem Wandel der Analysemethoden waren auch die Meßschwellen unterschiedlich. Für die statistische Auswertung wurde dementsprechend die früher übliche Angabe "Spuren" für nicht meßbare Beträge durch den halben Meßschwellenwert ersetzt: für die ersten drei Analysetermine bei K_2O , P_2O_5 und N durch 0,01%, bei MgO und CaO durch 0,02%. Bei Fe_2O_3 gilt für die ersten 2 Termine 0,10%. Dadurch stehen durchwegs konkrete, von Null verschiedene Meßwerte zur Verfügung.

Die früher übliche und für die ersten drei Untersuchungsperioden noch durchgeführte Bestimmung einer leicht löslichen Fraktion von K und P aus dem CAL-Extrakt wurde bei der jüngsten Wiederholung unberücksichtigt gelassen, da diese Extraktionsmethode der gegenwärtigen Kenntnisstand nicht mehr entspricht und schon seinerzeit unbefriedigende Ergebnisse erbrachte.

Die austauschbar gebundenen Kationen (Bariumchlorid-Extrakt) wurden erstmals in den Proben von 1983 zur Charakterisierung des Bodenzustandes bestimmt. Für eine Trenduntersuchung dieser sicherlich sehr aussagekräftigen Werte fehlen leider vergleichbare, ältere Daten.

3.3 Berechnung und statistische Behandlung

3.3.1 Analysendaten

Da die Entnahmepunkte bei allen Wiederholungsaufnahmen stets dieselben waren, konnten die Analysendaten jedes einzelnen Probepunktes und Bodenhorizontes für sich paarweise zwischen der

Mittel dieser Differenzen signifikant von 0 unterscheidet, erfolgte mittels t-Test. Es ist also zu beachten, daß die Signifikanz in den Tabellen vom Vergleich abhängiger Paare und nicht aus dem Vergleich der Mittel und deren oft beachtlichen Standardabweichungen stammen!

Die EDV-Auswertung erfolgte auf einer VAX 750 an der FBVA. Die statistischen Auswertungsmethoden wurden dem Programmpaket "SPSS" entnommen und für diese speziellen Fälle modifiziert:

t-TEST: zur Prüfung des Mittels aller Wertepaare auf Signifikanz.

ONEWAY: ist für einfaktorielle Varianzanalysen gedacht. Gleichzeitig wird in diesem Programm auch der TUKEY-Test angewendet.

SCATTERGRAM: bietet eine graphische und gleichzeitig auch rechnerische Lösung der Korrelation (errechnet wird der Pearson'sche Korrelationskoeffizient).

Auch wurden die Nadelspiegelwerte mit den Bodenkenndaten in Beziehung gesetzt. Korreliert wurden die Elemente N, P, K, Ca und Mg (jeweils mit sich selbst) in Nadel und Boden.

Für die Signifikanz wird die übliche Symbolik verwendet:

- * Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 5\%$ signifikant
- ** Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 1\%$ hoch signifikant
- *** Irrtumswahrscheinlichkeit $\alpha < 0,1\%$ höchst signifikant

Die Versuchsdauer erstreckt sich über eine wesentliche Entwicklungsperiode der Bodenkunde. Die Erstaufnahme fällt in die Anfänge der moderneren Bodenchemie. Die Analytik, die Art der Probenahme und die Profilansprache haben sich seither kontinuierlich verändert. Die damit verbundene beschränkte Vergleichsmöglichkeit der Daten muß bei der Interpretation der vorliegenden Untersuchungen stets im Auge behalten werden, zumal das Ziel der Düngungsversuche ein anderes war als die vorliegende Fragestellung und daher das Versuchsdesign für diesen Zweck manche Unzulänglichkeiten aufweist.

3.3.2 Berechnung der Mengen pro Flächeneinheit

Neben der Konzentration der analysierten Inhaltsstoffe ist ein Vergleich der Stoffmengen bis zu einer bestimmten Bodentiefe je Flächeneinheit von Interesse.

Auch bei der Mengenberechnung wurde versucht, die Veränderung der einzelnen Punkte als abhängige Größe über die Flächen zu mitteln und nicht Flächen-Mittelwerte der einzelnen Termine zu vergleichen.

Die Proben der Letztaufnahmen wurden zur Gänze, jene der älteren teilweise aus den oberen Horizonten flächenproportional geworben. Es erschien zulässig, die für einzelne Meßperioden fehlenden Mengenangaben des Feinbodens je Flächeneinheit durch Berechnung aus den cm-Angaben und dem aus den übrigen Terminen gemittelten Raumgewicht des jeweiligen Horizontes zu ergänzen.

Auf diese Weise war es möglich, Stoffmengen im Auflagehumus mit ausreichender Sicherheit zu berechnen, da die Probenzahl hier ziemlich gleich und ausreichend groß war. Für den Mineralboden war dies schwieriger; denn hier war die Zahl der Einzelmessungen in den zugehörigen Horizonten und Terminen sehr unterschiedlich. Es hat sich einmal mehr gezeigt, daß für Stoffmengenbilanzen die Probenahme nach morphologischen Bodenhorizonten ungeeignet ist, obwohl dies vom bodenkundlichen Standpunkt aus stets als unabdingbare Voraussetzung gilt; eine Frage, die auch bei der Erstellung von Richtlinien für moderne Bodenzustandsinventuren zu ausgedehnten Diskussionen geführt hat. Die Horizonte unterliegen im Laufe der Zeit selbst Veränderungen und variieren räumlich auf engstem Raum, ja fehlen stellenweise und sind durch andere ersetzt. Wegen der notwendigen Mittelung und Mischprobenbildung sind solche Proben mit merklicher Unsicherheit behaftet. Daher ist für diese Fragestellung nur eine Probennahme aus festgelegten Tiefenstufen zielführend.

In jedem Falle aber ist bei derartigen Kalkulationen zu beachten, daß eine Änderung des physikalischen Bodenzustandes, etwa eine Verdichtung oder biogene Auflockerung, zu einer beachtlichen Änderung der Gesamtmasse (Raumgewicht) des Bodens und damit

für eine festgesetzte Bodentiefe führen kann.

Dennoch wurde mit großem Rechenaufwand versucht, das vorhandene Material auch für Mengenbilanzen so weit als möglich nutzbar zu machen.

Prinzipiell war so vorzugehen, daß für jeden Probepunkt die Stoffmengen je Horizont bis zu einer Tiefe von 15 cm aufsummiert und dieser Wert über die Versuchsfläche gemittelt wurde.

Für den Auflagehumus und den A_h -Horizont standen von fast allen Punkten und Terminen Proben zur Verfügung. Falls von einem Punkt und Horizont zu einem Termin kein Wert verfügbar war, wurde das Mittel aus den anderen Terminen eingesetzt, um auf die gesamte verglichene Bodentiefe aufsummieren zu können. Schwankungen wurden dadurch eher ausgeglichen, verbliebene zeitliche Unterschiede waren im Zweifel eher signifikant.

Dies schien sicherer als Daten des gleichen Horizontes von anderen Punkten zu extrapolieren, weil diese ja nur im Kontext des jeweiligen Gesamtprofils Gültigkeit haben.

Von den tieferen Horizonten liegen bedeutend weniger Wiederholungen vor, die B-Horizonte sind in vielen Fällen nur mit wenigen Proben besetzt. Hier wurden nur jene Punkte in die Berechnung einbezogen, für die zumindest von 2 Terminen Analysen vorlagen; diese Mittelbildungen sind entsprechend unsicherer.

Auf diese Weise war es zwar möglich, fast für alle Beobachtungstermine Mittelwerte für Stoffmengen zu bilden. Wegen der recht inhomogenen Besetzung mit Wiederholungen und der z.T. rechnerisch ergänzten Werte mußte jedoch eine statistische Behandlung unterbleiben. Die Mengenvergleiche des Mineralbodens sind mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet.

In den nachfolgenden Ergebnissen sind die gemessenen Konzentrationen als "Gehalt", die errechneten flächenbezogenen Mengen als "Menge" angegeben.

3.3.3 Korrelation zwischen Nadelspiegelwerten und Bodenanalysen

Es sollte geprüft werden, ob zwischen dem Ernährungszustand vor Fichte und den Gehalten an den jeweiligen Nährelementen im Boden Beziehungen bestehen. Diese Korrelationsanalyse bezieht sich auf den Zusammenhang der Nadelspiegelwerte mit der Nährstoffausstattung im Boden an sich und nicht auf einen Vergleich der zeitlichen Veränderungen beider Parameter!

3.3.4 Trendvergleich Nadel-Boden

Zusätzlich wurde auf graphischem Wege versucht, Zusammenhänge zwischen Änderungen der Nadelspiegelwerte und Bodenparameter während des Beobachtungszeitraumes aufzufinden.

Die Elementgehalte in den Nadeln unterliegen starken Schwankungen von Jahr zu Jahr. Der Vergleich zu wenigen Einzelterminen kann daher irreführend sein, weil die Nadelspiegelwerte möglicherweise schon im Vorjahr oder noch früher über die Knospenanlage vorbestimmt werden und daher nicht mit der Bodensituation zum Probetermin in Beziehung stehen müssen. Eher gibt der Kurvenverlauf über mehrere Jahre Aufschluß über den Trend der Nährstoffgehalte in den Nadeln.

In den Graphiken werden P, K, Ca und Mg im Boden wie üblich als Oxid, in den Nadeln als Element angegeben.

4 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: Landw. Fachschule Grottenhof, Graz-Wetzelsdorf

Wuchsraum 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 (10YR3/4)
AE	3 - 20cm	sandiger Lehm, fahl gelbbraun (10YR5,5/4) mit taschenförmiger Humuseinwaschung, kantenrund-blockige Struktur
B _t	20 - 30cm	Lehm, grob blockige Struktur, gelbbraun (10YR5/4), schwach nadelstich-fleckig (Punktkonkretionen), schwach durchwurzelt, kein Grobanteil
B _{tg}	30 - 70cm	Lehm, deutlich grobblockig, dicht, braun (7,5-10YR5/5), deutlich rost- und fahl-fleckig, auslaufende Grobwurzeln
BD	70 - 130cm	sandig-grusiger Lehm, dicht, stark steinig (vorwiegend Quarzschotter)

4.1 Veränderungen im Boden

4.1.1 pH-Wert (nach STÖHR, 1984)

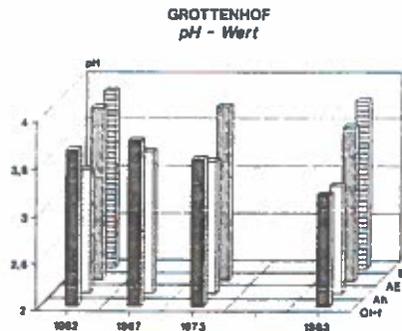
Im Auflagehumus ist der pH-Wert im Mittel von 1962 bis 1983 um 0,47 pH-Einheiten, von 1967 bis 1983 um 0,57 sowie von 1973 bis 1983 um 0,39 pH-Einheiten abgesunken; im 20-jährigen Beobachtungszeitraum von pH 3,7 auf pH 3,2.

Im A_h -Horizont treten zwischen 1962 und 1983 (0,17 pH-Einheiten), 1967 und 1983 (0,35) und auch zwischen 1973 und 1983 (0,25) signifikante pH-Wert-Absenkungen auf. Die pH-Werte im Jahre 1967 sind hingegen in diesem Horizont deutlich gegenüber 1962 erhöht (von 3,3 auf 3,5).

In den tieferen Bodenschichten ist zwischen 1962 und 1983 (0,20 pH-Einheiten) eine deutliche Versauerung feststellbar. Aus den anderen Jahren ist die Probenanzahl für einen Vergleich unzureichend.

Der pH-Wert nimmt in allen Horizonten erst schwach, (im A_h signifikant) zu, dann aber, von 1967 und 1973 setzt die bis 1983 hoch signifikante Abnahme in allen Horizonten ein (s. Abb. 4.1 und Tab. 4.1). Insgesamt ist die Abnahme von 1963–1983 hoch signifikant.

Abb. 4.1: pH - Wert



Tab.4.1: Grottenhof, pH - Wert

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	3,66	3,76	3,57	3,19
s	0,537	0,480	0,296	0,150
Min	3,2	3,2	3,3	3,0
Max	5,4	4,7	4,3	3,6
n	16	16	15	16
Horizont A _h				
\bar{x}	3,31	3,51	3,41	3,15
s	0,135	0,194	0,171	0,141
Min	3,1	3,2	3,2	3,0
Max	3,6	3,9	3,8	3,5
n	14	13	15	15
Horizont AE				
\bar{x}	3,83	-	3,85	3,63
s	0,096	-	0,071	0,096
Min	3,7	-	3,8	3,5
Max	3,9	-	3,9	3,7
n	4	-	2	4
Horizont B _t				
\bar{x}	3,87	-	3,80	3,77
s	0,058	-	-	0,153
Min	3,8	-	-	3,6
Max	3,9	-	-	3,9
n	3	-	1	3

4.1.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

Die P₂O₅-Konzentrationen zeigen im Auflagehumus und A_h-Horizont signifikante und gleichlaufende Veränderungen (s. Abb. 4.2). Der P₂O₅-Gehalt nimmt in beiden Horizonten in der Periode 1962-1967 zunächst hoch signifikant zu, im Zeitraum 1967-1983 stetig und höchst (bzw. hoch) signifikant ab; im A_h-Horizont auf den Ausgangswert, im Auflagehumus etwas darunter. Im AE- und B_t-Horizont sind keine statistisch gesicherten Veränderungen nachweisbar (s. Tab. 4.2.1).

Die P₂O₅-Menge nimmt im Auflagehumus zunächst signifikant und stetig bis 1973 von 133 kg/ha auf 98 kg/ha ab und danach nur ungesichert wieder auf 111 kg/ha zu. Diese Schwankung korreliert mit der Änderung der Auflagemächtigkeit nur undeutlich, weil sie von der konträr verlaufenden Änderung der P₂O₅-Konzentration überlagert wird. Im Mineralboden bis 15 cm sinkt die P₂O₅-Menge innerhalb des Versuchszeitraumes von 1,3 t/ha auf 0,9 t/ha ab

Die Gesamtbilanz an P_2O_5 im Mineralboden bis 15cm incl. Auflagehumus wäre demnach über den Beobachtungszeitraum 1962–1983 mit 440kg/ha negativ.

Abb.4.2: P_2O_5 - Gehalt

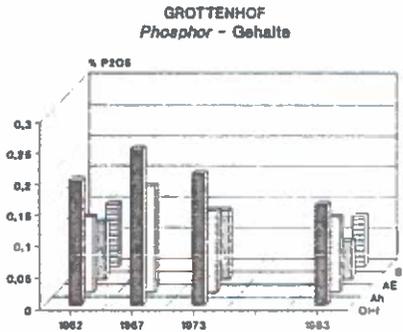
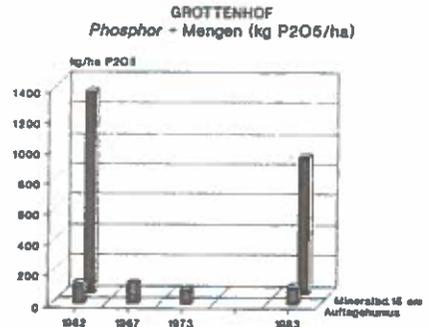


Abb.4.3: P_2O_5 - Menge



Tab.4.2.1: Grottenhof, P_2O_5 - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,20	0,25	0,21	0,16
s	0,057	0,054	0,022	0,064
Min	0,10	0,16	0,16	0,00
Max	0,32	0,38	0,25	0,31
n	16	16	15	16
Horizont A _h				
\bar{x}	0,12	0,17	0,13	0,12
s	0,030	0,049	0,029	0,025
Min	0,09	0,10	0,10	0,09
Max	0,20	0,25	0,20	0,20
n	14	13	15	15
Horizont AE				
\bar{x}	0,09	-	0,11	0,06
s	0,025	-	0,028	0,034
Min	0,06	-	0,09	0,01
Max	0,12	-	0,13	0,09
n	4	-	2	4
Horizont B ₁				
\bar{x}	0,10	-	0,08	0,08
s	0,010	-	-	0,017
Min	0,09	-	-	0,06
Max	0,11	-	-	0,09
n	3	-	1	3

Tab.4.2.2: Grottenhof, P_2O_5 - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	133	130	98	111
s	59	65	35	63
Min	49	49	44	0
Max	266	269	169	250
n	16	16	15	16
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	1.321	-	-	895
Min	881	-	-	200
Max	1.614	-	-	1.529

4.1.3 K_2O -Gehalt und -Menge

Abgesehen von einem unbedeutenden Anstieg 1973 sind die K_2O -Gehalte über den 20-jährigen Zeitraum kontinuierlich gesunken (s. Abb. 4.4); im Auflagehumus signifikant von 0,14% auf 0,08% im A_h -Horizont höchst signifikant von 0,10% auf 0,07% und im AE-Horizont statistisch gesichert von 0,12% auf 0,06% (s. Tab. 4.3.1).

Die K_2O -Menge nimmt im Auflagehumus statistisch ungesichert von 93 kg/ha auf 52 kg/ha ab und bleibt dann gleich. Die errechnete Abnahme im Mineralboden von 1,7 t/ha auf 0,8 t/ha (s. Abb. 4.5 und Tab. 4.3.2) ist wegen der großen Streuung ohne Aussage.

Die Gesamtbilanz im Mineralboden bis 15 cm und Auflagehumus wäre demnach mit 1 t/ha negativ.

Abb. 4.4: K_2O - Gehalt

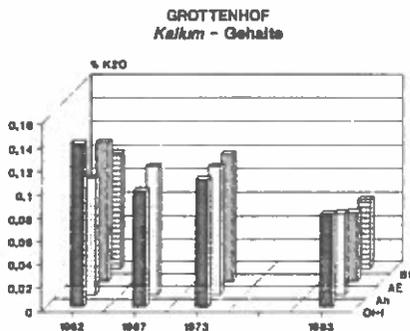
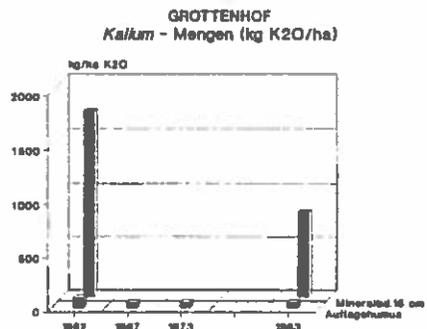


Abb. 4.5: K_2O - Menge



Tab.4.3.1: Grottenhof, K₂O - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,14	0,10	0,11	0,08
s	0,119	0,035	0,026	0,048
Min	0,07	0,01	0,08	0,00
Max	0,57	0,16	0,18	0,24
n	16	16	15	16
Horizont A _h				
\bar{x}	0,10	0,11	0,11	0,07
s	0,032	0,026	0,016	0,024
Min	0,06	0,06	0,08	0,04
Max	0,20	0,15	0,14	0,14
n	14	13	15	15
Horizont AE				
\bar{x}	0,12	-	0,11	0,06
s	0,027	-	0,014	0,013
Min	0,10	-	0,10	0,04
Max	0,16	-	0,12	0,07
n	4	-	2	4
Horizont B ₁				
\bar{x}	0,10	-	0,13	0,06
s	0,010	-	-	0,012
Min	0,09	-	-	0,05
Max	0,11	-	-	0,07
n	3	-	1	3

Tab.4.3.2: Grottenhof, K₂O - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	93	52	51	52
s	93	33	15	26
Min	29	4	22	0
Max	429	138	79	119
n	16	16	15	16
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	1.725	-	-	799
Min	1.358	-	-	617
Max	2.382	-	-	1.080

1.4 CaO-Gehalt und -Menge

In der 1. und 2. Periode schwanken die Werte (s. Abb. 4.6) im Auflagehumus beträchtlich, aber ungesichert; im A_h -Horizont nimmt der CaO-Gehalt bis 1973 höchst signifikant zu.

In der 3. Periode nimmt die CaO-Konzentration im Auflagehumus und im A_h -Horizont hoch gesichert ab; im Auflagehumus unter den Ausgangswert von 1962, im A_h -Horizont knapp darüber. Im AE- und OH-Horizont nehmen die CaO-Konzentrationen hingegen kontinuierlich und signifikant ab (s. Tab. 4.4.1).

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

Die CaO-Menge (s. Abb. 4.7) im Auflagehumus nimmt in der 1. Periode von 359 kg/ha auf 133 kg/ha gesichert ab und bleibt danach eher konstant. Diese Abnahme ist wohl vornehmlich auf den Abbau des Auflagehumus im ersten Pentennium zurückzuführen, während dessen späterer Wiederaufbau von der fortschreitenden Konzentrationsabnahme überlagert wird.

Die errechneten CaO-Mengen im Mineralboden beruhen auf zu wenigen und zu unsicheren Ausgangsdaten, um eine Aussage zu rechtfertigen. Der CaO-Verlust wäre tatsächlich wenig plausibel.

Abb. 4.6: CaO - Gehalt

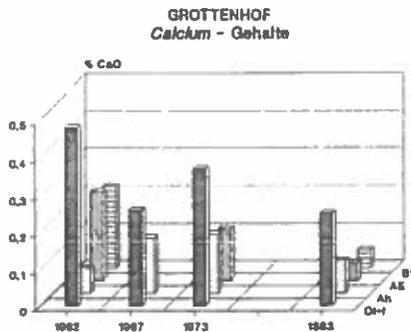
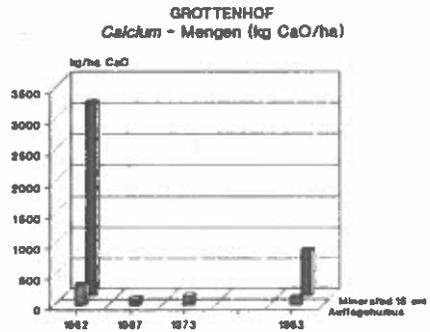


Abb. 4.7: CaO - Menge



Tab.4.4.1: Grottenhof, CaO - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,48	0,26	0,37	0,25
s	0,472	0,246	0,164	0,201
Min	0,04	0,02	0,20	0,00
Max	1,79	0,98	0,85	0,91
n	16	16	15	16
		Horizont A _h		
\bar{x}	0,07	0,15	0,16	0,09
s	0,063	0,069	0,053	0,045
Min	0,04	0,02	0,05	0,04
Max	0,22	0,26	0,25	0,20
n	14	13	15	15
		Horizont AE		
\bar{x}	0,24	-	0,14	0,05
s	0,119	-	0,014	0,010
Min	0,08	-	0,13	0,04
Max	0,33	-	0,15	0,06
n	4	-	2	4
		Horizont B _i		
\bar{x}	0,22	-	0,10	0,05
s	0,110	-	-	0,010
Min	0,11	-	-	0,04
Max	0,33	-	-	0,06
n	3	-	1	3

Tab.4.4.2: Grottenhof, CaO - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	359	133	175	149
s	451	148	101	83
Min	23	7	44	0
Max	1.767	543	451	369
n	16	16	15	16
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	3.128	-	-	732
Min	1.186	-	-	605
Max	4.508	-	-	907

4.1.5 MgO-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus unterliegt die MgO-Konzentration uneinheitlichen, periodischen Schwankungen innerhalb des 20-jährigen Zeitintervalls. Auch die MgO-Menge pendelt sich im Jahre 1983 wieder auf den Ausgangswert von 1962 mit 135kg/ha ein (s.Tab.4.5.2). Hingegen zeichnet der mineralische Oberboden sowohl in der Konzentration als auch in der Menge ein anderes Bild (s.Abb.4.8 und 4.9):

Im A_h -Horizont nimmt die MgO-Konzentration in den ersten 10 Jahren nach Versuchsbeginn von 0,11% auf 0,45% höchst signifikant zu, die Abnahme auf 0,37% in den letzten 10 Jahren ist ungesichert (s.Tab.4.5.1). Die Tendenz im A_h -Horizont verläuft bei MgO und CaO ähnlich.

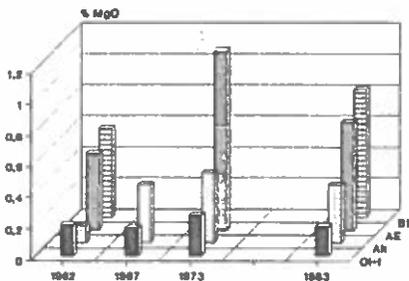
Wie eingangs erwähnt, war jedoch insbesondere die MgO-Messung des 2. und 3. Termines unsicher; verbleibt als analytisch gesichert nur der Vergleich über die 20-jährige Zeitspanne. Aber auch hier ist der Anstieg beachtlich.

Während die CaO-Menge des Oberbodens insgesamt abnimmt, steigt jene an MgO an. Eine Quantifizierung ist aber wiederum unzulässig.

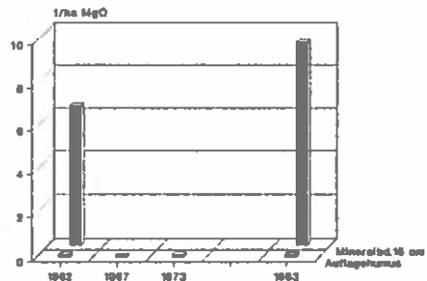
Abb.4.8: MgO - Gehalt

Abb.4.9: MgO - Menge

GROTTENHOF
Magnesium - Gehalte



GROTTENHOF
Magnesium - Mengen (t MgO/ha)



Tab.4.5.1: Grottenhof, MgO - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
		Auflagchumus		
\bar{x}	0,20	0,18	0,26	0,19
s	0,145	0,136	0,066	0,086
Min	0,02	0,02	0,09	0,00
Max	0,34	0,50	0,35	0,32
n	16	16	15	16
		Horizont A _h		
\bar{x}	0,11	0,37	0,45	0,37
s	0,179	0,265	0,107	0,165
Min	0,02	0,02	0,29	0,17
Max	0,58	1,00	0,60	0,66
n	14	13	15	15
		Horizont AE		
\bar{x}	0,49	-	1,15	0,69
s	0,164	-	0,000	0,190
Min	0,24	-	1,15	0,42
Max	0,58	-	1,15	0,86
n	4	-	2	4
		Horizont B _t		
\bar{x}	0,57	-	1,35	0,82
s	0,235	-	-	0,087
Min	0,33	-	-	0,77
Max	0,80	-	-	0,92
n	3	-	1	3

Tab.4.5.2: Grottenhof, MgO - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
		Auflagchumus		
\bar{x}	136	81	124	135
s	115	61	58	94
Min	11	9	47	0
Max	316	195	231	336
n	16	16	15	16
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	6.437	-	-	9.407
Min	3.573	-	-	6.252
Max	8.068	-	-	11.540

1.6 N-Gehalt und -Menge

Der N-Gehalt hat im AE-Horizont signifikant und im B_t-Horizont zugenommen; im A_h-Horizont ist kein klarer Trend erkennbar und im Auflagehumus allenfalls eine geringfügige, nicht signifikante Abnahme (s.Tab.4.6.1 und Abb.4.10).

Grundsätzlich deutlichere Veränderungen zeigt die N-Menge (s.Abb.4.11); in den obersten 15cm Mineralboden ist die N-Menge von 970kg/ha im Jahre 1962 auf 2t/ha im Jahre 1983 angestiegen. Die N-Menge im Auflagehumus veränderte sich genau gegenläufig; in den hochsignifikanten steten Abnahme bis 1973 von 804kg/ha auf 606kg/ha folgt bis 1983 wieder ein gesicherter Anstieg auf 739kg/ha (s.Tab.4.6.2). Offenbar ist hier bis 1973 Humusmineralisation und danach wieder ein leichter Aufbau von Auflagehumus eingetreten.

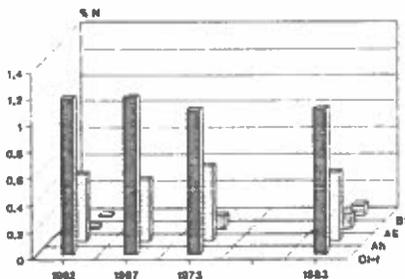
Die Gesamtbilanz der N-Menge über Auflagehumus und Mineraloberboden ist jedoch stark positiv. Die Gesamtzunahme von 1963 bis 1983 beträgt über 1t/ha.

Bei den organogenen Elementen N und P sind die Mengen im Auflagehumus und im Mineralboden gegenläufig (s.Abb.4.3 und 4.11). Bei gleicher Konzentration ist diese Aussage nicht zutreffend (s.Abb.4.2 und 4.10). Die N-Zunahme im AE- und B_t-Horizont bis 1983 könnte N-Einwaschung bedeuten, die der N-Menge evtl. auch Erweiterung des A_h-Horizontes auf Kosten des O_f + O_h.

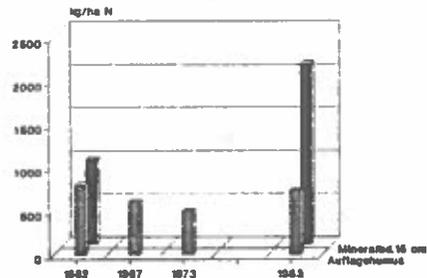
Abb.4.10: N - Gehalt

Abb.4.11: N - Menge

GROTTENHOF
Stickstoff - Gehalte



GROTTENHOF
Stickstoff - Mengen (kg N/ha)



Tab.4.6.1: Grottenhof, N - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1,17	1,18	1,08	1,09
s	0,261	0,209	0,195	0,234
Min	0,62	0,68	0,70	0,63
Max	1,57	1,57	1,38	1,39
n	16	16	15	16
		Horizont A _h		
\bar{x}	0,50	0,46	0,56	0,51
s	0,202	0,150	0,090	0,141
Min	0,32	0,26	0,43	0,28
Max	0,97	0,70	0,73	0,70
n	14	13	15	15
		Horizont AE		
		-----*(*)-----		
\bar{x}	0,02	-	0,10	0,11
s	0,025	-	0,028	0,042
Min	0,01	-	0,08	0,08
Max	0,06	-	0,14	0,14
n	4	-	2	4
		Horizont B _t		
\bar{x}	0,01	-	0,10	0,08
s	0,000	-	-	0,035
Min	0,01	-	-	0,06
Max	0,01	-	-	0,12
n	3	-	1	3

Tab.4.6.2: Grottenhof, N - Mengen in kg/ha

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
		-----*(*)-----		
\bar{x}	804	603	506	739
s	352	282	156	296
Min	317	129	154	278
Max	1.550	1.275	732	1.499
n	16	16	15	16
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	970	-	-	2.096
Min	255	-	-	1.406
Max	1.365	-	-	2.470

4.1.7 C-Gehalt und -Menge

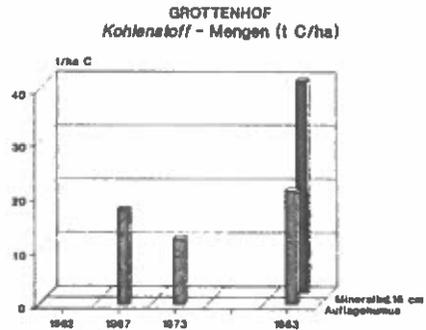
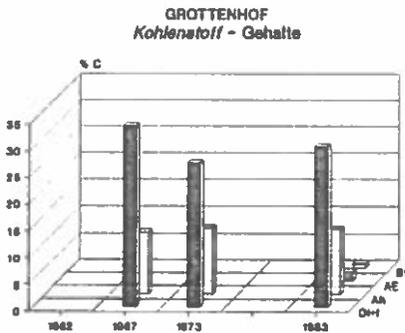
Der Gehalt an Kohlenstoff ist ein gutes Maß für die organische Substanz im Boden. Für 1962 stehen leider noch keine C-Bestimmungen zur Verfügung. In den letzten 15 Jahren veränderte sich der C-Gehalt im Auflagehumus von 34% über 27% auf 30% C, wobei nur die Periode 1967-1973 statistisch hoch gesichert ist. Fast gleichbleibende Werte von 12% C über alle Perioden zeigt der A_h -Horizont (s.Abb.4.12 und Tab.4.7.1).

Bei der C-Menge (s.Abb.4.13) ist von 1967 bis 1973 im Auflagehumus eine deutliche Abnahme um 5t/ha eingetreten; im nachfolgenden Dezennium erfolgt eine hoch signifikante Zunahme um 8,7t/ha, somit insgesamt eine Zunahme um 3,4t/ha.

Für den Mineralboden stehen nur von 1983 Daten zur Verfügung (s.Tab.4.7.2).

Abb.4.12: C - Gehalt

Abb.4.13: C - Menge



Tab.4.7.1: Grottenhof, C - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	-	33,86	26,98	30,02
s	-	7,319	5,434	4,722
Min	-	20,50	18,00	21,60
Max	-	45,60	38,00	36,20
n	-	16	15	16
Horizont A _h				
\bar{x}	-	11,56	12,41	12,13
s	-	3,438	2,967	3,888
Min	-	7,20	8,00	6,90
Max	-	17,20	18,00	18,20
n	-	12	15	15
Horizont AE				
\bar{x}	-	-	-	1,78
s	-	-	-	0,741
Min	-	-	-	0,80
Max	-	-	-	2,40
n	-	-	-	4
Horizont B _t				
\bar{x}	-	-	-	0,97
s	-	-	-	0,808
Min	-	-	-	0,50
Max	-	-	-	1,90
n	-	-	-	3

Tab.4.7.2: Grottenhof, C - Mengen in kg/ha

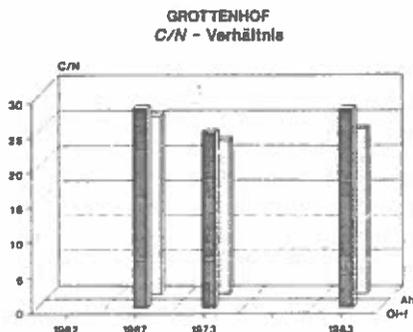
	1962	1967	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	-	17.740	12.416	21.150
s	-	10.257	3.513	9.229
Min	-	3.886	5.500	5.380
Max	-	39.868	18.240	39.151
n	-	16	15	16
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	-	-	-	39.557
Min	-	-	-	22.486
Max	-	-	-	44.602

1.8 C/N - Verhältnis

ine signifikante Verengung des C/N-Verhältnisses ist im Auflagehumus in der 2. Periode von 29 auf 25 eingetreten; dies deutet auf eine Humusumwandlung hin. Die neuerliche Weitung des C/N-Verhältnisses von 1973 auf 1983 (von 25 auf 28), ist nicht signifikant, doch ist damit die Ausgangslage des C/N-Verhältnisses wieder hergestellt (s.Tab.4.8).

Das C/N-Verhältnis im A_h -Horizont hat sich von 25,4 auf 23,6 entsprechend verbessert - in den Bereich eines Moderhumus mittlerer Qualität (s.Abb.4.14).

Abb.4.14: C/N - Verhältnis



Tab.4.8: Grottenhof, C/N - Verhältnis

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	--	28,56	25,06	28,44
s	--	3,847	4,041	7,474
Min	--	22	20	19
Max	--	40	35	47
n	--	16	15	16
		Horizont A_h		
\bar{x}	--	25,44	22	23,63
s	--	9,832	3,795	3,096
Min	--	0	13	19
Max	--	42	29	28
n	--	12	15	15

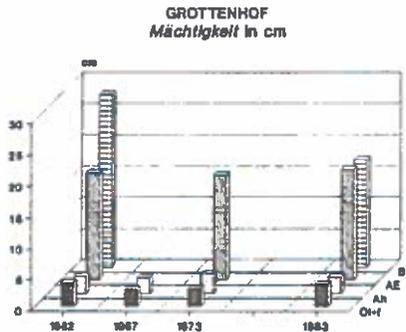
4.1.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

Wie bereits STÖHR (1984) feststellt, sind die Auflagehumusmächtigkeiten 1962 und 1983 beinahe ident (3,8cm bzw. 3,6cm), in den Jahren 1967 und 1973 um ca. 25% geringer (s.Abb.4.15).

Gleichzeitig sinkt in der 2.Periode der C-Gehalt im Auflagehumus signifikant und steigt der Fe₂O₃-Gehalt (s.Tab.4.10), was auf erhöhte Bioturbation und Humusumwandlung weist.

Die Humusmächtigkeit im A_h-Horizont ist in den Jahren 1962, 1967 und 1983 annähernd gleich, im Jahr 1973 um ca. 20% angestiegen (s.Tab.4.9). Die Zunahme der Menge an organischer Substanz vom 1967 auf 1983 findet daher wohl vor allem im darunter liegenden Mineralboden statt. Dies deutet darauf hin, daß die humose Zone im Mineralboden anwächst und der Humusaufbau fortschreitet. Leider liegen aus dem AE- und B_t-Horizont keine Humusvergleichswerte vor.

Abb.4.15: Mächtigkeit in cm



Tab.4.9: Grottenhof, Mächtigkeit in cm

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	3,8	2,8	2,9	3,6
s	1,291	1,065	0,884	1,315
Min	2,0	1,0	1,0	1,0
Max	6,0	5,0	4,0	6,0
n	16	16	15	16
		Horizont A _h		
\bar{x}	2,8	2,6	3,2	2,7
s	1,065	1,705	1,977	1,078
Min	1,0	1,0	2,0	1,0
Max	5,0	6,0	10,0	5,0
n	14	13	15	15
		Horizont AE		
\bar{x}	17,3	-	17,0	17,8
s	3,862	-	8,485	4,573
Min	12,0	-	11,0	12,0
Max	21,0	-	23,0	23,0
n	4	-	2	4
		Horizont B _t		
\bar{x}	27,7	-	-	17,3
s	12,702	-	-	3,786
Min	13,0	-	-	13,0
Max	35,0	-	-	20,0
n	3	-	-	3

Tab.4.10: Grottenhof, Fe₂O₃ - Gehalte in %

	1962	1967	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1,63	1,67	2,03	1,42
s	0,931	0,538	0,463	0,516
Min	0,00	0,56	1,00	0,00
Max	3,99	2,74	2,86	2,17
n	16	16	15	16
		Horizont A _h		
\bar{x}	3,69	3,36	3,38	2,90
s	0,412	0,443	0,369	0,468
Min	3,08	2,70	2,86	2,21
Max	4,63	4,25	4,10	3,72
n	14	13	15	15
		Horizont AE		
\bar{x}	4,86	-	5,10	4,26
s	0,315	-	0,120	0,280
Min	4,39	-	5,01	3,86
Max	5,05	-	5,18	4,51
n	4	-	2	4
		Horizont B _t		
\bar{x}	5,11	-	5,18	4,06
s	0,320	-	-	0,153

4.2 Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden

Tab.4.11: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Bodenparametern der Versuchsfläche Grottenhof

Element	Horizont	n	r	Signifikanz
N	O	32	-0,103	
	Ah	32	-0,100	
	AE	16	0,540	*
	Bt	12	0,763	**
P ₂ O ₅	O	32	0,151	
	Ah	32	0,040	
	AE	16	-0,615	**
	Bt	12	-0,507	*
K ₂ O	O	32	-0,237	
	Ah	32	0,026	
	AE	16	0,157	
	Bt	12	0,361	
CaO	O	32	0,006	
	Ah	32	0,288	
	AE	16	0,040	
	Bt	12	0,648	*
MgO	O	32	0,028	
	Ah	32	-0,517	**(*)
	AE	16	-0,449	*
	Bt	12	-0,692	**

Tab.4.12: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Elementvorräten im Boden der Versuchsfläche Grottenhof

Element	Profil	r	Signifikanz
N	Auflagehumus	-0,063	
	Mineralboden bis 15 cm	0,444	**
P ₂ O ₅	Auflagehumus	0,022	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,427	**
K ₂ O	Auflagehumus	0,100	
	Mineralboden bis 15 cm	0,072	
CaO	Auflagehumus	0,035	
	Mineralboden bis 15 cm	0,153	
MgO	Auflagehumus	0,145	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,592	***(*)

2.1 Stickstoff

2.1.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

wischen den Nadelspiegelwerten und den Nährelementgehalten im Auflagehumus und im A_h -Horizont besteht keine Beziehung, hingegen liegt für den AE - und B_t -Horizont Signifikanz bzw. hohe Absicherung vor (s.Tab.4.11). Die Schwankungen der N-Nadelgehalte können zu 29% bzw. 58% aus den Schwankungen der N-Gehalte im AE - bzw. B_t -Horizont erklärt werden.

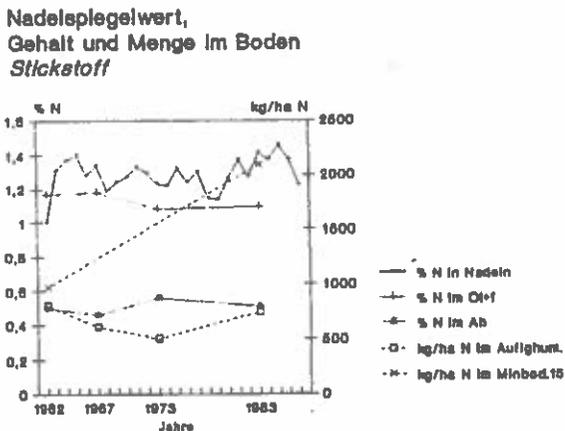
Eine Beziehung zu den N-Mengen im Auflagehumus ist nicht erkennbar, wohl eine bescheidene ($r=0,44$) aber statistisch hoch gesicherte Beziehung zu jenen im Mineralboden (s.Tab.4.12).

Das Bestimmtheitsmaß ist 19%.

2.1.2 Graphischer Vergleich der Trends

Im Zeitraum von 20 Jahren ist unter Schwankungen der Nadelspiegelwert von 1,00% N auf 1,41% N angestiegen, liegt aber noch immer unter der Grenze für ausreichende Versorgung von 1,50%N. Mit den in Abschnitt 4.1.6. beschriebenen Veränderungen im Boden ist kein Zusammenhang erkennbar (s.Abb.4.16).

Abb.4.16: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Stickstoff



4.2.2 Phosphor

4.2.2.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

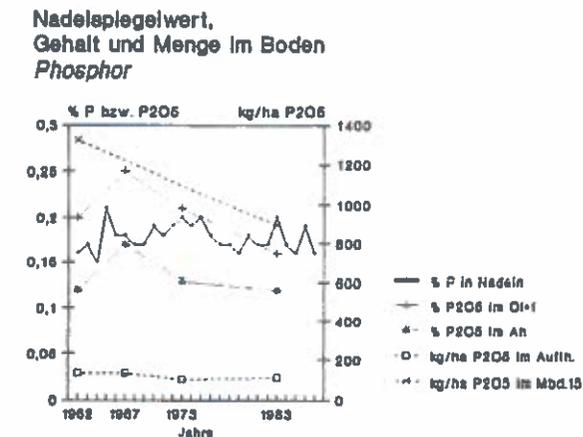
Im Auflagehumus und A_h -Horizont bestehen zwischen den Nadelspiegelwerten und den Gehalten im Boden keine Beziehungen, wohl aber im AE - und B_t -Horizont mit Korrelationskoeffizienten von $r=-0,6$ bzw. $-0,51$ (s.Tab.4.11). Die Schwankungen der P-Nadelgehalt lassen sich zu 38% bzw. 26% aus den Schwankungen der P_2O_5 -Gehalte im AE - bzw. B_t -Horizont erklären.

Hoch signifikant ist auch eine negative Korrelation der P_2O_5 -Menge im Mineralboden mit den Nadelspiegelwerten; mit zunehmender P_2O_5 -Menge im Mineralboden gehen die Nadelspiegelwerte zurück (s.Tab.4.12). Das Bestimmtheitsmaß ist für den Mineralboden 18%.

4.2.2.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte verändern sich in der Periode 1962–1983 im Vergleich zu anderen Nährstoffen relativ wenig. Die Werte liegen alle über der Grenze für "ausreichend" versorgt ($> 0,13\%$ P nach GUSSONE 1964). Allenfalls könnte aus der Graphik eine bescheidene Korrelation abgelesen werden (s.Abb.4.17).

Abb.4.17: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Phosphor



4.2.3 Kalium

4.2.3.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

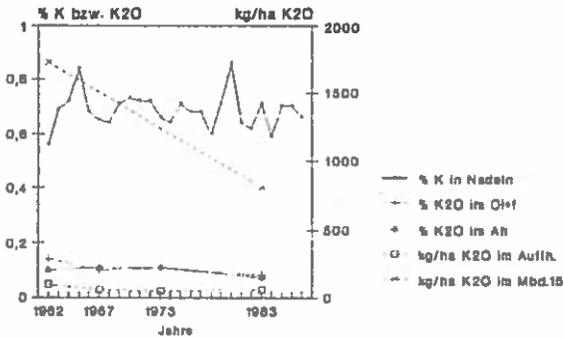
Weder bei den K_2O -Gehalten noch bei den Mengen im Boden besteht eine Korrelation mit den Nadelspiegelwerten (s.Tab.4.11 und 4.12).

4.2.3.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadeln sind stets gut mit K versorgt. Es sind keine Beziehungen mit der Entwicklung im Boden erkennbar (s.Abb.4.18).

Abb.4.18: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Kalium

Nadelspiegelwert, Gehalt und Menge im Boden Kalium



Grottenhof

4.2.4 Calcium

4.2.4.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

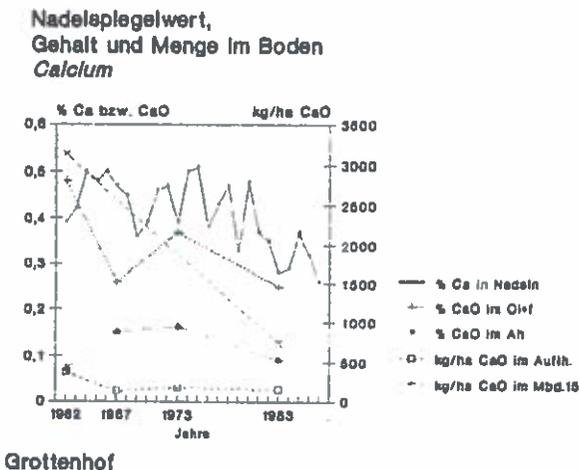
Nur die CaO-Gehalte des B_t-Horizontes korrelieren signifikant mit den Nadelspiegelwerten, die Werte der übrigen Horizonte und die Mengen ergeben mit den Nadel-Gehalten jedoch keine statistisch gesicherte Beziehung (s.Tab.4.11 und 4.12).

Die Schwankungen der Ca-Nadelgehalte können zu 42% aus den Schwankungen der CaO-Gehalte im B_t-Horizont erklärt werden.

4.2.4.2 Graphischer Vergleich der Trends

Im Jahre 1983 sinkt der Ca-Gehalt in den Nadeln erstmals seit Versuchsbeginn auf 0,28% Ca; davor liegt er bis auf 2 Ausnahmen mit >0,36% Ca immer über der Grenze für ausreichende Versorgung. Trotzdem ist aus der Graphik eine abnehmende Tendenz erkennbar, welche mit der im Abschnitt 4.1.4. beschriebenen Abnahme im Boden in der Periode 1973–1983 gut übereinstimmt (s.Abb.4.19).

Abb.4.19: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Calcium



.2.5 Magnesium

.2.5.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

wischen dem Mineralboden und den Nadelspiegelwerten bestehen negative Korrelationen, beim Auflagehumus ist der Korrelationskoeffizient positiv. Im A_h -Horizont ist die Beziehung ($r=0,52$) recht eng, im AE-Horizont nur einfach gesichert mit $r=0,45$ und im B_t -Horizont hoch gesichert mit $r=0,69$ (s.Tab.4.11). Die Schwankungen der Mg-Nadelgehalte lassen sich zu 27% bzw. 20% bzw. 48% aus den Schwankungen der MgO-Gehalte im A_h - bzw. AE- bzw. B_t -Horizont erklären.

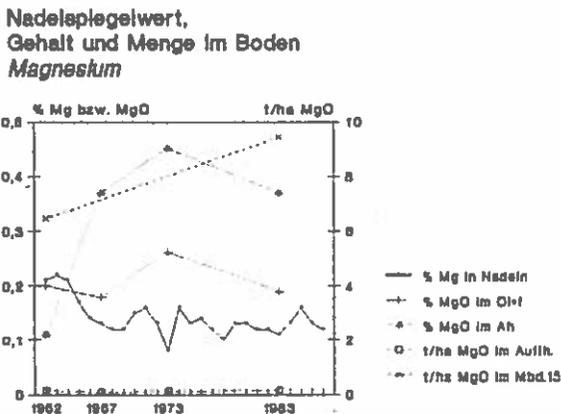
Der Zusammenhang der MgO-Menge im Mineralboden mit den Nadel-Gehalten ist statistisch höchst gesichert ($r=-0,59$), d.h. mit zunehmender MgO-Menge geht der Nadelspiegelwert zurück (s.Tab.4.12). Das Bestimmtheitsmaß ist 35%.

.2.5.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadeln sind stets ausreichend mit Mg versorgt. Nur 2 Werte liegen unter dem Grenzwert für ausreichende Versorgung von 11%. Die Graphik zeigt sinkende Tendenz.

Eine Beziehung mit den Veränderungen im Boden ist nicht erkennbar (s.Abb.4.20).

Abb.4.20: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Magnesium



5 Versuchsfläche Helfenberg (403)

Versuchs- und Standortsbeschreibung:

Erstaufnahme: 1963

Wiederholungsaufnahmen: 6.5.1968; 27.7.1973; 25.7.1983

Teilflächengröße: Meßfläche 6x 1000m²,
Behandlungsfläche 6x 2174m²

Eigentümer: Graf Revertera, Helfenberg OÖ

Wuchsraum 1: Mühl- und Waldviertel
(außeralpines Fi-Ta-Bu-Waldgebiet)

Klima: Niederschlag (Piberstein Forsthaus) ... 972mm/Jahr
Temperatur (Piberstein Forsthaus) ... Jänner -4,8°C
Juli 14,2°C ... Jahr 5,3°C

Lage: 790 m, 3°S geneigter Flachhang

Natürliche Waldgesellschaft: Oxalis-reicher Fi-(Bu-Ta-)Wald

Aktueller Bestand: Fi-Baumholz

Alter zu Versuchsbeginn: 61 Jahre

Bodenvegetation: *Aira flexuosa*, *Dicranum scoparium*, gering
deckend

Grundgestein: Perlgneis und Hornblendeschiefer in Wechsel-
lagerung; Solifluktionsschutt

Boden: Felsbraunerde mit schwach podsoliger Dynamik, relativ
bindig, tiefgründig; Wasserhaushalt ausgeglichen frisch.
Grundgestein und Boden relativ nährstoffreich, jedoch
stark sauer

Profilaufbau:

\mathcal{O}_l	5 - 4cm	Nadelstreu
\mathcal{O}_f	4 - 2cm	schwach verpilzter Grobmoder, locker gelagert allmählich übergehend
\mathcal{O}_h	2 - 0cm	Feinmoder, schwarzbraun, locker
A_h	0 - 4cm	stark humoser, sandiger Lehm, Feinmoder, schwarzbraun (10YR3/2), locker gelagert, sehr stark durchwurzelt, einzelne blanke Sandkörner,
AE	4 - 10cm	humoser, sandiger Lehm, undeutlich fein- blockige Struktur, mäßig dicht gelagert durch humose Einwaschungen, dunkelbraun (10YR4/3), teilweise blanke Sand- körner, geringer Grusgehalt, stark durch- wurzelt, übergehend
B_s	10 - 40cm	sandiger Lehm, schwach steinig, gelbbraun (10YR4,5/4), mäßig dicht gelagert, fein- blockige Struktur, plastisch, allmählich übergehend
B_v	40 - 120cm	schwach steiniger, sandiger Lehm mit Grus- und Grobsandlinsen, gelbbraun (10YR5/4) keine deutliche Struktur mit-

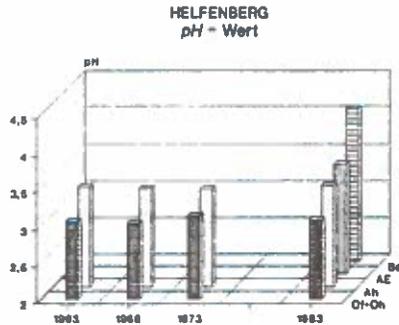
5.1 Veränderungen im Boden

5.1.1 pH-Wert (nach STÖHR, 1984)

Der pH-Wert bleibt während des gesamten 20-jährigen Zeitraumes annähernd unverändert: im Auflagehumus bei 3,1 und im A_h -Horizont bei 3,3 (s. Abb. 5.1 und Tab. 5.1).

Die geringfügige Abnahme im B_s -Horizont ist statistisch nicht gesichert.

Abb. 5.1: pH - Wert



Tab. 5.1: Helfenberg, pH - Wert

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	3,06	3,03	3,14	3,08
s	0,173	0,089	0,183	0,180
Min	2,7	2,9	2,9	2,9
Max	3,3	3,2	3,5	3,5
n	12	12	12	12
		Horizont A_h		
\bar{x}	3,36	3,34	3,33	3,38
s	0,129	0,270	0,125	0,180
Min	3,2	3,0	3,2	3,2
Max	3,6	3,7	3,6	3,7
n	11	5	10	12
		Horizont AE		
\bar{x}	-	-	3,6	3,5
s	-	-	-	0,000
Min	-	-	-	3,5
Max	-	-	-	3,5
n	-	-	1	2
		Horizont B_s		
\bar{x}	4,00	-	4,20	4,07
s	-	-	-	0,082
Min	-	-	-	4,0
Max	-	-	-	4,2
n	1	-	1	2

5.1.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus stieg der P₂O₅-Gehalt zunächst von 1963 bis 1968 signifikant an und fällt seither ebenso signifikant aber stetig ab (s. Abb. 5.2), wobei der Endwert um 0,04% gesichert unter der Ausgangskonzentration liegt. Der A_h-Horizont zeigt den gleichen Trend (s. Tab. 5.2.1).

Auch die P₂O₅-Mengen im Auflagehumus verhalten sich gleichlaufend (s. Abb. 5.3 und Tab. 5.2.2). Für den Mineralboden fehlen ausreichende Vergleichsdaten.

Die Bilanz für den Auflagehumus ist mit 40 kg/ha sehr schwach negativ.

Abb. 5.2: P₂O₅ - Gehalt

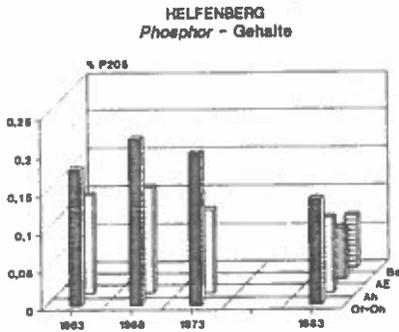
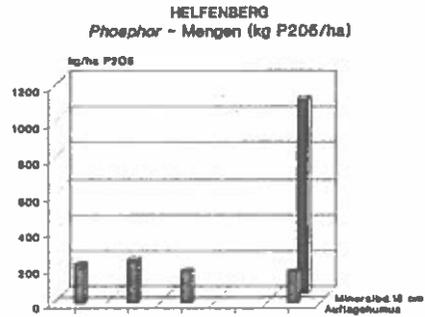


Abb. 5.3: P₂O₅ - Menge



Tab. 5.2.2: Helfenberg, P₂O₅ - Mengen in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	227	252	186	185
s	118	123	83	65
Min	82	108	49	19
Max	400	455	338	269
n	12	12	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	-	-	-	1.073
Min	-	-	-	370
Max	-	-	-	1.510

Tab.5.2.1: Helfenberg, P₂O₅ - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,18	0,22	0,20	0,14
s	0,036	0,037	0,035	0,044
Min	0,12	0,16	0,13	0,02
Max	0,22	0,28	0,25	0,21
n	12	12	12	12
Horizont A _h				
\bar{x}	0,13	0,14	0,11	0,10
s	0,071	0,041	0,029	0,014
Min	0,04	0,07	0,07	0,08
Max	0,31	0,20	0,18	0,12
n	11	5	10	12
Horizont AE				
\bar{x}	-	-	0,06	0,07
s	-	-	-	0,014
Min	-	-	-	0,06
Max	-	-	-	0,08
n	-	-	1	2
Horizont B _s				
\bar{x}	0,09	-	0,08	0,07
s	-	-	-	0,04
Min	-	-	-	0,07
Max	-	-	-	0,08
n	1	-	1	6

5.1.3 K₂O-Gehalt und -Menge

1963 und 1968 betrug die K₂O-Konzentration im Auflagehumus 0,17%, im Jahre 1973 0,15% und 1983 nur mehr 0,11%; diese Abnahmen sind statistisch abgesichert. Im A_h-Horizont ist keine Änderung des K₂O-Gehaltes eingetreten (s. Abb. 5.4). Für den AE- und B_s-Horizont fehlen ausreichende Vergleichsdaten (s. Tab. 5.3.1).

Die K₂O-Menge nimmt im Auflagehumus im 1. Dezennium von 213 kg/ha auf 146 kg/ha ungesichert ab, und bleibt in der folgenden 10-jährigen Periode fast konstant (s. Abb. 5.5).

Die Bilanz über den 20-jährigen Beobachtungszeitraum ist für den Auflagehumus mit 60 kg/ha schwach negativ (s. Tab. 5.3.2).

Abb.5.4: K₂O - Gehalt

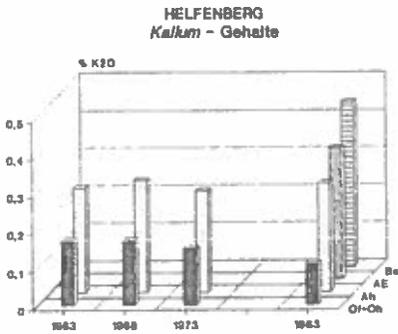
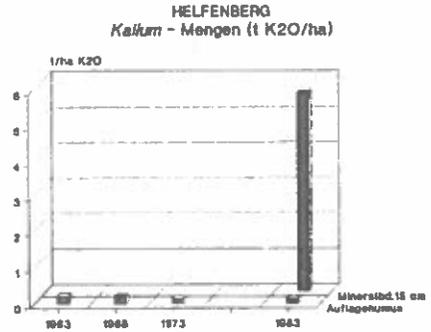


Abb.5.5: K₂O - Menge



Tab.5.3.1: Helfenberg, K₂O - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	0,17	0,17	0,15	0,11
s	0,058	0,061	0,052	0,054
Min	0,08	0,10	0,09	0,01
Max	0,31	0,26	0,26	0,21
n	12	12	12	12
	Horizont A _h			
\bar{x}	0,28	0,30	0,27	0,29
s	0,073	0,100	0,068	0,053
Min	0,08	0,16	0,18	0,22
Max	0,36	0,46	0,40	0,40
n	11	5	10	12
	Horizont AE			
\bar{x}	-	-	0,35	0,35
s	-	-	-	0,000
Min	-	-	-	0,35
Max	-	-	-	0,35
n	-	-	1	2
	Horizont B _s			
\bar{x}	0,38	-	0,43	0,44
s	-	-	-	0,066
Min	-	-	-	0,35
Max	-	-	-	0,53
n	1	-	1	6

Tab.5.3.2: Helfenberg, K_2O - Mengen in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	213	206	146	150
s	103	149	95	78
Min	75	58	39	10
Max	405	489	336	264
n	12	12	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	-	-	-	5.528
Min	-	-	-	1.221
Max	-	-	-	7.230

5.1.4 CaO-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus nahm die CaO-Konzentration zwischen 1963 bzw. 1968 und 1973 von 0,05% bzw. 0,06% auf 0,16% hoch signifikant zu und stieg bis 1983 geringfügig weiter auf 0,18% (s.Abb.5.6). Wenn auch die Werte für 1968 und 1973 wegen eingangs angeführter analytischer Probleme unsicher sein mögen, verbleibt doch der beachtliche Konzentrationsanstieg über den gesamten Beobachtungszeitraum. Im A_h -Horizont hingegen bleibt die CaO-Konzentration im 1.Dezennium gleich und sinkt im folgenden Dezennium sogar (jedoch statistisch nicht abgesichert) auf 0,04% ab (s.Tab.5.4.1).

Diese gegenläufigen Werte schließen einen systematischen Analysenfehler für die Jahre 1968 oder 1973 aus.

Die signifikante Zunahme der CaO-Menge von 63kg/ha auf 222kg/ha im Auflagehumus entspricht dem Anstieg der Konzentration (s.Abb.5.7 und Tab.5.4.2). Die Horizontmächtigkeit von 5cm blieb über 20 Jahre annähernd konstant.

Der fast auf das 4-fache angestiegene CaO-Gehalt im Auflagehumus könnte auf Einwehung von Kalkstaub von der benachbarten unbefestigten Straße herrühren, wo vor 1973 Bautätigkeit herrschte. Die Nadelspiegelwerte zeigen um 1973 gleichermaßen ein Ca-Maximum. Für den Auflagehumus ist die 20-jährige Bilanz mit 159kg/ha positiv.

Abb.5.6: CaO - Gehalt

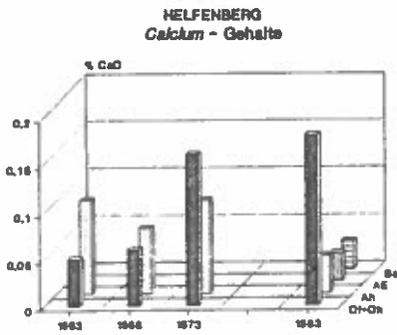
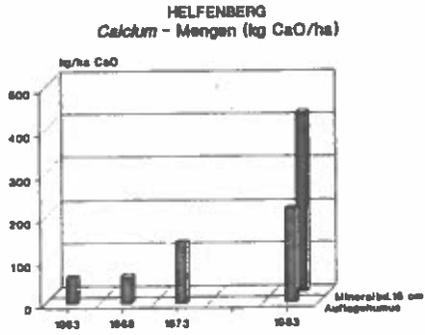


Abb.5.7: CaO - Menge



Tab.5.4.1: Helfenberg, CaO - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,05	0,06	0,16	0,18
s	0,027	0,041	0,089	0,175
Min	0,04	0,02	0,02	0,06
Max	0,11	0,15	0,35	0,71
n	12	12	12	12
Horizont A _h				
\bar{x}	0,10	0,07	0,10	0,04
s	0,103	0,046	0,113	0,025
Min	0,04	0,02	0,02	0,02
Max	0,34	0,15	0,45	0,11
n	11	5	10	12
Horizont AE				
\bar{x}	-	-	0,02	0,03
s	-	-	-	0,014
Min	-	-	-	0,02
Max	-	-	-	0,04
n	-	-	1	2
Horizont B _s				
\bar{x}	0,04	-	0,05	0,03
s	-	-	-	0,008
Min	-	-	-	0,02
Max	-	-	-	0,04
n	1	-	1	6

Tab.5.4.2: Helfenberg, CaO - Mengen in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	63	65	143	222
s	33	56	114	221
Min	20	10	24	89
Max	127	207	452	909
n	12	12	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	-	-	-	476
Min	-	-	-	161
Max	-	-	-	1.032

5.1.5 MgO-Gehalt und -Menge

Der MgO-Gehalt des Auflagehumus nimmt im ersten Dezennium vor 0,22 auf 0,29% zu und danach wieder etwas - auf 0,26% ab (s.Abb.5.8). Signifikante Veränderungen errechnen sich nur gegenüber dem extrem niedrigen, aber in seiner Vergleichbarkeit zweifelhaften Wert von 1968. Die bescheidene Zunahme über die gesamte Zeitspanne von 1963-1983 ist ungesichert.

Im A_h -Horizont steigt der MgO-Gehalt hingegen stetig und signifikant über alle Vergleichsperioden hinweg auf das Doppelte an; eine allfällige Unsicherheit der Zwischenwerte ist für dieses Ergebnis unerheblich (s.Tab.5.5.1).

Der Anstieg der MgO-Mengen von 281kg/ha auf 339kg/ha im Auflagehumus innerhalb von 20 Jahren ist nicht signifikant; die Differenz zwischen dem Tiefstwert 1968 und dem Höchstwert 1983 ist statistisch gesichert (s.Abb.5.9 und Tab.5.5.2). Für den gesamten Versuchszeitraum ist die Bilanz im Auflagehumus mit 58kg/ha schwach positiv.

Abb.5.8: MgO - Gehalt

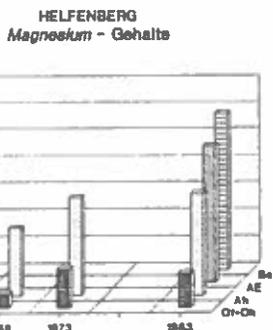
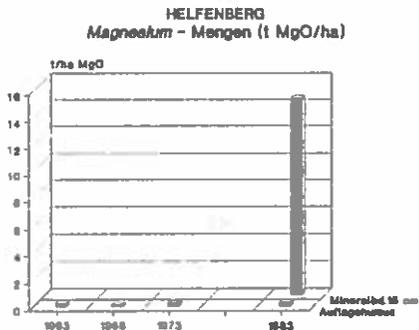


Abb.5.9: MgO - Menge



Tab.5.5.1: Helfenberg, MgO - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagchumus				
\bar{x}	0,22	0,11 -*(*)-	0,29	0,26
s	0,140	0,114	0,212	0,108
Min	0,02	0,02	0,09	0,09
Max	0,48	0,35	0,79	0,42
n	12	12	12	12
Horizont A _h				
\bar{x}	0,36	0,50 -***-	0,72	0,75
s	0,219	0,316	0,306	0,132
Min	0,16	0,02	0,08	0,54
Max	0,94	1,10	1,08	1,03
n	11	5	10	12
Horizont AE				
\bar{x}	-	-	1,08	1,02
s	-	-	-	0,085
Min	-	-	-	0,96
Max	-	-	-	1,08
n	-	-	1	2
Horizont B _s				
\bar{x}	0,63	-	1,15	1,17
s	-	-	-	0,196
Min	-	-	-	0,93
Max	-	-	-	1,44
n	1	-	1	6

Tab.5.5.2: Helfenberg, MgO - Mengen in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
		-----*		
\bar{x}	281	166	321	339
s	216	212	359	177
Min	20	10	49	88
Max	720	657	1.088	637
n	12	12	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	-	-	-	14.422
Min	-	-	-	3.253
Max	-	-	-	17.991

5.1.6 N-Gehalt und -Menge

Innerhalb der ersten 5 Jahre erfolgte eine hoch signifikante Zunahme des N-Gehaltes im Auflagehumus von 1,14% auf 1,45%; ab dann eine stete, ebenfalls hoch signifikante Abnahme auf 1,16%, womit die Ausgangslage fast wieder erreicht ist (s. Abb. 5.10). Im A_n -Horizont bleibt der N-Gehalt in der ersten Dekade konstant und fällt dann höchst signifikant fast auf die Hälfte ab (s. Tab. 5.6.1).

Die N-Menge im Auflagehumus schwankt über alle Zeiträume nicht signifikant um 250 kg/ha (s. Abb. 5.11 und Tab. 5.6.2). Der Ausgangswert von 1,5 t/ha ist nach 20 Jahren nahezu unverändert. Der rasche Anstieg der Konzentration von N und P_2O_5 (bei etwas später einsetzendem Abbau der Org. Substanz) bei der ersten Wiederholung (1968) könnte mit dem starken Schneebruch 1967/68 und der nachfolgenden Aufarbeitung, Bodenverwundung, Lichtstellung und einem damit einsetzenden Mineralisierungsschub in Zusammenhang stehen.

Abb.5.10: N - Gehalt

HELFFENBERG
Stickstoff - Gehalte

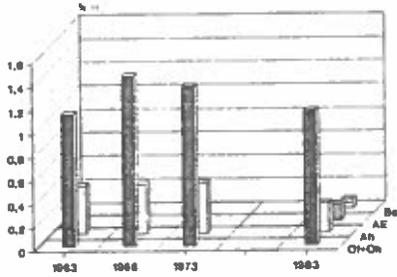
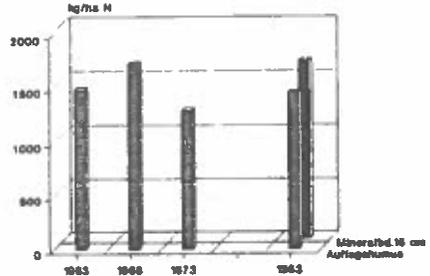


Abb.5.11: N - Menge

HELFFENBERG
Stickstoff - Mengen (kg N/ha)



Tab.5.6.1: Helfenberg, N - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	1,14	1,45	1,36	1,16
s	0,242	0,136	0,231	0,217
Min	0,78	1,25	0,97	0,94
Max	1,52	1,66	1,70	1,51
n	12	12	12	12
Horizont A _h				
\bar{x}	0,42	0,43	0,44	0,26
s	0,149	0,156	0,136	0,069
Min	0,28	0,26	0,26	0,15
Max	0,78	0,82	0,77	0,38
n	11	5	10	12
Horizont A _e				
\bar{x}	-	-	0,08	0,14
s	-	-	-	0,085
Min	-	-	-	0,08
Max	-	-	-	0,20
n	-	-	1	2
Horizont B _s				
\bar{x}	0,01	-	0,13	0,08
s	-	-	-	0,020
Min	-	-	-	0,06
Max	-	-	-	0,12
n	1	-	1	6

Tab.5.6.2: Helfenberg, N - Mengen in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1.487	1.723	1.299	1.452
s	773	922	590	306
Min	466	632	297	884
Max	2.766	3.286	2.270	2.038
n	12	12	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	-	-	-	1.663
Min	-	-	-	948
Max	-	-	-	2.235

5.1.7 C-Gehalt und -Menge

Höchst signifikant nimmt der C-Gehalt im Auflagehumus innerhalb von 15 Jahren von 40% auf 29% ab. Im 10-Jahres-Intervall vor 1973 auf 1983 vermindert sich der C-Gehalt von 38% auf 29% hoch signifikant (s.Abb.5.12).

Das bedeutet eine beachtliche Einmischung von Mineralsubstanz in den Auflagehumus, offensichtlich als Folge zunehmender biologischer Aktivität. Die Verengung des C/N-Verhältnisses zumindest in den letzten 10 Jahren unterstützt diese Annahme, nicht allerdings die gleichbleibenden (oder ebenfalls abnehmenden) Fe_2O_3 -Gehalte (s.Tab.5.10). Auch die Menge an organischem C hat im Auflagehumus innerhalb von 5 Jahren (1968-1973) um 12t/ha abgenommen; danach blieb er nahezu unverändert (s.Abb.5.13 und Tab.5.7.2).

Im A_h -Horizont stieg der Gehalt an organischem C zunächst hoch signifikant von 6,5 auf 9,6% an (s.Tab.5.7.1). Von 1973-1983 sank der C-Gehalt im A_h -Horizont wieder höchst signifikant ab auf einen tieferen Wert als zu Beginn der Beobachtung.

Abb.5.12: C - Gehalt

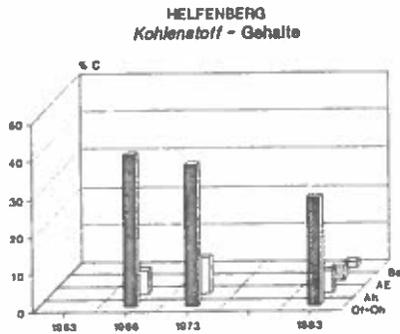
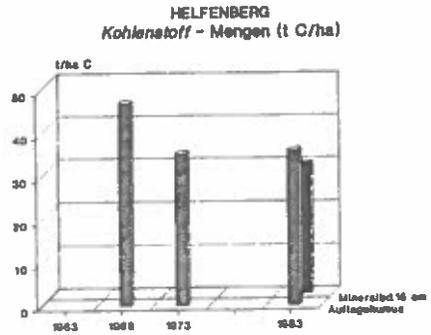


Abb.5.13: C - Menge



Tab.5.7.1: Helfenberg, C - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	40,33	37,59	-**(*)-29,00
s	-	4,002	6,068	7,901
Min	-	32,5	22,1	18,7
Max	-	46,3	43,9	43,0
n	-	12	12	12
		Horizont A _h		
\bar{x}	-	6,50	9,66	---***- 6,08
s	-	0,436	2,754	2,202
Min	-	6,0	3,7	2,9
Max	-	6,8	15,0	9,7
n	-	3	10	12
		Horizont Ae		
\bar{x}	-	-	2,9	4,00
s	-	-	-	1,556
Min	-	-	-	2,9
Max	-	-	-	5,1
n	-	-	1	2
		Horizont B _s		
\bar{x}	-	-	4,0	1,83
s	-	-	-	0,771
Min	-	-	-	1,2
Max	-	-	-	3,3
n	-	-	1	6

Tab.5.7.2: Helfenberg, C - Mengen in kg/ha

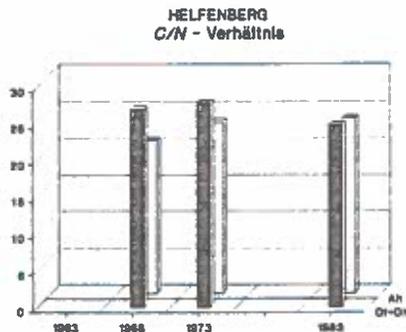
	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	-	47.322	35.339	36.052
s	-	24.508	14.824	8.405
Min	-	21.291	7.954	21.996
Max	-	84.266	63.784	50.752
n	-	12	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	-	-	-	30.220
Min	-	-	-	24.345
Max	-	-	-	35.430

5.1.8 C/N-Verhältnis

Das C/N-Verhältnis wird im Auflagehumus von 27 bzw. 28 auf 25 verengt (s.Abb.5.14), gleichzeitig steigt es im A_h -Horizont von 21 auf 24 an; diese Veränderungen sind statistisch nicht gesichert (s.Tab.5.8).

Während die Qualität des Auflagehumus - möglicherweise über den Fall Ca-reicher Nadelstreu - etwas günstiger wird, wird die Humussubstanz im Mineralboden N-ärmer und zunehmend (bioturbat oder durch Perkolation) in den AE-Horizont verlagert.

Abb.5.14: C/N - Verhältnis



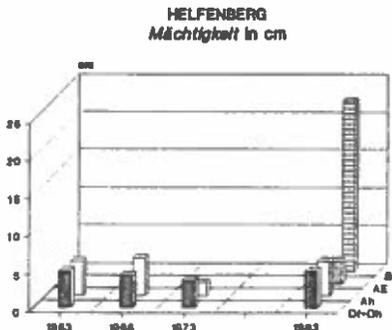
Tab.5.8: Helfenberg, C/N - Verhältnis

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	26,92	27,83	24,75
s	-	3,147	4,707	3,251
Min	-	23	20	19
Max	-	33	37	29
n	-	12	12	12
		Horizont A _h		
\bar{x}	-	20,83	23,33	23,83
s	-	1,80	3,869	8,077
Min	-	17	19	16
Max	-	22	33	40
n	-	3	10	12

5.1.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

Die Verringerung der Auflagehumusmächtigkeit (s.Abb.5.15) in den Jahren 1968 und 1973 von 5cm auf 4,5 bzw. 3,8cm wird durch höhere N- (und C-) Gehalte kompensiert. Im 2. Dezennium erreicht die Auflagehumusmächtigkeit wieder etwas mehr als die Ausgangslage, gleichzeitig sinkt C und N ab und nimmt der Fe₂O₃-Gehalt wieder zu (s.Tab.5.10), offenbar durch bioturbate Vermengung mit dem Mineralboden. Die Mächtigkeit des A_h-Horizontes schwankt gleichsinnig (s.Tab.5.9), wobei die Humusmenge ebenfalls durch gegenläufige Konzentrationsänderung eher ausgeglichen wird.

Abb.5.15: Mächtigkeit in cm



Tab.5.9: Helfenberg, Mächtigkeit in cm

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	5,0	4,5	3,8	5,1
s	2,000	1,977	1,545	1,084
Min	2	2	1	3
Max	9	8	7	6
n	12	12	12	12
		Horizont A _h		
\bar{x}	4,6	5,0	1,8	4,7
s	3,175	3,162	1,874	3,085
Min	1	2	1	1
Max	10	10	7	10
n	11	5	10	12
		Horizont AE		
\bar{x}	-	-	5,0	3,00
s	-	-	-	1,414
Min	-	-	-	2
Max	-	-	-	5
n	-	-	1	2
		Horizont B _s		
\bar{x}	46,0	-	23,0	22,5
s	-	-	-	14,082
Min	-	-	-	2
Max	-	-	-	46
n	1	-	1	6

Tab.5.10: Helfenberg, Fe₂O₃ - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1,97	1,20	1,14	1,54
s	0,652	0,395	0,504	0,624
Min	1,04	0,50	0,53	0,55
Max	3,11	1,80	2,13	2,23
n	12	12	12	12
		Horizont A _h		
\bar{x}	4,44	3,89	3,52	4,00
s	0,749	1,039	1,093	0,563
Min	3,6	2,4	0,4	3,3
Max	6,5	5,7	4,8	4,9
n	11	5	10	12
		Horizont AE		
\bar{x}	-	-	4,74	4,55
s	-	-	-	0,276
Min	-	-	-	4,35
Max	-	-	-	4,74
n	-	-	1	2
		Horizont B _s		
\bar{x}	5,51	-	5,01	4,99
s	-	-	-	0,558

5.2 Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden

Tab.5.11: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Bodenparametern der Versuchsfläche Helfenberg

Element	Horizont	n	r	Signifikanz
N	O	24	-0,551	**
	Ah	24	-0,219	
	Bs	24	0,159	
P ₂ O ₅	O	24	0,262	
	Ah	24	0,234	
	Bs	24	0,074	
K ₂ O	O	24	0,125	*
	Ah	24	0,386	
	Bs	24	-0,122	
CaO	O	24	-0,111	
	Ah	24	0,104	
	Bs	24	0,412	
MgO	O	24	-0,214	*
	Ah	24	-0,458	
	Bs	24	-0,062	

Tab.5.12: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Elementvorräten im Boden der Versuchsfläche Helfenberg

Element	Profil	r	Signifikanz
N	Auflagehumus	-0,500	**
	Mineralboden bis 15 cm	-0,245	
P ₂ O ₅	Auflagehumus	0,018	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,041	
K ₂ O	Auflagehumus	-0,148	
	Mineralboden bis 15 cm	0,109	
CaO	Auflagehumus	-0,219	
	Mineralboden bis 15 cm	0,260	
MgO	Auflagehumus	-0,038	*
	Mineralboden bis 15 cm	-0,369	

5.2.1 Stickstoff

5.2.1.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Eine hoch gesicherte negative Korrelation besteht zwischen Nadelspiegelwert und Auflagehumus sowohl für N-Gehalt als auch für N-Menge ($r = -0,55$ bzw. $-0,50$); dies bedeutet, daß bei zunehmendem N-Gehalt bzw. -Menge im Auflagehumus der Nadelspiegelwert abnimmt. Die Schwankungen der N-Nadelgehalte können zu 30% bzw. 25% aus den Schwankungen der N-Gehalte und -Mengen im Auflagehumus erklärt werden.

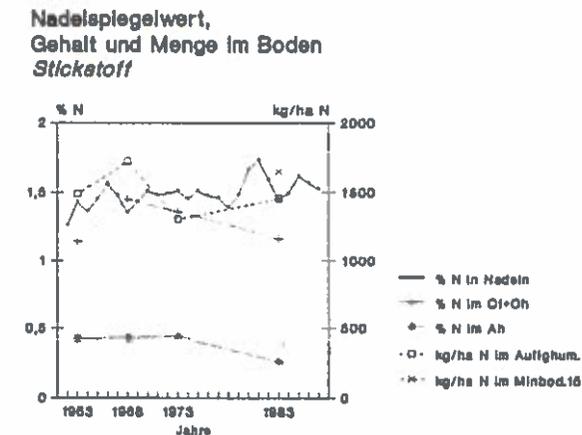
Für die anderen Horizonte bzw. Mineralboden ist kein Zusammenhang mit den Nadel-Gehalten erkennbar (s.Tab.5.11 und 5.12).

5.2.1.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte schwanken um den Grenzwert für "ausreichend versorgt" mit steigender Tendenz innerhalb der Periode 1963-1983 (s.Abb.5.16).

Ein Zusammenhang mit Veränderungen im Boden ist nicht erkennbar.

Abb.5.16: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Stickstoff



2.2 Phosphor

2.2.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Im Untersuchungszeitraum von 20 Jahren besteht keine Korrelation (s. Tab. 5.11 und 5.12).

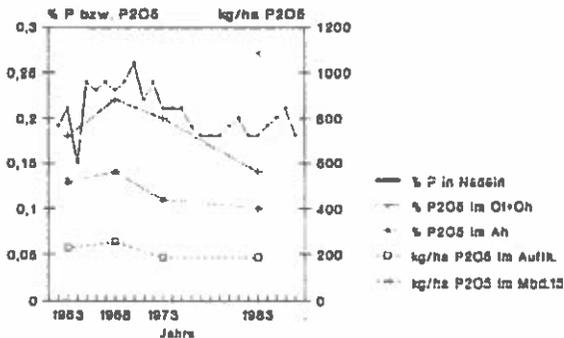
2.2.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte liegen alle über dem Grenzwert für "ausreichend versorgt", wobei eindeutig eine Abnahme in der Periode 1968–1983 erkennbar ist (s. Abb. 5.17).

Die Tendenz der P_2O_5 -Abnahme im Boden verläuft dazu parallel.

Abb. 5.17: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Phosphor

Nadelspiegelwert,
Gehalt und Menge im Boden
Phosphor



Helfenberg

5.2.3 Kalium

5.2.3.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

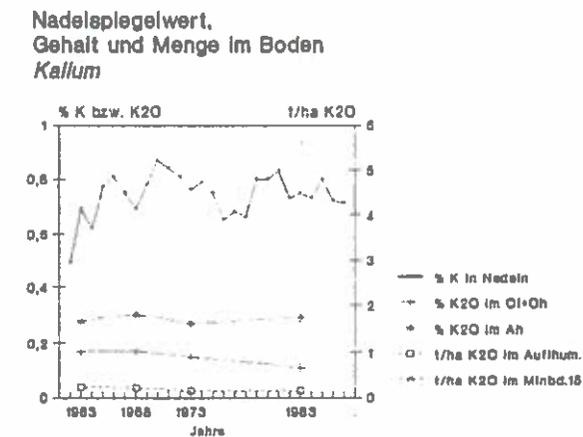
Bei einem Korrelationskoeffizient von $r = 0,39$ ist nur der A_h -Horizont mit dem Nadelspiegelwert in eine statistisch gesicherte Beziehung zu setzen, sonst bestehen keine Zusammenhänge (s.Tab.5.11 und 5.12).

Unterschiedliche K-Nadelgehalte können zu 15% aus verschiedenen K_2O -Gehalten im A_h -Horizont erklärt werden.

5.2.3.2 Graphischer Vergleich der Trends

Seit Versuchsbeginn sind die Nadeln gut mit Kalium versorgt, die Tendenz ist in den ersten Jahren deutlich steigend (s.Abb.5.18). Allenfalls könnte die spätere schwache Zunahme der K_2O -Menge in Auflagehumus und Oberboden mit Streufall K-reicher Nadeln in Zusammenhang stehen.

Abb.5.18: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Kalium



Helfenberg

5.2.4 Calcium

5.2.4.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Mit den CaO-Gehalten des B₅-Horizontes besteht eine signifikante Korrelation der Nadelspiegelwerte ($r = 0,41$), sonst sind keine Zusammenhänge feststellbar (s.Tab.5.11 und 5.12).

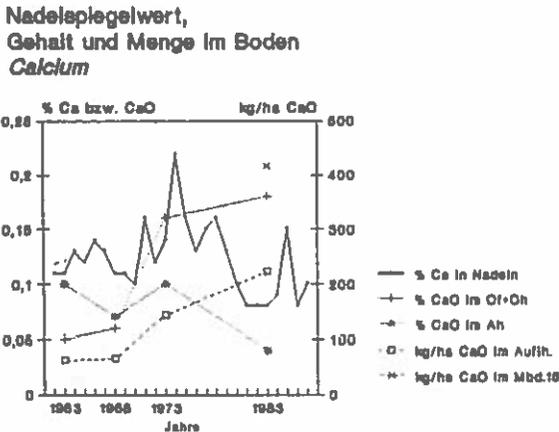
Die Ca-Nadelgehalte können zu 17% aus Unterschieden des CaO-Gehaltes im B₅-Horizont erklärt werden.

5.2.4.2 Graphischer Vergleich der Trends

In der Untersuchungszeit 1963–1980 schwanken die Nadelspiegelwerte zwischen 0,10% und 0,22% Ca; bis zum Jahre 1983 fallen sie in den Mangelbereich mit 0,08% Ca.

Eine gewisse Beziehung des Verlaufes der Nadelgehalte ist mit dem Trend der CaO-Menge im Auflagehumus erkennbar (s.Abb.5.19).

Abb.5.19: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Calcium



Helfenberg

5.2.5 Magnesium

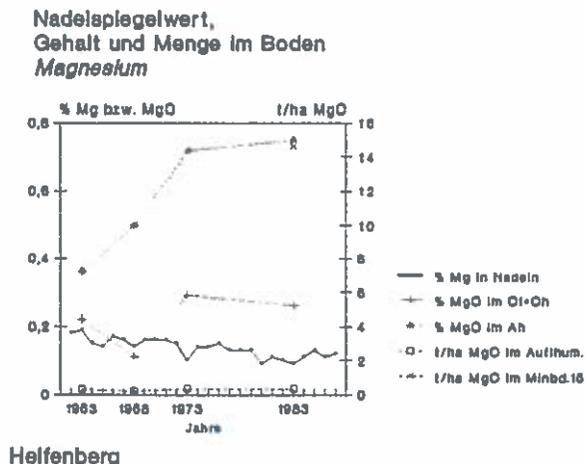
5.2.5.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Die negativen Korrelationskoeffizienten von $r = -0,46$ bzw. $-0,37$ für A_h -Horizont bzw. MgO-Menge im Mineralboden sind signifikant d.h., mit zunehmenden MgO im Boden nimmt der Nadelspiegelwert ab (s.Tab.5.11 und 5.12). Die Schwankungen der Mg-Nadelgehalte können zu 21% bzw. 14% aus den Schwankungen der MgO-Gehalte im A_h -Horizont bzw. MgO-Mengen im Mineralboden erklärt werden.

5.2.5.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte schwanken über den gesamten Untersuchungszeitraum mit zuletzt eher sinkender Tendenz (s.Abb.5.20). Ab 1980 schwanken sie zwischen Mangel und "ausreichend versorgt". Dazu im Gegensatz steht die Zunahme der MgO-Werte im Boden. Auch auf dieser Versuchsfläche ist somit der Mg-Mangel nicht auf MgO-Mangel im Boden zurückzuführen.

Abb.5.20: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Magnesium



6 Versuchsfläche Sierning (404)

Versuchs- und Standortsbeschreibung:

Erstaufnahme: 14. Mai 1963

Wiederholungsaufnahmen: 9.5.1968; 24.7.1973; 26.7.1983

Teilflächengröße: Meßfläche 4x 1000m², 2x ca.1000m²,
Behandlungsfläche 6x ca.2200m²

Eigentümer: Franz Baumschlager, Sierning OÖ

Nutzraum 3: nördliches Alpenvorland - Ostteil

Klima: Niederschlag (Kremsmünster) ... 1100mm/Jahr
Temperatur (Kremsmünster) ... Jänner -2,0°C
Juli 18,2°C ... Jahr 8,4°C

Höhe: 410 m, gleichmäßig eben

Natürliche Waldgesellschaft: Seegras-reicher Bu-Ta-TrEi-Wald

aktueller Bestand: Fi(einige Ki,Ei)-Baumholz

Alter zu Versuchsbeginn: 35 - 45 Jahre

Bodenvegetation: Mooskolonien

Grundgestein: ältere Deckenschotter mit Staublehm- und
Lößaufwehung

Boden: schwach vergleyte Parabraunerde, mittelschwerer, im
Untergrund dicht gelagerter Boden mit gehemmter Durch-
lässigkeit, sodaß periodischer Wasserstau eintritt.

Profilaufbau:

O ₁	2 - 1cm	Nadelstreu, Moospolster
O _{f+h}	1 - 0cm	zersetzte Nadelstreu, Grob- und Feinmo- der, locker gelagert
A _h	0 - 5cm	sehr stark humoser, lehmiger Schluff, locker gelagert, undeutlich krümelig, dunkelbraun (10YR3/2,5), sehr gut durch- wurzelt und durchlüftet, biologisch tä- tig, wechselfeucht
A _E	5 - 20cm	schwach humoser, lehmiger Schluff, kein Grobanteil, gelbbraun (10YR5/3,5), mit- teldicht gelagert, feinblockige Struktur, gut durchwurzelt und durchlüftet, biolo- gisch schwach tätig, allmählich überge- hend
B _t	20 - 50cm	Lehm, kein Grobanteil, mitteldicht fein- blockig, gelbbraun (10YR5/4), deutliche Tonhüllen, rasch abnehmende Durch- wurzlung, biologisch schwach tätig
B _g	50 - 100cm	Lehm, dicht, schwach rostfleckig, Punkt- konkretionen, nicht durchwurzelt

Die Anzahl der Einzelproben aus dem Auflagehumus weicht im Anfangsjahr 1963 erheblich von jener der späteren Termine ab. Pärchenvergleiche mit 1963 sind daher unvollständig. Auch Mengenangaben aus dem Jahr 1963 bleiben daher fallweise unberücksichtigt, statistische Aussagen wurden unterlassen.

6.1 Veränderungen im Boden

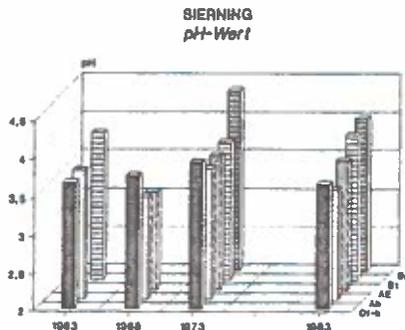
6.1.1 pH-Wert (nach STÖHR, 1984)

Im 1. Dezennium erfolgt im Auflagehumus eine Aufbasung von 3,7 auf 3,9 worauf im 2. Abschnitt eine Versauerung wieder auf den Ausgangspunkt stattfindet. Im A_h -Horizont schwankt der pH-Wert zwischen allen Terminen uneinheitlich, aber hoch signifikant zwischen den Endwerten 3,7 und 3,4 (s. Abb. 6.1 und Tab. 6.1).

Offensichtlich wirken hier temporäre Bedingungen stärker als ein genereller, langfristiger Einflußfaktor. Wie Stöhr (1984) untersuchte, könnte hier der Witterungsverlauf maßgeblich gewesen sein.

Die Schwankungen im Unterboden sind nicht signifikant.

Abb. 6.1: pH - Wert



Tab.6.1: Sierning, pH - Wert

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	3,67	3,76	3,93	3,66
s	0,207	0,367	0,293	0,456
Min	3,4	3,3	3,5	3,1
Max	3,9	4,3	4,5	4,3
n	6	11	12	12
		Horizont A _h		
\bar{x}	3,70 -***-	3,36 -***-	3,72-***(*)-	3,46
s	0,195	0,163	0,304	0,188
Min	3,4	3,2	3,3	3,2
Max	4,0	3,6	4,3	3,7
n	12	11	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	3,30	3,30	3,75	3,70
s	-	0,173	0,212	0,141
Min	-	3,1	3,6	3,6
Max	-	3,4	3,9	3,8
n	1	3	2	2
		Horizont B _t		
\bar{x}	3,93	3,90	3,80	3,90
s	0,413	-	0,424	0,116
Min	3,1	-	3,5	3,7
Max	4,2	-	4,1	4,0
n	6	1	2	7
		Horizont B _g		
\bar{x}	-	3,90	4,35	4,00
s	-	-	0,071	0,00
Min	-	-	4,3	4,0
Max	-	-	4,4	4,0
n	-	1	2	3

6.1.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

In den humosen Horizonten (einschließlich AE) nimmt der P₂O₅-Gehalt zunächst bis 1968 zu, danach kontinuierlich auf einen tieferen Endwert ab. Die statistische Sicherung dieses Trends ist unterschiedlich, im Auflagehumus und A_h-Horizont z.T. hoch (s.Abb.6.2 und Tab.6.2.1). In den B-Horizonten bleibt der P₂O₅-Gehalt annähernd gleich um 0,07%.

Die P₂O₅-Menge nimmt im Auflagehumus ebenfalls erst zu und fällt in den folgenden 15 Jahren unter den Ausgangswert auf 74kg/ha, wobei nur das letzte Dezennium statistisch hoch gesichert ist (s.Abb.6.3). Im Mineralboden sinkt die errechnete P₂O₅-Menge im ersten Dezennium von 1,3t/ha auf 940kg/ha ab und steigt danach

Abb.6.2: P₂O₅ - Gehalt

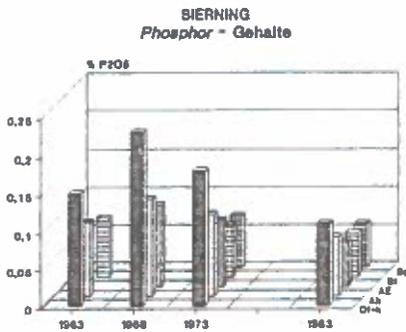
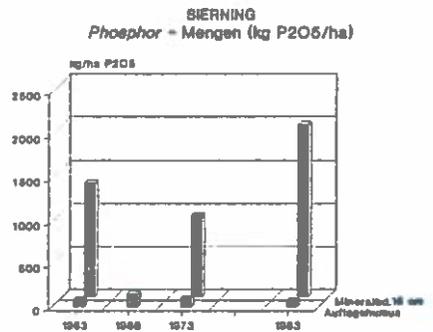


Abb.6.3: P₂O₅ - Menge



Tab.6.2.1: Sierning, P₂O₅ - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,15	0,23	0,18	0,11
s	0,041	0,059	0,026	0,037
Min	0,09	0,13	0,13	0,01
Max	0,22	0,31	0,22	0,16
n	6	11	12	12
Horizont A _h				
\bar{x}	0,10	0,13	0,11	0,08
s	0,024	0,037	0,014	0,011
Min	0,07	0,08	0,09	0,06
Max	0,15	0,20	0,13	0,10
n	12	11	12	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,10	0,11	0,09	0,06
s	-	0,026	0,007	0,000
Min	-	0,08	0,08	0,06
Max	-	0,14	0,09	0,06
n	1	3	2	2
Horizont B ₁				
\bar{x}	0,08	0,06	0,07	0,06
s	0,052	-	0,000	0,006
Min	0,05	-	0,07	0,05
Max	0,20	-	0,07	0,07
n	6	1	2	7
Horizont B _g				
\bar{x}	-	0,06	0,07	0,06
s	-	-	0,0	0,0
Min	-	-	0,07	0,06
Max	-	-	0,07	0,06
n	-	1	2	3

Tab.6.2.2: Sierning, P_2O_5 - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983	
		Auflagehumus			
\bar{x}	89	154	107	---*--- 74	
s	-	128	42	36	
Min	22	45	43	5	
Max	181	510	205	117	
n	-	11	12	12	
		Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	1.316	-	944	990	
Min	422	-	352	426	
Max	2.706	-	1.069	1.337	

5.1.3 K_2O -Gehalt und -Menge

Über den Zeitraum von 1963-1973 bleibt die K_2O -Konzentration im Auflagehumus und A_h -Horizont konstant und sinkt dann bis 1983 auf 0,09% bzw. 0,07% höchst signifikant ab (s. Abb. 6.4). Nach einem Anstieg bis 1973 sinkt auch im AE-Horizont der K_2O -Gehalt unter den Ausgangswert, jedoch erlaubt die geringe Anzahl der Proben keine statistische Absicherung. Die deutliche Abnahme im B_t -Horizont von 0,12% auf 0,08% über den gesamten 20-jährigen Zeitraum (s. Tab. 6.3.1) ist hoch gesichert, die wenigen dazwischen liegenden hohen Werte sind nicht gesichert.

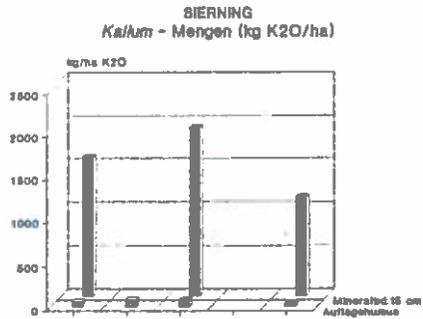
Auch die K_2O -Menge sinkt im Auflagehumus seit 1968 (die Mengenangabe 1963 ist unsicher) unter den Ausgangswert, allerdings statistisch ungesichert (s. Abb. 6.5). Für den Mineralboden errechnet sich eine kontinuierliche Zunahme der K_2O -Menge von 1,6 t/ha zu Versuchsbeginn auf fast 2t/ha bis 1973 und anschließend wieder eine Abnahme bis unter den Ausgangswert (s. Tab. 6.3.2).

Die Gesamtbilanz für mineralischen Oberboden incl. Auflagehumus wäre demnach mit fast einer halben Tonne pro Hektar negativ.

Abb.6.4: K_2O - Gehalt



Abb.6.5: K_2O - Menge



Tab.6.3.1: Sierning, K_2O - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,12	0,14	0,13	0,09
s	0,023	0,020	0,037	0,016
Min	0,09	0,11	0,10	0,06
Max	0,16	0,18	0,20	0,11
n	6	11	12	12
Horizont A _h				
\bar{x}	0,12	0,13	0,13	0,07
s	0,032	0,022	0,022	0,012
Min	0,09	0,10	0,09	0,06
Max	0,18	0,17	0,16	0,10
n	12	11	12	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,09	0,13	0,15	0,07
s	-	0,022	0,007	0,014
Min	-	0,11	0,14	0,06
Max	-	0,16	0,15	0,08
n	1	3	2	2
Horizont B ₁				
\bar{x}	0,12	0,27	0,17	0,08
s	0,012	-	0,014	0,007
Min	0,11	-	0,16	0,07
Max	0,14	-	0,18	0,09
n	6	1	2	7
Horizont B _g				
\bar{x}	-	0,20	0,16	0,08
s	-	-	0,0	0,006
Min	-	-	0,16	0,07
Max	-	-	0,16	0,08
n	-	1	2	3

Tab.6.3.2: Sierning, K₂O - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	63	87	81	54
s	-	62	53	18
Min	21	35	46	17
Max	117	255	228	77
n	-	11	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	1.601	-	1.946	1.134
Min	1.126	-	518	524
Max	2.171	-	2.227	1.373

5.1.4 CaO-Gehalt und -Menge

Nach einem starken (aber ungesicherten) Anstieg in den ersten 5 Jahren fällt der CaO-Gehalt stetig und signifikant von 0,56% auf 0,37%, das ist etwas über dem Ausgangswert (s. Abb. 6.6). Im A_h-Horizont nehmen die Werte mit unterschiedlich signifikanten Schwankungen insgesamt beträchtlich auf ein Drittel des Anfangswertes ab. Eine ungesicherte Abnahme um ebenfalls fast die Hälfte ergibt sich ab 1968 auch für den AE-Horizont. Der Einzelwert von 1963 erlaubt keine Aussage. Im B_t-Horizont ist die Abnahme über die Gesamtbeobachtungsdauer 1963-1983 hoch signifikant von 0,17% auf 0,04% (s. Tab. 6.4.1).

Die CaO-Menge im Auflagehumus nimmt in den ersten 5 Jahren stark zu und seit 1968 wieder stetig ab, jedoch nur im letzten Dezenium statistisch gesichert. Zuletzt ist wieder die Ausgangsmenge erreicht (s. Abb. 6.7). Die obersten 15cm Mineralboden verlieren kontinuierlich beträchtliche CaO-Mengen, der Betrag von 1,9t/ha im 20-jährigen Zeitraum ist jedoch völlig ungesichert und wenig plausibel (s. Tab. 6.4.2).

Abb.6.6: CaO - Gehalt

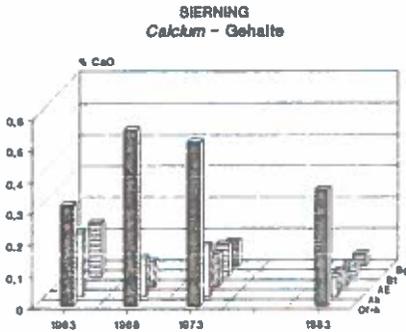
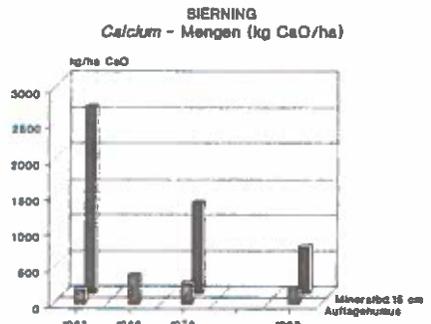


Abb.6.7: CaO - Menge



Tab.6.4.1: Sierning, CaO - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,32	0,56	0,52	0,37
s	0,195	0,302	0,144	0,193
Min	0,04	0,12	0,20	0,13
Max	0,68	1,12	0,70	0,74
n	6	11	12	12
Horizont A _h				
\bar{x}	0,20	0,12	0,16	0,06
s	0,115	0,055	0,096	0,020
Min	0,04	0,03	0,10	0,04
Max	0,34	0,20	0,45	0,11
n	12	11	12	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,22	0,08	0,10	0,05
s	-	0,005	0,000	0,007
Min	-	0,07	0,10	0,04
Max	-	0,08	0,10	0,05
n	1	3	2	2
Horizont B ₁				
\bar{x}	0,17	0,05	0,10	0,04
s	0,081	-	0,007	0,004
Min	0,04	-	0,09	0,03
Max	0,22	-	0,10	0,04
n	6	1	2	7
Horizont B _g				
\bar{x}	-	0,07	0,08	0,04
s	-	-	0,035	0,0
Min	-	-	0,05	0,04
Max	-	-	0,10	0,04
n	-	1	2	3

Tab.6.4.2: Sierning, CaO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	201	396	292	206
s	-	533	95	79
Min	11	90	108	48
Max	570	2.038	450	305
n	-	11	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	2.600	-	1.261	659
Min	549	-	538	361
Max	3.463	-	1.737	758

5.1.5 MgO-Gehalt und -Menge

Zu Versuchsbeginn liegt die MgO-Konzentration im Auflagehumus bei 0,21% und sinkt nach Schwankungen ab 1973 auf 0,19% (s.Abb.6.8). Im A_h -Horizont ergibt sich in den ersten 10 Jahren ein hoch signifikanter Anstieg von 0,21% auf 0,31% und bis 1983 ein nicht gesichertes Absinken auf 0,25%. Der MgO-Gehalt im AE-Horizont schwankt mit langfristiger Zunahme auf das Doppelte, jedoch ohne statistische Absicherung. Im B_t -Horizont bleibt der Ausgangswert der MgO-Konzentration annähernd gleich (s.Tab.6.5.1).

Die MgO-Menge im Auflagehumus bleibt über den gesamten Versuchszeitraum 1963 bis 1983 annähernd gleich (s.Abb.6.9). Konzentrationsänderungen und Schwankung der Auflagehumus-Menge halten sich offenbar die Waage (Verdünnungseffekt ?).

Die Mengenerrechnungen für den Mineralboden sind unsicher; sie ergäben ab 1963 eine Zunahme um fast 1,5t/ha, in den letzten 10 Jahren eher eine Abnahme (s.Tab.6.5.2).

Abb.6.8: MgO - Gehalt

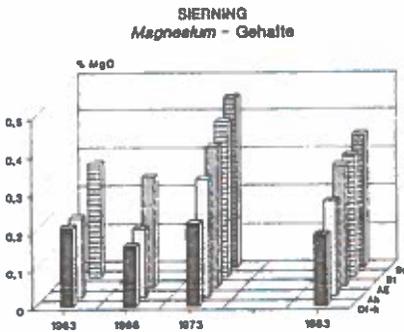
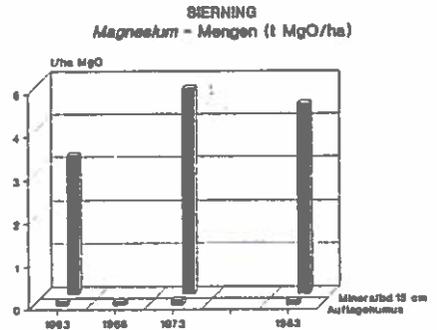


Abb.6.9: MgO - Menge



Tab.6.5.1: Sierning, MgO - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,21	0,16	0,22	0,19
s	0,052	0,052	0,083	0,056
Min	0,15	0,05	0,12	0,13
Max	0,32	0,26	0,39	0,31
n	6	11	12	12
		Horizont A _h		
\bar{x}	0,21	0,18	0,31	0,25
s	0,091	0,107	0,056	0,055
Min	0,08	0,05	0,23	0,15
Max	0,39	0,45	0,40	0,32
n	12	11	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	0,16	0,29	0,37	0,32
s	-	0,050	0,057	0,014
Min	-	0,25	0,33	0,31
Max	-	0,36	0,41	0,33
n	1	3	2	2
		Horizont B _t		
\bar{x}	0,30	0,70	0,41	0,32
s	0,092	-	0,057	0,030
Min	0,16	-	0,37	0,28
Max	0,41	-	0,45	0,36
n	6	1	2	7
		Horizont B _g		
\bar{x}	-	0,60	0,45	0,35
s	-	-	0,035	0,027
Min	-	-	0,42	0,32
Max	-	-	0,47	0,37
n	-	1	2	3

Tab.6.5.2: Sierning, MgO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	108	107	133	118
s	-	81	81	50
Min	37	17	56	48
Max	235	273	285	200
n	-	11	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	3.209	-	4.749	4.406
Min	2.258	-	2.128	2.064
Max	4.915	-	5.942	5.388

6.1.6 N-Gehalt und -Menge

Die N-Gehalte steigen in allen Humushorizonten (O, A_h, AE) zunächst bis 1968 an und sinken danach wieder bis unter den Ausgangswert ab. Nur die Abnahme im Auflagehumus von 1968 bis 1983, im A_h-Horizont von 1973 auf 1983 ist signifikant (s.Tab.6.6.1). Die N-Konzentration im B_t-Horizont ist über 20 Jahre nahezu gleich geblieben (s.Abb.6.10).

Die jeweils einzige Probe von 1968 aus B_t und B_g ist ein offensichtlicher Ausreißer, vermutlich aus einem gestörten Profil mit Material aus dem Unterboden. Dies erklärt auch die stark abweichenden K, Ca und Mg-Werte dieses Termines.

Die N-Menge im Auflagehumus schwankt gleichsinnig mit der Konzentration; nach einem anfänglichen Anstieg auf 875kg/ha wird 1983 wieder der Ausgangswert von 600kg/ha erreicht (s.Abb.6.11). Im Mineralboden bleibt in den ersten 10 Jahren die N-Menge annähernd konstant und nimmt dann um 130kg/ha ab (s.Tab.6.6.2).

Von 1963 bis 1983 ist somit die Gesamt-N-Bilanz mit 30kg/ha negativ und zwar ausschließlich im Mineralboden.

Abb.6.10: N - Gehalt

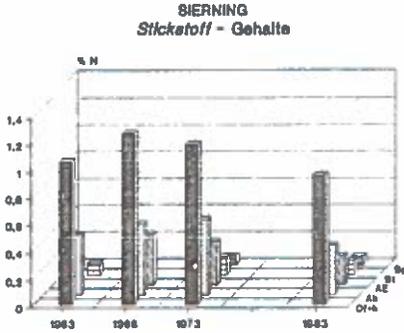
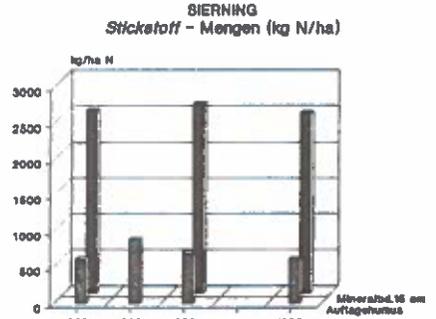


Abb.6.11: N - Menge



Tab.6.6.1: Sierning, N - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
		Aufagehumus		
\bar{x}	1,06	1,27	1,19	0,96
s	0,212	0,294	0,332	0,209
Min	0,81	0,83	0,64	0,63
Max	1,40	1,73	1,65	1,25
n	6	11	12	12
		Horizont A _h		
\bar{x}	0,44	0,51	0,55	0,36
s	0,197	0,194	0,157	0,161
Min	0,24	0,27	0,29	0,15
Max	0,80	0,91	0,82	0,72
n	12	11	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	0,35	0,37	0,32	0,21
s	-	0,076	0,007	0,007
Min	-	0,26	0,31	0,20
Max	-	0,42	0,32	0,21
n	1	3	2	2
		Horizont B ₁		
\bar{x}	0,09	0,01	0,13	0,10
s	0,047	-	0,035	0,030
Min	0,01	-	0,10	0,06
Max	0,14	-	0,15	0,15
n	6	1	2	7
		Horizont B ₂		
\bar{x}	-	0,01	0,07	0,06
s	-	-	0,00	0,015
Min	-	-	0,07	0,04
Max	-	-	0,07	0,07
n	-	1	2	3

Tab.6.6.2: Sierning, N - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	600	875	700	605
s	-	784	299	235
Min	149	277	198	132
Max	1.156	3.149	1.311	986
n	-	11	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	2.525	-	2.617	2.490
Min	745	-	1.685	1.540
Max	4.540	-	2.665	2.819

5.1.7 C-Gehalt und -Menge

Von 1963 fehlen Analysendaten. Zwischen den übrigen Terminen nimmt der C-Gehalt im Auflagehumus von 36% auf 23% kontinuierlich und hoch signifikant ab, im A_h -Horizont signifikant von 10,0% auf 6,5%. Eine ähnliche Verminderung der C-Konzentration (um 3%) ist auch im AE-Horizont erkennbar, jedoch wegen der wenigen Proben ohne statistische Absicherung (s.Tab.6.7.1 und Abb.6.12).

Die Verminderung der C-Menge im Auflagehumus von 25t/ha im Jahre 1968 auf 15t/ha im Jahre 1983 ist beachtlich, jedoch nicht gesichert (s.Abb.6.13 und Tab.6.7.2).

Abb.6.12: C - Gehalt

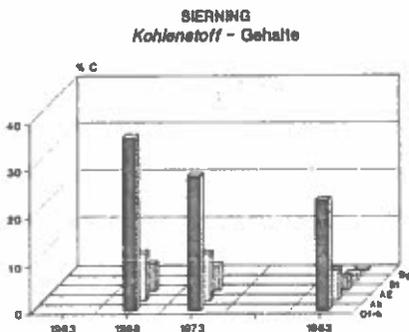
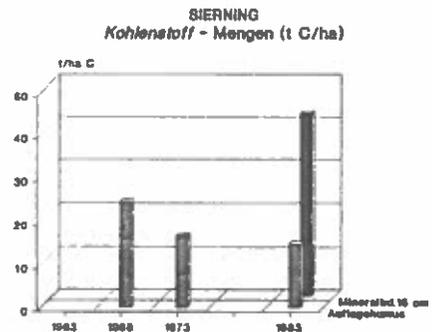


Abb.6.13: C - Menge



Tab.6.7.1: Sierning, C - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	36,43	28,25	23,22
s	-	10,070	8,153	5,062
Min	-	20,6	14,0	13,4
Max	-	48,5	41,0	30,3
n	-	11	12	12
		Horizont A _h		
\bar{x}	-	10,03	9,94	6,54
s	-	4,049	3,927	3,409
Min	-	6,8	5,1	2,8
Max	-	19,1	18,0	14,1
n	-	11	12	12
		Horizont AE		
\bar{x}	-	5,83	5,5	2,85
s	-	1,674	0,707	0,495
Min	-	3,6	5,0	2,5
Max	-	7,8	6,0	3,2
n	-	3	2	2
		Horizont B _t		
\bar{x}	-	-	-	1,66
s	-	-	-	0,621
Min	-	-	-	0,6
Max	-	-	-	2,3
n	-	-	-	7
		Horizont B _g		
\bar{x}	-	-	-	0,67
s	-	-	-	0,231
Min	-	-	-	0,4
Max	-	-	-	0,8
n	-	-	-	3

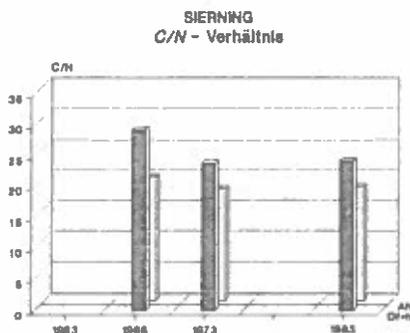
Tab.6.7.2: Sierning, C - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	24.503	16.600	14.835
s	-	20.689	6.851	5.998
Min	-	8.228	4.340	2.814
Max	-	82.810	30.750	23.108
n	-	11	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	-	-	-	42.488
Min	-	-	-	19.655
Max	-	-	-	49.137

6.1.8 C/N-Verhältnis

Das C/N-Verhältnis fällt im Auflagehumus hoch signifikant von 29 auf 24 und im A_h -Horizont von 20 auf 18 (s.Abb.6.14). Danach bleibt das C/N-Verhältnis in beiden Horizonten konstant (s.Tab. 6.8). Der Verlust an C ist insbesondere im Auflagehumus größer als jener an N. Die Verengung des C/N-Verhältnisses tritt relativ rasch in der Periode 1968-1973 ein.

Abb.6.14: C/N - Verhältnis



Tab.6.8: Sierning, C/N - Verhältnis

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	29,33-*(*)-	23,92	24,25
s	-	4,539	3,777	3,334
Min	-	22	17	21
Max	-	35	30	33
n	-	11	12	12
		Horizont A_h		
\bar{x}	-	19,92	17,92	18,25
s	-	3,397	3,777	3,545
Min	-	16	12	14
Max	-	27	25	27
n	-	11	12	12

6.1.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

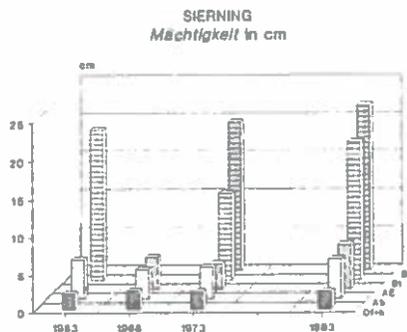
Die Mächtigkeit des Auflagehumus schwankt unbedeutend um 2cm.

Der Fe₂O₃-Gehalt im Auflagehumus (s.Tab.6.10) schwankt genau gegenläufig zu der Konzentration von N und C und zum C/N-Verhältnis.

Der A_h-Horizont ist 1963 und 1983 mit 5,4cm etwas tiefer als in den Jahren 1968 und 1973 mit 4,1 bzw. 4,3 (s.Abb.6.15 und Tab.6.9). Die Schwankung des AE-Horizontes ist beträchtlich, doch eher ein Ausdruck der räumlichen Variabilität bei so wenig Stichproben.

Alle diese Daten weisen sehr konform auf eine Akkumulation von organischer Substanz (Waldstreu) während der ersten Beobachtungsperiode und auf einen 1968 einsetzenden beachtlichen Mineralisierungsschub, der zu einem entsprechend großen Humusverlust aber auch zu verbesserter Humusqualität führte. Von 1973 bis 1983 begann im A_h-Horizont wieder ein Aufbau an Humusvorrat bei gleichbleibender Humusqualität.

Abb.6.15: Mächtigkeit in cm



Tab.6.9: Sierning, Mächtigkeit in cm

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	2,0	2,4	2,3	2,3
s	1,011	1,881	1,138	0,651
Min	1,0	1,0	1,0	1,0
Max	3,7	8,0	5,0	3,0
n	6	11	12	12
Horizont A _h				
\bar{x}	5,4	4,1	4,4	5,4
s	3,088	2,924	2,152	3,088
Min	1,0	1,0	1,0	1,0
Max	10,0	10,0	7,0	10,0
n	12	11	12	12
Horizont AE				
\bar{x}	8,0	4,4	3,5	6,0
s	-	0,479	2,121	2,828
Min	-	4,0	2,0	4,0
Max	-	5,0	5,0	8,0
n	1	3	2	2
Horizont B _i				
\bar{x}	19,8	25,0	11,5	18,1
s	4,956	-	0,707	6,362
Min	15,0	-	11,0	8,0
Max	29,0	1	12,0	29,0
n	6	1	2	7
Horizont B _g				
\bar{x}	-	25,0	19,5	21,7
s	-	-	7,780	7,638
Min	-	-	14,0	15,0
Max	-	-	25,0	30,0
n	-	1	2	3

Tab.6.10: Sierning, Fe₂O₃ - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	1,72	1,20	1,54	1,64
s	0,478	0,519	0,661	0,301
Min	1,05	0,50	0,72	1,27
Max	2,47	2,16	2,50	2,11
n	6	11	12	12
Horizont A _h				
\bar{x}	3,04	2,77	2,77	2,63
s	0,356	0,365	0,310	0,368
Min	2,55	1,82	2,33	1,89
Max	3,59	3,24	3,35	3,25
n	12	11	12	12
Horizont AE				
\bar{x}	3,43	2,99	3,14	2,79
s	-	0,194	0,120	0,198
Min	-	2,75	3,05	2,65
Max	-	3,20	3,22	2,93
n	1	3	2	2
Horizont B _i				
\bar{x}	3,57	4,79	3,72	2,91
s	0,739	-	0,198	0,117
Min	3,03	-	3,58	2,76
Max	5,17	1	3,86	3,09
n	6	1	2	7
Horizont B _g				
\bar{x}	-	3,90	3,49	3,03
s	-	-	0,622	0,119
Min	-	-	3,05	2,89
Max	-	-	3,93	3,11
n	-	1	2	3

6.2 Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden

Tab.6.11: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Bodenparametern der Versuchsfläche Sieming

Element	Horizont	n	r	Signifikanz
N	O	24	0,489	**
	Ah	24	0,129	
	AE	12	0,596	*
	Bt	24	-0,158	
	Bg	8	-0,556	
P ₂ O ₅	O	24	0,473	**
	Ah	24	0,343	(*)
	AE	12	0,132	
	Bt	24	0,096	
	Bg	8	0,092	
K ₂ O	O	24	0,518	**
	Ah	24	0,512	**
	AE	12	0,661	**
	Bt	24	0,169	
	Bg	8	0,175	
CaO	O	24	0,324	
	Ah	24	0,381	*
	AE	12	0,099	
	Bt	24	0,161	
	Bg	8	0,388	
MgO	O	24	-0,105	
	Ah	24	0,142	
	AE	12	-0,318	
	Bt	24	-0,227	
	Bg	8	0,044	

Tab.6.12: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Elementvorräten im Boden der Versuchsfläche Sieming

Element	Profil	r	Signifikanz
N	Auflagehumus	0,068	
	Mineralboden bis 15 cm	0,187	
P ₂ O ₅	Auflagehumus	0,278	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,032	
K ₂ O	Auflagehumus	0,324	*
	Mineralboden bis 15 cm	0,451	*
CaO	Auflagehumus	0,066	
	Mineralboden bis 15 cm	0,175	
MgO	Auflagehumus	-0,075	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,070	

5.2.1 Stickstoff

5.2.1.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

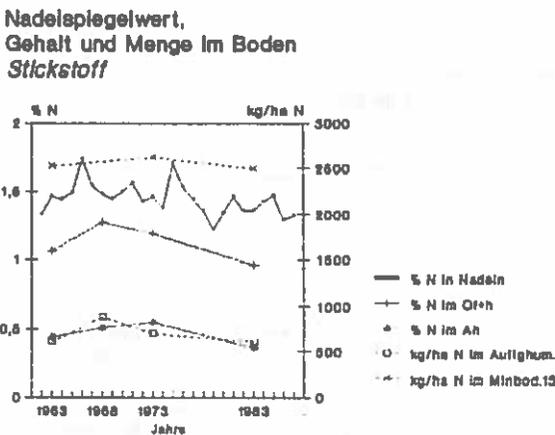
Signifikante Beziehungen wurden nur zwischen den N-Gehalten im Auflagehumus und AE-Horizont mit den Nadelspiegelwerten gefunden. Unterschiede der N-Nadelgehalte können zu 24% bzw. 36% aus den Streuungen der N-Gehalte im Auflagehumus bzw. AE-Horizont erklärt werden (s.Tab.6.11 und 6.12).

5.2.1.2 Graphischer Vergleich der Trends

Alle Nadelspiegelwerte bis auf einen liegen außerhalb des Mangelbereichs; sie schwanken um den Grenzwert für "ausreichend versorgt". Insgesamt ist eine fallende Tendenz erkennbar (s.Abb.6.16).

Damit steht die N-Abnahme im Boden gut im Einklang.

Abb.6.16: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Stickstoff



Sterning

6.2.2 Phosphor

6.2.2.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

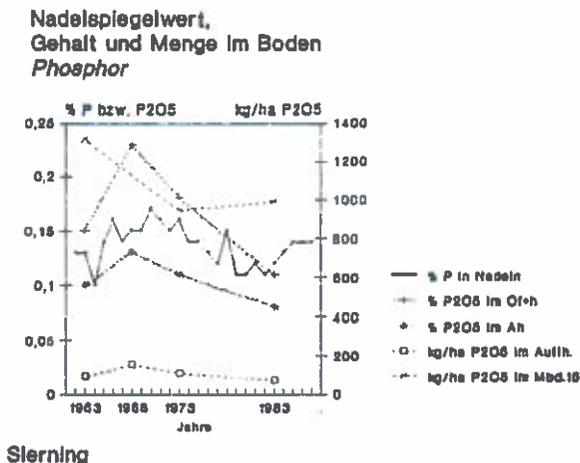
Nur zum P_2O_5 -Gehalt des Auflagehumus besteht eine schwache, aber hoch gesicherte positive Korrelation mit den Nadelspiegelwerten ($r=0,47$). Die Schwankungen der P-Nadelgehalte lassen sich zu 22% aus den Schwankungen des P_2O_5 -Gehaltes im Auflagehumus erklären (s.Tab.6.11 und 6.12). Die Korrelation zu den P_2O_5 -Gehalten im A_h -Horizont ist knapp nicht gesichert.

6.2.2.2 Graphischer Vergleich der Trends

Im ersten Dezennium nehmen die Nadelspiegelwerte zu, im zweiten ab und liegen aber bis auf eine Ausnahme (1964) nie unter der Mangelgrenze (s.Abb.6.17).

Die P_2O_5 -Gehalte im Auflagehumus und A_h -Horizont des Bodens schwanken deutlich gleichsinnig. Die P_2O_5 -Gesamtmenge im Oberboden zeigt hingegen einen abweichenden Verlauf.

Abb.6.17: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Phosphor



6.2.3 Kalium

6.2.3.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Die K_2O -Gehalte des Auflagehumus, des A_h - und AE -Horizontes weisen eine hoch gesicherte positive Korrelation mit den Nadelspiegelwerten auf. Die Korrelationskoeffizienten von $r=0,52$ bzw. $0,51$ bzw. $0,66$ sind relativ hoch. Die Steuungen der K -Nadelgehalte werden zu 27% bzw. 26% bzw. 44% aus den Schwankungen der K_2O -Bodenhorizontgehalte erklärt.

Eine gesicherte Korrelation besteht auch mit den K_2O -Mengen im Auflagehumus und Mineralboden. Das Bestimmtheitsmaß ist in diesem Fall nur 10% bzw. 20%.

Weitere Korrelationskoeffizienten über dieses Nährelement zeigen die Tabellen 6.11 und 6.12.

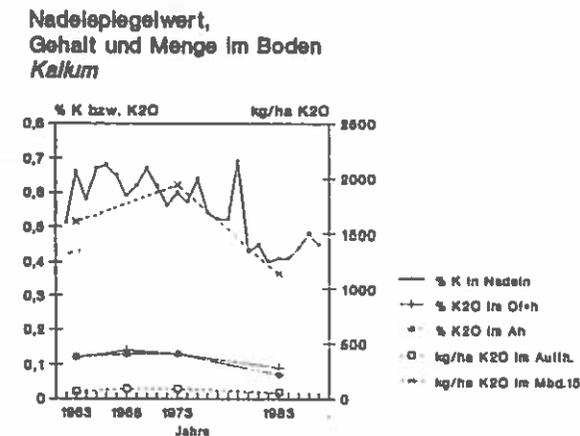
6.2.3.2 Graphischer Vergleich der Trends

Bis zum Jahre 1979 (Höhepunkt: 0,69% K) schwanken die K -Gehalte gleichmäßig, danach ist ein Absinken erkennbar (s. Abb. 6.18).

Erst in den Jahren 1982 und 1983 fallen die Nadelspiegelwerte unter die Grenze von "ausreichend versorgt".

Die Werte für K_2O im Boden lassen aus der Graphik eine gewisse Beziehung mit diesem Trend erkennen.

Abb. 6.18: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Kalium



6.2.4 Calcium

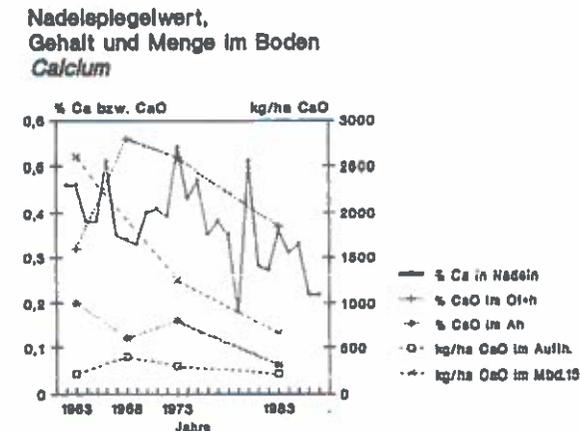
6.2.4.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Mit den CaO-Gehalten des Bodens besteht nur im A_h -Horizont eine bescheidene, signifikante Korrelation der Nadelspiegelwerte, sonst sind keine Zusammenhänge feststellbar (s.Tab.6.11 und 6.12). Die Schwankungen der Ca-Nadelgehalte können danach zu 14% aus den Schwankungen der CaO-Gehalte des A_h -Horizontes erklärt werden.

6.2.4.2 Graphischer Vergleich der Trends

In der Graphik erkennt man eindeutig eine sinkende Tendenz der Nadelspiegelwerte, jedoch wird die Mangelgrenze innerhalb von 20 Jahren nicht erreicht (s.Abb.6.19). Insbesondere der Verlauf des CaO-Gehaltes im A_h -Horizont zeigt damit einen deutlichen Zusammenhang. Die generelle Abnahme aller übrigen CaO-Werte des Bodens ab 1973 entspricht ebenfalls jener der Nadelgehalte.

Abb.6.19: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Calcium



Sternling

.2.5 Magnesium

.2.5.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

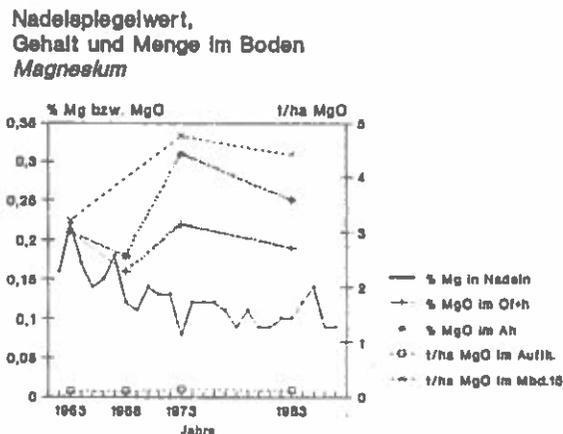
Signifikante Zusammenhänge mit den Nadelspiegelwerten sind nicht feststellbar, die geringen und ungesicherten Korrelationen der Horizonte sind teils negativ, teils positiv (s.Tab.6.11 und .12).

.2.5.2 Graphischer Vergleich der Trends

Während der Mg-Gehalt der Nadeln sinkt in der Periode 1963–1983 kontinuierlich. Ab 1977 beginnen die Spiegelwerte unter die Grenze von "ausreichend versorgt" zu fallen (s.Abb.6.20).

Im Gegensatz dazu steht der steigende Trend von MgO im Mineralboden. Somit scheint auch auf dieser Versuchsfläche der Mg-Mangel in den Nadeln nicht auf MgO-Mangel im Boden zurückzuführen zu sein.

Abb.6.20: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Magnesium



Sierning

7 Versuchsfläche Silz (405)

Versuchs- und Standortsbeschreibung:

Erstaufnahme: 7. Mai 1963

Wiederholungsaufnahmen: 1968; 24.10.1973; 18.10.1983.

Teilflächengröße: Meßfläche 6x 1000m²,
Behandlungsfläche 6x 2174m²

Eigentümer: Gemeinde Silz

Wuchsraum 12: nördliche Zentralalpen - Westteil
(inneralpines Fi-Waldgebiet)

Klima: Niederschlag (Ötz) ... 705mm/Jahr
Temperatur (Ötz) ... Jänner -3,0°C
Juli 16,0°C ... Jahr 7,1°C

Lage: 660 m, eben, Terrasse

Natürliche Waldgesellschaft: bodensaurer Fi-Ki-Ei-Wald

Aktueller Bestand: Ki-Altholz

Alter zu Versuchsbeginn: 67 Jahre

Bodenvegetation: Moosdecke, mit *Hylocomium splendens*, *Dicranum scoparium*, *Pleurozium schreberi*, *Hylocomium triquetrum* etc., *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*

Grundgestein: Schotterterrasse z.T. mit Bergsturzmaterial

Boden: schwach ausgebildeter, sehr leichter Podsol aus Schwemmaterial der Ölz, über Kalkschotter in größerer Tiefe, sehr geringe Nährstoff- und Wasserkapazität.

Profilaufbau:

O _f	4 - 0cm	Nadelstreu, Moospolster und plattig verdichter Pilzmoder
A _{he}	0 - 1(4)cm	schwach lehmiger Sand, stark humos, (Feinmoder), lose, undeutlich feinstkrümelig und Humusinfiltrat, schwarzbraun (10YR2/2), reichlich blanke Sandkörner, stark durchwurzelt
(AE)	1 - 4cm	nicht durchgehender Horizont, gut durchwurzelt, schwach lehmiger Feinsand, strukturlos, lose, grau (10YR5/1), deutlich gebleicht
B _s	4 - 20cm	schwach lehmiger Sand, wenig durchwurzelt, lose, strukturlos (AnreicherungsHorizont), intensiv gelbbraun (10YR5/5), schwach steinig, (Schotter)
BC	20 - 50cm	Grobsand, strukturlos lose, bräunlichgelb, (10YR6/4), wenig durchwurzelt
C	50 - 120cm	Grobsand und Schotter, hellolivgelb (2,5Y6/3)

Um die räumliche und zeitliche Vergleichbarkeit zu wahren, wurde der aussetzende AE-Horizont bei der Probenahme mit dem B_s-Horizont zusammengezogen.

7.1 Veränderungen im Boden

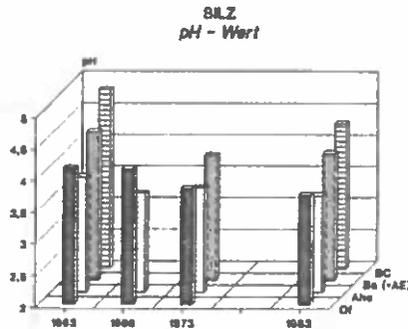
7.1.1 pH-Wert (nach STÖHR 1984)

In allen Horizonten sinkt der pH-Wert im gesamten Beobachtungszeitraum um ca. 0,4 pH-Stufen ab. Im Auflagehumus ist dieser Trend von pH 4,1 auf pH 3,7, im A_{he}-Horizont von 3,8 auf 3,5 hoch gesichert und im B_s(+AE)-Horizont von 4,4 auf 4,0 nur signifikant. Im Mineralboden ist die Absenkung zwischen 1968-1973 (ungesichert) unterbrochen; der pH-Wert sogar geringfügig ansteigend (s.Abb.7.1 und Tab.7.1).

Tab.7.1: Silz, pH - Wert

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
	-----*(*)-----			
	-----****-----			
\bar{x}	4,14	4,13	3,83	3,73
s	0,235	0,400	0,301	0,191
Min	3,8	3,1	3,4	3,4
Max	4,5	4,7	4,3	4,0
n	12	12	8	12
Horizont A _{he}				
	-----**(*)-----			
\bar{x}	3,81	3,57	3,65	3,53
s	0,211	0,177	0,243	0,187
Min	3,3	3,3	3,4	3,3
Max	4,1	3,9	4,1	3,9
n	12	10	6	12
Horizont B _s (+AE)				
	-----*-----			
\bar{x}	4,35	3,80	3,97	4,01
s	0,259	-	0,289	0,069
Min	3,9	-	3,8	3,9
Max	4,6	-	4,3	4,1
n	6	1	3	7
Horizont BC				
\bar{x}	4,82	4,80	-	4,30
s	0,130	-	-	0,000
Min	4,7	-	-	4,3
Max	5,0	-	-	4,3
n	5	1	-	4

Abb.7.1: pH - Wert



7.1.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus hat die P₂O₅-Konzentration von 1963 bis 1983 hoch signifikant um fast die Hälfte abgenommen (s.Abb.7.2). Der A_{he}-Horizont unterliegt im 20-jährigen Untersuchungszeitraum geringfügigen P₂O₅-Gehalts-Schwankungen und kehrt 1983 auf den Ausgangswert von 0,05% zurück. Im B₅(+AE)-Horizont bleiben die Werte über alle Perioden annähernd gleich bei 0,06% (s.Tab.7.2.1).

Die P₂O₅-Mengen im Auflagehumus steigen in den ersten 5 Jahren auf 187kg/ha an, sinken aber in den folgenden 15 Jahren höchst signifikant fast auf die Hälfte des Ausgangswertes (s.Abb.7.3) ab. Im Mineralboden nimmt über den Gesamtzeitraum die P₂O₅-Menge mit etwas mehr als 100kg/ha ab (s.Tab.7.2.2).

Die Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus ist mit fast 200kg/ha negativ.

Tab.7.2.2: Silz, P₂O₅ - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	146	187	93	86
s	111	53	77	27
Min	77	125	24	53
Max	486	284	304	147
n	12	12	8	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	1.207	-	-	1.096
Min	702	-	-	110

Abb.7.2: P₂O₅ - Gehalt

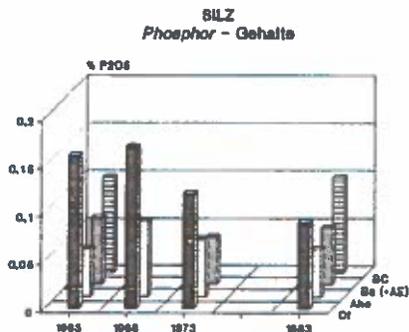
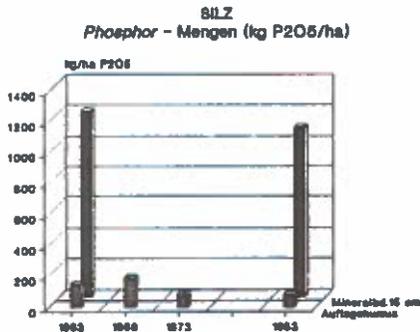


Abb.7.3: P₂O₅ - Menge



Tab.7.2.1: Silz, P₂O₅ - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	0,16	0,17	0,12	0,09
s	0,066	0,031	0,027	0,021
Min	0,10	0,11	0,10	0,07
Max	0,36	0,22	0,19	0,14
n	12	12	8	12
	Horizont A _{hc}			
\bar{x}	0,05	0,08	0,06	0,05
s	0,017	0,028	0,009	0,014
Min	0,01	0,05	0,05	0,03
Max	0,08	0,15	0,08	0,07
n	12	10	6	12
	Horizont B _s (+AE)			
\bar{x}	0,07	0,09	0,05	0,06
s	0,017	-	0,010	0,009
Min	0,05	-	0,04	0,05
Max	0,10	-	0,06	0,07
n	6	1	3	7
	Horizont BC			
\bar{x}	0,10	0,09	-	0,10
s	0,028	-	-	0,015
Min	0,08	-	-	0,08
Max	0,15	-	-	0,12
n	5	1	-	4

7.1.3 K₂O-Gehalt und -Menge

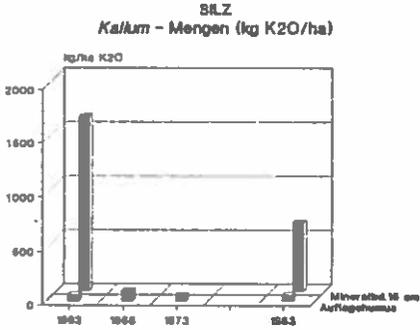
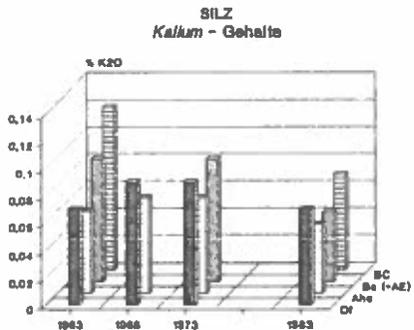
Die K₂O-Konzentration steigt im Auflagehumus in den ersten 5 Jahren geringfügig von 0,07% auf 0,09% an, bleibt dann gleich und fällt im zweiten Dezennium wieder auf den Ausgangswert zurück (s.Abb.7.4). Die Differenz zwischen 1968 und 1983 ist hoch signifikant. Der A_{he}-Horizont zeigt den gleichen Trend von 0,06 auf 0,07 und 0,05%, wiederum mit hoher Absicherung der Abnahme von 1968 bis 1983. Im B_g(+AE)-Horizont verbleibt bei gleichem Trend eine hoch signifikante Abnahme der K₂O-Konzentration von 0,09% auf 0,05% über die Gesamtdistanz (s.Tab.7.3.1).

Auch die K₂O-Menge nimmt im Auflagehumus von 1963-1968 um 10kg/ha höchst signifikant zu, danach schon in den ersten 5 Jahren wieder auf den Ausgangswert von 60kg/ha ab und bleibt dann gleich (s.Abb.7.5). Die K₂O-Menge im mineralischen Oberboden nimmt stark ab, die Beträge sind wiederum ungesichert (s.Tab.7.3.2).

Die Gesamtbilanz im Mineralboden bis 15cm und Auflagehumus zusammen wäre demnach mit knapp 1t/ha negativ.

Abb.7.4: K₂O - Gehalt

Abb.7.5: K₂O - Menge



Tab.7.3.1: Silz, K₂O - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
			*** (*)	
\bar{x}	0,07	0,09	0,09	0,07
s	0,017	0,021	0,023	0,015
Min	0,05	0,05	0,06	0,04
Max	0,10	0,11	0,13	0,09
n	12	12	8	12
Horizont A _{hc}				

\bar{x}	0,06	0,07	0,07	0,05
s	0,030	0,016	0,014	0,008
Min	0,01	0,05	0,05	0,03
Max	0,12	0,10	0,09	0,06
n	12	10	6	12
Horizont B _s (+AE)				

\bar{x}	0,09	0,10	0,09	0,05
s	0,028	-	0,000	0,004
Min	0,05	-	0,09	0,05
Max	0,13	-	0,09	0,06
n	6	1	3	7
Horizont BC				
\bar{x}	0,12	0,10	-	0,07
s	0,039	-	-	0,034
Min	0,07	-	-	0,05
Max	0,16	-	-	0,13
n	5	1	-	4

Tab.7.3.2: Silz, K₂O - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				

\bar{x}	63	101	61	62
s	22	38	25	16
Min	31	48	17	35
Max	97	162	100	98
n	12	12	8	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	1.612	-	-	628
Min	822	-	-	102
Max	2.763	-	-	1.163

7.1.4 CaO-Gehalt und -Menge

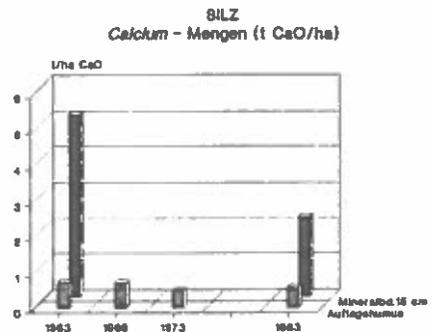
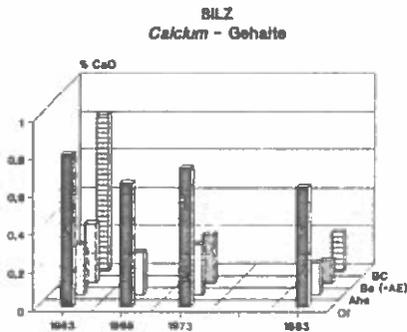
Der CaO-Gehalt in der Auflage ist für einen Podsol relativ hoch und offenbar in der Pflanzenaufnahme aus dem kalkhaltigen Untergrund begründet. Die Werte (s. Abb. 7.6) schwanken uneinheitlich mit einer signifikanten Abnahme über den Gesamtzeitraum von 0,80 auf 0,63%. Im A_{he} -Horizont ist die Tendenz ähnlich, die Abnahme über die Gesamtperiode 1963–1983 ist ebenfalls signifikant und verläuft von 0,26% auf 0,17%, wobei der CaO-Gehalt im ersten Dezennium trotz einer Schwankung konstant bleibt. Wesentlich größer ist die signifikante Abnahme der CaO-Konzentration von 0,31% auf 0,12% im $B_g(+AE)$ -Horizont (s. Tab. 7.4.1).

Die CaO-Menge im Auflagehumus schwankt zwischen 700 und 500 kg/ha mit einer Enddifferenz über den Gesamtzeitraum von minus 140 kg (s. Abb. 7.7). Hingegen nimmt im Mineralboden die CaO-Menge über 20 Jahre kontinuierlich ab - mit wieder ungesicherten Werten (s. Tab. 7.4.2).

Für den mineralischen Oberboden incl. Auflagehumus ergäbe sich demnach ein Verlust von 3t/ha.

Abb. 7.6: CaO - Gehalt

Abb. 7.7: CaO - Menge



Tab.7.4.1: Silz, CaO - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,80	0,65	0,73	0,63
s	0,146	0,341	0,206	0,177
Min	0,57	0,20	0,50	0,39
Max	1,08	1,38	1,25	1,03
n	12	12	8	12
Horizont A ^{hc} (*)				
\bar{x}	0,26	0,22	0,26	0,17
s	0,100	0,106	0,091	0,032
Min	0,11	0,11	0,12	0,13
Max	0,46	0,45	0,38	0,23
n	12	10	6	12
Horizont B ^s (+AE)				
\bar{x}	0,31	0,12	0,25	0,12
s	0,182	-	0,00	0,014
Min	0,11	-	0,25	0,11
Max	0,68	-	0,25	0,14
n	6	1	3	7
Horizont BC				
\bar{x}	0,82	0,12	-	0,20
s	0,410	-	-	0,143
Min	0,23	-	-	0,13
Max	1,38	-	-	0,46
n	5	1	-	4

Tab.7.4.2: Silz, CaO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	723	731	506	586
s	292	418	278	204
Min	385	191	156	313
Max	1.240	1.691	992	968
n	12	12	8	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	5.120	-	-	2.240
Min	2.719	-	-	329
Max	7.408	-	-	2.558

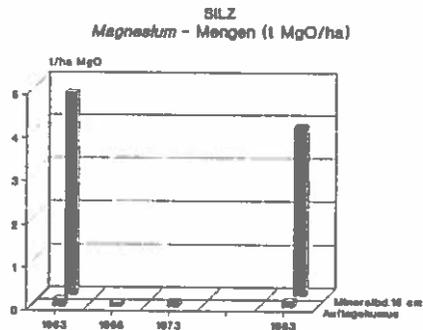
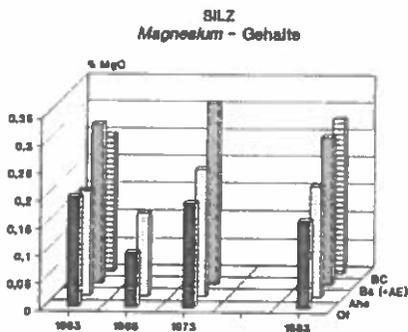
7.1.5 MgO-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus nimmt die MgO-Konzentration in den ersten 5 Jahren höchst signifikant um die Hälfte des Ausgangswertes von 0,20% ab, steigt nach weiteren 5 Jahren auf 0,19% an und sinkt geringfügig nach 10 Jahren auf 0,16% ab (s.Abb.7.8). Ähnlich schwankt der MgO-Gehalt im A_{he} -Horizont, allerdings mit einer knapp positiven Endbilanz von 0,19 auf 0,20%, wobei der Anstieg von 1968-1983 sogar hoch signifikant ist. Im $B_g(+AE)$ -Horizont ist über zwei Dezennien die MgO-Konzentration geringfügig und ungesichert von 0,29% auf 0,27% abgesunken.(s.Tab.7.5.1).

Die MgO-Menge vermindert sich im Auflagehumus in der Periode 1963-1968 um 65kg/ha signifikant. Danach beginnt ein leichter Wiederanstieg, der mit 146kg/ha jedoch den Ausgangswert von 175kg/ha nicht mehr erreicht (s.Abb.7.9). Die MgO-Menge des Mineralbodens ist über den gesamten Versuchszeitraum (ungesichert um fast 800kg/ha) geringer geworden (s.Tab.7.5.2). Die Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus ist nach 20 Jahren mit (ungesicherten) 800kg/ha negativ.

Abb.7.8: MgO - Gehalt

Abb.7.9: MgO - Menge



Tab.7.5.1: Silz, MgO - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,20	0,10	0,19	0,16
s	0,062	0,045	0,039	0,021
Min	0,10	0,02	0,12	0,12
Max	0,30	0,17	0,25	0,19
n	12	12	8	12
		Horizont A _{hc}		
\bar{x}	0,19	0,15	0,23	0,20
s	0,113	0,057	0,066	0,032
Min	0,02	0,05	0,14	0,15
Max	0,33	0,22	0,31	0,24
n	12	10	6	12
		Horizont B _s (+AE)		
\bar{x}	0,29	0,30	0,33	0,27
s	0,048	-	0,076	0,048
Min	0,22	-	0,26	0,22
Max	0,35	-	0,41	0,35
n	6	1	3	7
		Horizont BC		
\bar{x}	0,25	0,43	-	0,28
s	0,090	-	-	0,071
Min	0,16	-	-	0,21
Max	0,34	-	-	0,39
n	5	1	-	4

Tab.7.5.2: Silz, MgO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	175	110	127	146
s	64	50	56	44
Min	64	28	48	83
Max	297	193	252	243
n	12	12	8	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	4.674	-	-	3.896
Min	2.434	-	-	417
Max	7.369	-	-	5.421

7.1.6 N-Gehalt und -Menge

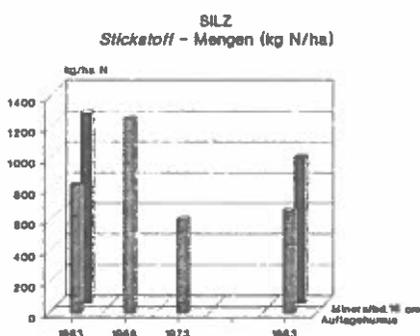
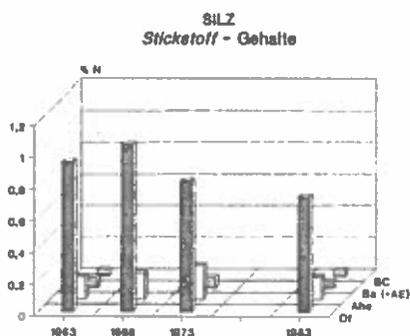
Nach einer geringfügigen Zunahme in den ersten 5 Jahren nimmt die N-Konzentration im Auflagehumus kontinuierlich und hoch signifikant von 1,06% auf 0,73% ab (s.Abb.7.10). Im A_{he} -Horizont steigt der N-Gehalt bis 1973 stetig von 0,15% auf 0,22% an und fällt im zweiten Dezennium auf den Ausgangswert zurück. Im $B_E(+AE)$ -Horizont sinkt der N-Gehalt signifikant innerhalb von 20 Jahren von 0,07% auf 0,04% (s.Tab.7.6.1), im BC bleibt er unverändert.

Die N-Menge im Auflagehumus nimmt von 1963 bis 1968 hoch signifikant zu und in den folgenden 15 Jahren unter den Ausgangswert auf 0,7t/ha statistisch gesichert ab (s.Abb.7.11). Der Mineralboden zeigt hingegen einen N-Verlust von fast 300kg/ha (allerdings ungesichert) über den gesamten Versuchszeitraum (s.Tab.7.6.2).

Die Gesamtbilanz für den mineralischen Oberboden incl. Auflagehumus ist mit 450kg/ha negativ.

Abb.7.10: N - Gehalt

Abb.7.11: N - Menge



Tab.7.6.1: Silz, N - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
	-----*-----			
\bar{x}	0,95	1,06	0,83	0,73
s	0,180	0,219	0,110	0,266
Min	0,70	0,70	0,55	0,31
Max	1,29	1,33	0,97	1,24
n	12	12	8	12
	Horizont A _{he}			
\bar{x}	0,15	0,17	0,22	0,15
s	0,067	0,071	0,119	0,058
Min	0,10	0,09	0,09	0,08
Max	0,31	0,32	0,57	0,26
n	12	10	6	12
	Horizont B ₂ (+AE)			
	-----*-----			
\bar{x}	0,07	0,10	0,07	0,04
s	0,028	-	0,025	0,015
Min	0,03	-	0,05	0,03
Max	0,10	-	0,10	0,07
n	6	1	3	7
	Horizont BC			
\bar{x}	0,04	0,08	-	0,04
s	0,019	-	-	0,018
Min	0,01	-	-	0,03
Max	0,06	-	-	0,07
n	5	1	-	4

Tab.7.6.2: Silz, N - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
	-----*-----			
\bar{x}	836	1.266	605	669
s	299	555	362	281
Min	571	558	177	307
Max	1.485	2.349	1.349	1.166
n	12	12	8	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	1.232	-	-	942
Min	722	-	-	249
Max	3.444	-	-	1.270

7.1.7 C-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus nimmt der C-Gehalt und damit der Gehalt an organischer Substanz in der Periode 1968–1983 kontinuierlich ab, allerdings statisch ungesichert (s.Abb.7.12). Im A_{he} -Horizont bleibt der Wert von 5% über 15 Jahre nahezu unverändert (s.Tab.7.7.1).

Auch bei der C-Menge (s.Abb.7.13) ist von 1968 bis 1983 im Auflagehumus ein sehr hoher und signifikanter Verlust um 14t/ha, d.i. ca. 24t organische Substanz eingetreten. Für den Mineralboden liegt die C-Menge nur vom Beprobungsjahr 1983 vor (s.Tab.7.7.2).

Abb.7.12: C - Gehalt

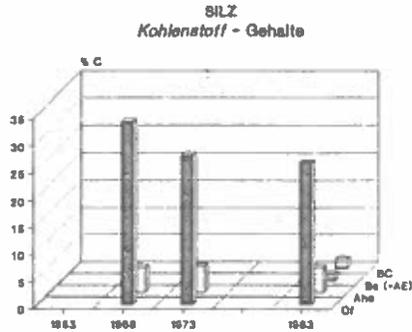
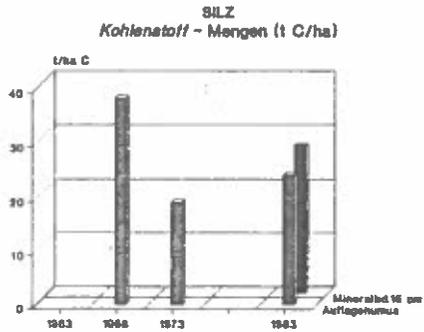


Abb.7.13: C - Menge



Tab.7.7.2: Silz, C - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	38.327	19.167	24.017
s	-	13.256	9.850	7.723
Min	-	22.599	5.750	14.091
Max	-	57.830	34.398	39.386
n	-	12	8	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	-	-	-	27.391
Min	-	-	-	8.714
Max	-	-	-	32.460

Tab.7.7.1: Silz, C - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	-	33,77	27,58	26,33
s	-	7,963	5,783	7,324
Min	-	15,7	15,7	15,7
Max	-	44,3	36,6	41,9
n	-	11	8	12
Horizont A _{he}				
\bar{x}	-	4,76	5,02	4,71
s	-	1,091	1,185	1,324
Min	-	3,0	3,0	2,8
Max	-	6,2	7,3	7,1
n	-	10	6	12
Horizont B _s (+AE)				
\bar{x}	-	-	3,0	1,23
s	-	-	-	0,287
Min	-	-	-	0,9
Max	-	-	-	1,8
n	-	-	1	7
Horizont BC				
\bar{x}	-	-	-	1,85
s	-	-	-	2,768
Min	-	-	-	0,4
Max	-	-	-	6,0
n	-	-	-	4

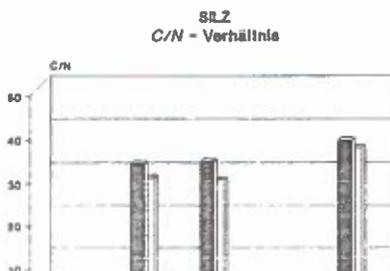
7.1.8 C/N-Verhältnis

Im Auflagehumus weitet sich das C/N-Verhältnis von 34 auf 39 in der Periode 1968-1983 und bleibt somit stets im Bereich eines Rohhumus (s.Tab.7.8).

Auch im A_{he}-Horizont weitet sich das C/N-Verhältnis von 28 auf 35 (s.Abb.7.14). Diese Veränderungen sind jedoch statistisch nicht gesichert.

Die Weitung des C/N-Verhältnisses läßt auf Verminderung der mikrobiellen Tätigkeit und gehemmte Humusentwicklung schließen.

Abb.7.14: C/N - Verhältnis



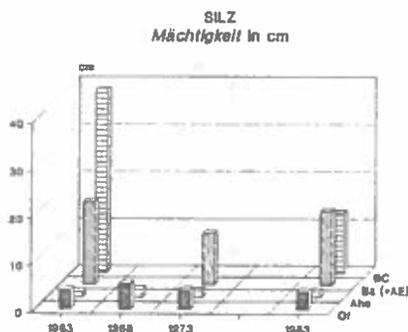
Tab.7.8: Silz, C/N - Verhältnis

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	33,67	34,25	39,08
s	-	4,075	1,422	10,492
Min	-	25	32	29
Max	-	40	36	55
n	-	12	8	12
		Horizont A _{he}		
\bar{x}	-	28,00	27,58	34,92
s	-	4,843	11,564	11,874
Min	-	18	5	19
Max	-	35	36	56
n	-	10	6	12

7.1.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

Die Mächtigkeit des Auflagehumus bleibt über 20 Jahre annähernd gleich bei 4cm, nur im Jahr 1968 ist sie um 35% angestiegen (s.Abb.7.15). Im A_{he}-Horizont variiert die Mächtigkeit über zwei Dezennien (s.Tab.7.9), wobei N- und C-Konzentrationen mitschwanken. Nur der Fe₂O₃-Gehalt nimmt stetig und höchst signifikant ab (s.Tab.7.10).

Abb.7.15: Mächtigkeit in cm



Tab.7.9: Silz, Mächtigkeit in cm

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	4,0	5,3	4,0	3,8
s	0,739	1,371	1,073	1,055
Min	3,0	3,0	2,0	2,0
Max	6,0	7,0	6,0	6,0
n	12	12	8	12
		Horizont A _{hc}		
\bar{x}	1,1	1,6	1,4	1,2
s	0,289	0,639	0,623	0,389
Min	1,0	1,0	1,0	1,0
Max	2,0	3,0	3,0	2,0
n	12	10	6	12
		Horizont B _s (+AE)		
\bar{x}	17,5	9,0	11,0	15,6
s	1,225	-	6,083	5,593
Min	15,0	-	7,0	3,0
Max	18,0	-	18,0	18,0
n	6	1	3	7
		Horizont BC		
\bar{x}	38,6	20,0	-	12,8
s	2,191	-	-	4,573
Min	35,0	-	-	8,0
Max	40,0	-	-	18,0
n	5	1	-	4

Tab.7.10: Silz, Fe₂O₃ - Gehalte in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,67	0,75	0,77	0,63
s	0,180	0,266	0,149	0,157
Min	0,39	0,44	0,62	0,35
Max	0,91	1,25	1,14	0,95
n	12	12	8	12
		Horizont A _{hc} (*)		
\bar{x}	1,32	1,22	1,23	0,95
s	0,171	0,300	0,148	0,174
Min	1,10	0,40	0,85	0,66
Max	1,60	1,60	1,43	1,21
n	12	10	6	12
		Horizont B _s (+AE) (*)		
\bar{x}	1,56	2,30	1,61	1,36
s	0,159	-	0,180	0,205
Min	1,32	-	1,43	1,13
Max	1,84	-	1,79	1,67
n	6	1	3	7
		Horizont BC		
\bar{x}	1,34	2,24	-	1,36
s	0,450	-	-	0,369
n	6	1	-	1,02

7.2 Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden

Tab.7.11: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Bodenparametern der Versuchsfläche Silz

Element	Horizont	n	r	Signifikanz
N	O	24	0,036	
	Ahe	24	0,310	
	Bs(+AE)	24	-0,015	
	BC	20	-0,203	
P ₂ O ₅	O	24	0,469	*(*)
	Ahe	24	0,443	*
	Bs(+AE)	24	0,107	
	BC	20	0,240	
K ₂ O	O	24	0,120	
	Ahe	24	0,110	
	Bs(+AE)	24	0,501	**
	BC	20	0,424	*
CaO	O	24	0,098	
	Ahe	24	0,604	***
	Bs(+AE)	24	0,520	**
	BC	20	0,067	
MgO	O	24	-0,250	
	Ahe	24	-0,384	*
	Bs(+AE)	24	-0,271	
	BC	20	-0,148	

Tab.7.12: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Elementvorräten im Boden der Versuchsfläche Silz

Element	Profil	r	Signifikanz
N	Auflagehumus	0,031	
	Mineralboden bis 15 cm	0,293	
P ₂ O ₅	Auflagehumus	0,256	
	Mineralboden bis 15 cm	0,028	
K ₂ O	Auflagehumus	0,069	
	Mineralboden bis 15 cm	0,579	**(*)
CaO	Auflagehumus	-0,107	
	Mineralboden bis 15 cm	0,396	*
MgO	Auflagehumus	0,201	
	Mineralboden bis 15 cm	0,389	*

7.2.1 Stickstoff

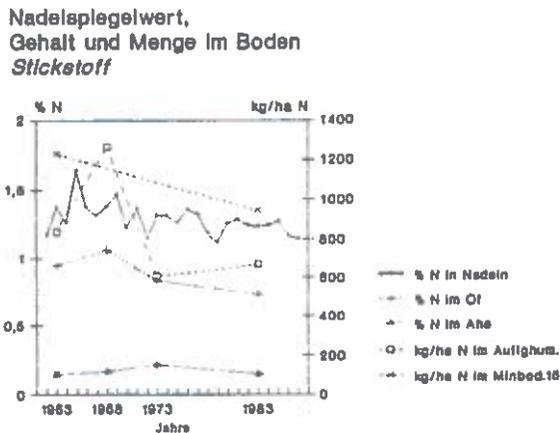
7.2.1.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Zwischen Nadelspiegelwerten und Nähr элементgehalten im Boden bestehen keine signifikanten Beziehungen (s.Tab.7.11 und 7.12).

7.2.1.2 Graphischer Vergleich der Trends

Mit wenigen Ausnahmen liegt der Nadelspiegelwert stets unter dem Grenzwert für ausreichende N-Versorgung, oft sogar im Mangelbereich. Die Tendenz der N-Gehalte in den Nadeln ist fallend. Die Kurven der N-Gehalte im Boden – auch die der N-Menge im Mineralboden – laufen deutlich parallel, sogar der peak der Nadelwerte am Anfang der Beobachtungsperiode wird mit Verzögerung zuerst im Auflagehumus und abgeschwächt später im A_{he} -Horizont reflektiert (s.Abb.7.16).

Abb.7.16: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Stickstoff



7.2.2 Phosphor

7.2.2.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Eine signifikante Beziehung zu den Nadelspiegelwerten besteht nur beim P_2O_5 -Gehalt im Auflagehumus und A_{he} -Horizont. Die Schwankungen der P-Nadelgehalte können zu 22% bzw. 19% aus den Schwankungen der P_2O_5 -Gehalte im Auflagehumus bzw. A_{he} -Horizont erklärt werden.

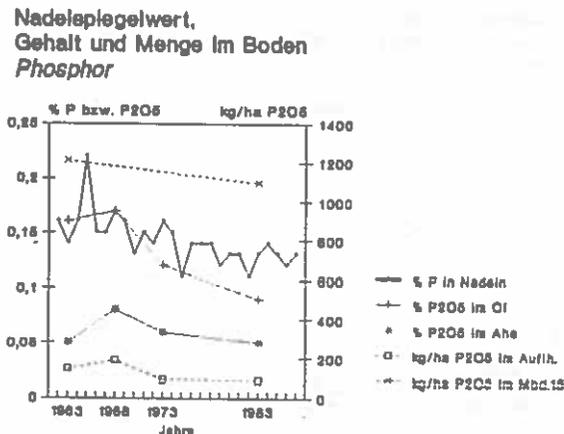
Ansonsten bestehen nur geringfügige, nicht gesicherte positive Beziehungen (s.Tab.7.11 und 7.12).

7.2.2.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte sinken nach einem Maximum 1965 kontinuierlich (s.Abb.7.17). Sie schwanken bis 1975 oberhalb der Grenze für "ausreichend versorgt", danach liegen sie im Übergangsbereich zum Mangel.

Mit Ausnahme der P_2O_5 -Menge im Mineralboden zeigen die P-Werte des Bodens einen ähnlichen Verlauf, wobei das Maximum der Nadelspiegelwerte etwas verzögert im Boden auftritt.

Abb.7.17: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Phosphor



7.2.3 Kalium

7.2.3.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Im Auflagehumus und A_{he} -Horizont besteht mit den Nadelspiegelwerten keine Korrelation. Eine positive statistisch gesicherte Beziehung ergibt sich jedoch für die $B_g(+AE)$ - und BC-Horizonte. Die K_2O -Menge im Mineralboden korreliert sogar hoch signifikant mit den Nadelspiegelwerten (s.Tab.7.11 und 7.12).

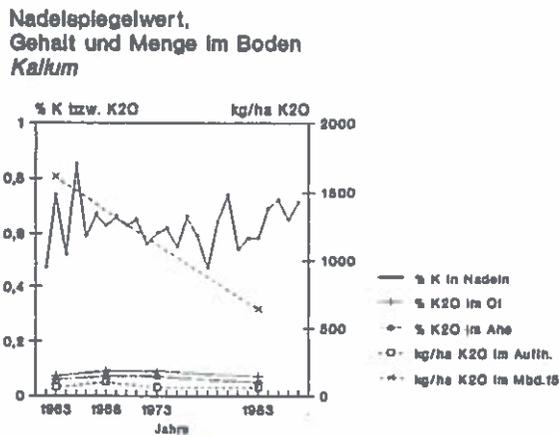
Die Streuungen der K-Nadelgehalte können danach zu 25% bzw. 18% aus den K_2O -Gehalten im $B_g(+AE)$ - bzw. BC-Horizont erklärt werden; zur K_2O -Menge im Mineralboden beträgt das Bestimmtheitsmaß 34%.

7.2.3.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Versorgung der Nadeln mit K ist gut; die Tendenz ist gleichbleibend (s.Abb.7.18).

Im Mineralboden nimmt die K_2O -Menge ab; sonst sind die Bodenkennwerte für K ebenfalls gleichbleibend. Ein korrelierender Trend ist daraus allerdings kaum abzuleiten.

Abb.7.18: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Kalium



7.2.4 Calcium

7.2.4.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

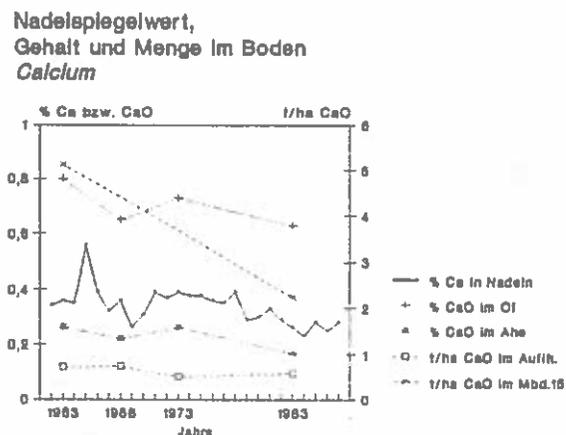
Höchst bzw. hoch gesicherte, positive Zusammenhänge bestehen zwischen Nadelspiegelwerten und A_{he} -Horizont bzw. $B_s(+AE)$ -Horizont; auch zur CaO-Menge im Mineralboden besteht eine gesicherte Korrelation; sonst sind keine Beziehungen erkennbar (s.Tab.7.11 und 7.12).

Das Bestimmtheitsmaß zu den Gehalten in A_{he} und $B_s(+AE)$ beträgt 36% bzw. 27%, zur CaO-Menge im Mineralboden allerdings nur 16%.

7.2.4.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte nehmen langsam ab (s.Abb.7.19); sie schwanken um den Bereich der ausreichenden Versorgung. Die Bodenkennwerte für Ca (mit Ausnahme der CaO-Menge im Auflagehumus) spiegeln diese Tendenz recht gut wider.

Abb.7.19: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Calcium



7.2.5 Magnesium

7.2.5.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Zu allen MgO-Gehalten im Boden bestehen negative Beziehungen der Nadelspiegelwerte, wobei nur die Korrelation zum A_{he} -Horizont statistisch gesichert ist (s.Tab.7.11 und 7.12). Die Schwankungen der Mg-Nadelgehalte lassen sich damit zu 14% aus Schwankungen der MgO-Gehalte im A_{he} -Horizont erklären.

Zur MgO-Menge im Mineralboden ist der Korrelationskoeffizient allerdings positiv und ebenfalls signifikant. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 15%.

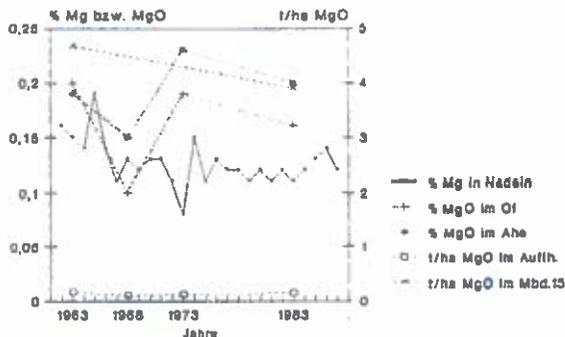
7.2.5.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadeln sind mit Ausnahme eines einzigen Nadelspiegelwertes ausreichend mit Mg versorgt; die Tendenz ist zu Beginn abnehmend (s.Abb.7.20).

Eine Beziehung mit den Veränderungen im Boden ist allenfalls bei der starken Abnahme bis 1968 erkennbar, jedoch insgesamt eher unsicher.

Abb.7.20: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Magnesium

Nadelspiegelwert,
Gehalt und Menge im Boden
Magnesium



8 Versuchsfläche Unterangerberg (406)

Versuchs- und Standortsbeschreibung:

Erstaufnahme: 9. Mai 1963

Wiederholungsaufnahmen: 1968; 23.10.1973; 20.7.1983

Teilflächengröße: Meßfläche 6x 600m²,
Behandlungsfläche 6x ca.1500m²

Eigentümer:

Wuchsraum 12: Nördliche Zentralalpen - Westteil
(zwischenalpines Fi-Ta-Waldgebiet)

Klima: Niederschlag (Kirchbichl) ... 1154mm/Jahr
Temperatur (Kirchbichl) ... Jänner -2,3°C
Juli 16,5°C ... Jahr 7,4°C

Lage: 650 m, ebene Lage auf Schotterkörper

Natürliche Waldgesellschaft: Oxalis-reicher Ta-Fi-(Bu)-Wald

Aktueller Bestand: Fi-Baumholz

Alter zu Versuchsbeginn: 45 Jahre

Bodenvegetation: *Vaccinium myrtillus* (teilweise 50cm hoch), *Aira flexuosa*, *Polytrichum formosum*, *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum*, *Rhamnus frangula*

Grundgestein: Kalkfreies Schottermaterial in ziemlich bindigem
Feinboden, daher meist Stauwasser (Grundwasser)

Boden: uneinheitlich, vergleyte podsolige Braunerde bis Gley-
podsol (in Mulde). Am Nordrand der Fläche ist die Ver-
gleyung geringer.

Profilaufbau:

O _{1+f}	5 - 0cm	Nadelstreu und Moosdecke, etwas plattig gelagert
A _{eh}	0 - 1cm	humoser, sandiger Lehm, locker, schwarz, stark durchwurzelt
AE	1 - 6cm	humoser, sandiger Lehm, etwas dicht gela- gert, schwache Ausbleichung und Humusin- filtrate, violettbraun (7,5YR3/2), stark durchwurzelt
B _s	6 - 25cm	lehmiger Schluff, blockige Struktur, mäßig dicht gelagert, schwache Anreiche- rung, braun (10YR4/3)
B _g	25 - 60cm	lehmiger Schluff, blockig, dicht, plas- tisch, feucht, braun (10YR4/4) rost- fleckig, Wurzeln auslaufend
G	60 - 100cm	lehmiger Schluff, dicht, kein Grobanteil, feucht, stark fleckig mit überwiegend Reduktionsfarben (2,5Y5/2 und 10YR4/4), nicht durchwurzelt
D	ab 100cm	Schotter in Sand gepackt, naß

Die übliche Probenzahl wird bei dieser Versuchsfläche nicht erreicht, da bei eingehender Überprüfung der Analysenwerte auf einzelnen Probenpunkten der O-Fläche ein Düngungseinfluß nicht auszuschließen ist. Nachforschungen ergaben, daß ein Teil des Bestandes bereits 5-10 Jahre vor Anlage des Düngungsversuches im Jahre 1963 gekalkt worden ist. Aus diesem Grund verbleiben nur 4 Profile, die als vermutlich unbeeinflusst angesehen werden können.

8.1 Veränderungen im Boden

8.1.1 pH-Wert (nach STÖHR, 1984)

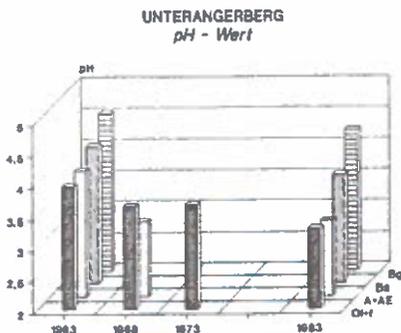
Im gesamten Profil nimmt der pH-Wert im 20-jährigen Beobachtungszeitraum um 0,3 bis 0,8 pH-Stufen ab. Im Auflagehumus verläuft diese Abnahme kontinuierlich von 4,0 auf 3,3.

Im A+AE-Horizont sinkt der pH-Wert in den ersten 5 Jahren von 4,0 auf 3,2 und bleibt während der nächsten 15 Jahre konstant (s.Tab.8.1).

In den tieferen Bodenhorizonten bedeutet die pH-Abnahme ein in die Tiefe fortschreitendes Ausbreiten des Al- und Al-Fe- Pufferbereiches (s.Abb.8.1).

Die Veränderungen können wegen der geringen Probenzahl nicht statistisch belegt werden.

Abb.8.1: pH - Wert



Tab.8.1: Unterangerberg, pH - Wert

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	3,95	3,63	3,65	3,28
s	0,889	0,411	0,289	0,150
Min	3,1	3,1	3,3	3,1
Max	5,2	4,1	4,0	3,4
n	4	4	4	4
		Horizont A+AE		
\bar{x}	4,0	3,2	3,3	3,2
s	0,548	0,082	-	0,245
Min	3,6	3,1	-	3,0
Max	4,8	3,3	-	3,5
n	4	4	1	4
		Horizont B _s		
\bar{x}	4,20	3,30	-	3,73
s	0,361	-	-	0,222
Min	3,8	-	-	3,5
Max	4,5	-	-	4,0
n	3	1	-	4
		Horizont B _g		
\bar{x}	4,53	-	-	4,25
s	0,289	-	-	0,058
Min	4,2	-	-	4,2
Max	4,7	-	-	4,3
n	3	-	-	4

8.1.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

Nach einer anfänglichen geringen Zunahme sinkt der P₂O₅-Gehalt in der Periode 1968-1983 im Auflagehumus höchst signifikant um 0,05% ab (s.Tab.8.2.1). In den Mineralbodenhorizonten sind keine statistisch gesicherten Veränderungen eingetreten, doch ist ein undeutlich negativer Trend erkennbar (s.Abb.8.2).

Die P₂O₅-Menge nimmt im Auflagehumus zunächst auf 530kg/ha zu und in den folgenden 15 Jahren kontinuierlich unter den Ausgangswert ab. Im Mineralboden bleibt die P₂O₅-Menge über den gesamten Versuchszeitraum annähernd gleich (s.Abb.8.3 und Tab.8.2.2).

Die Gesamt-P₂O₅-Menge von 950kg/ha bis 15cm Mineralboden incl. Auflagehumus ist im Versuchszeitraum 1963-1983 mit -26kg/ha nahezu gleich geblieben.

Abb.8.2: P₂O₅ - Gehalt

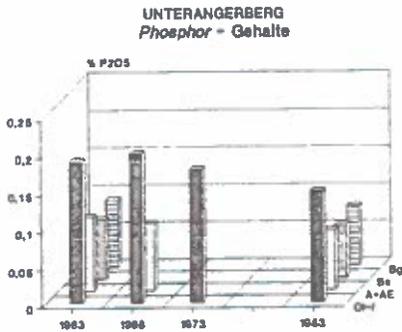
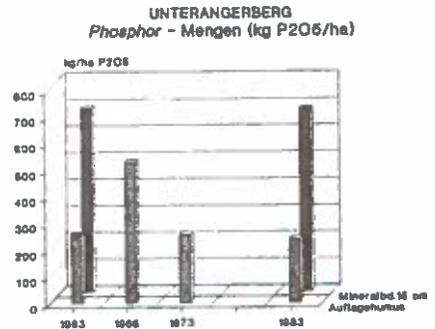


Abb.8.3: P₂O₅ - Menge



Tab.8.2.1: Unterangerberg, P₂O₅ - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
	----- (***) -----			
	----- (***) -----			
\bar{x}	0,19	0,20	0,18	0,15
s	0,019	0,029	0,065	0,024
Min	0,18	0,18	0,10	0,13
Max	0,22	0,24	0,24	0,18
n	4	4	4	4
	Horizont A+AE			
\bar{x}	0,10	0,09	0,09	0,08
s	0,031	0,010	-	0,014
Min	0,05	0,07	-	0,07
Max	0,12	0,09	-	0,10
n	4	4	1	4
	Horizont B _s			
\bar{x}	0,08	0,07	-	0,07
s	0,015	-	-	0,013
Min	0,06	-	-	0,05
Max	0,09	-	-	0,08
n	3	1	-	4
	Horizont B _g			
\bar{x}	0,09	-	-	0,08
s	0,032	-	-	0,019
Min	0,06	-	-	0,07
Max	0,13	-	-	0,11
n	3	-	-	4

Tab.8.2.2: Unterangerberg, P_2O_5 - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	258	530	257	238
s	152	300	104	88
Min	59	353	158	151
Max	412	976	396	352
n	4	4	4	4
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	692	-	-	686
Min	526	-	-	418
Max	982	-	-	825

8.1.3 K_2O -Gehalt und -Menge

Sowohl im Auflagehumus als auch im A+AE-Horizont bleibt die K_2O -Konzentration im ersten Dezennium etwa gleich und nimmt im zweiten auf die Hälfte ab. Die Gesamtabnahme von 1963 und 1967 auf 1983 ist dabei signifikant. Auch der B_g - und B_g -Horizont zeigen eine sinkende Tendenz des K_2O -Gehaltes über 20 Jahre, jedoch ungesichert (s.Abb.8.4 und Tab.8.3.1).

Die K_2O -Menge nimmt im ersten 5-jährigen Abschnitt im Auflagehumus um fast 100kg/ha zu, danach kontinuierlich aber ungesichert auf nur 80kg/ha ab (s.Abb.8.5). In 15cm Mineralboden errechnet sich in 20 Jahren ein Verlust von - ebenfalls ungesichert - 530kg/ha (s.Tab.8.3.2).

Bei der Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus ergäbe sich demnach eine Verminderung um etwas mehr als die Hälfte.

Tab.8.3.2: Unterangerberg, K_2O - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	127	220	146	80
s	86	147	88	30
Min	26	103	74	42
Max	202	434	264	108
n	4	4	4	4
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	917	-	-	385
Min	775	-	-	179
Max	1.297	-	-	544

Abb.8.4: K₂O - Gehalt

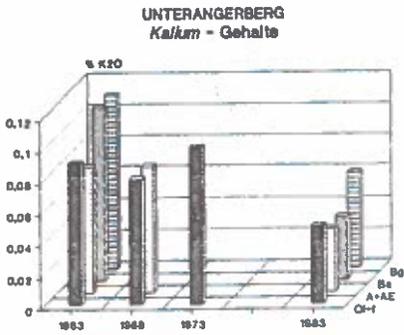
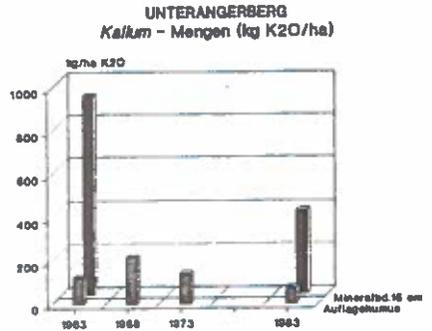


Abb.8.5: K₂O - Menge



Tab.8.3.1: Unterangerberg, K₂O - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,09	0,08	0,10	0,05
s	0,014	0,008	0,044	0,005
Min	0,08	0,08	0,06	0,04
Max	0,11	0,09	0,16	0,05
n	4	4	4	4
Horizont A+AE				
\bar{x}	0,08	0,08	0,07	0,04
s	0,017	0,016	-	0,010
Min	0,05	0,06	-	0,03
Max	0,09	0,10	-	0,05
n	4	4	1	4
Horizont B _s				
\bar{x}	0,11	0,08	-	0,04
s	0,042	-	-	0,005
Min	0,06	-	-	0,03
Max	0,15	-	-	0,04
n	3	1	-	4
Horizont B _g				
\bar{x}	0,11	-	-	0,06
s	0,045	-	-	0,014
Min	0,04	-	-	0,04
Max	0,13	-	-	0,07
n	3	-	-	4

8.1.4 CaO-Gehalt und -Menge

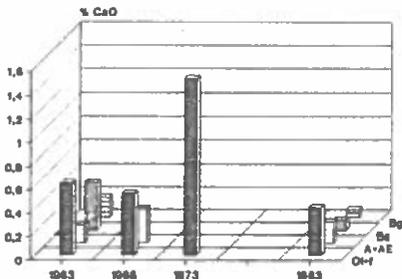
Die Werte streuen sehr stark. Insbesondere gibt es wenige, aber sehr hohe Einzelwerte, welche das Mittel unproportional beeinflussen - die Verteilung ist dadurch linksschief. Dies dürften v.a. 1963 gestörte - Ca-beeinflußte? - Punkte sein, was sich auch in gleichlaufenden Ausreißern des pH-Wertes niederschlägt. Die generell hohen, aber vom Großmittel stark abweichenden Werte 1973 könnten möglicherweise auf den erwähnten systematischen Analysefehlern beruhen. Der Trend des Ca-Haushaltes dieser generell inhomogenen Fläche ist daher besonders vorsichtig zu beurteilen und auch ohne jede statistische Absicherung. Abgesehen von dem Ausreißer im Jahre 1973 nehmen die CaO-Gehalte im Auflagehumus über den Gesamtzeitraum kontinuierlich ab. Im A+AE-Horizont schwanken die CaO-Konzentrationen stark und erreichen zuletzt etwa den Ausgangswert. Die Mittelwerte im B₆-Horizont lassen keine Aussage zu (s.Abb.8.6 und Tab.8.4.1).

Die CaO-Menge schwankt dementsprechend beträchtlich. Im Auflagehumus steigt sie im 1. Dezennium stark an und sinkt in den folgenden 10 Jahren wieder fast auf ein Viertel. Die Enddifferenz beträgt minus 500kg/ha. Im mineralischen Oberboden nimmt die CaO-Menge über 20 Jahre kontinuierlich ab. Man beachte jedoch die Unterschiede der Minima und Maxima. Die aus den streuenden Analysendaten hochgerechneten Beträge sind nur schein genau und ohne Aussage (s.Abb.8.7 und Tab.8.4.2).

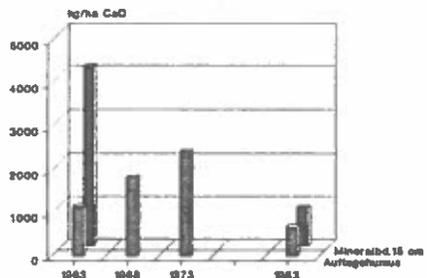
Abb.8.6: CaO - Gehalt

Abb.8.7: CaO - Menge

UNTERANGERBERG
Calcium - Gehalte



UNTERANGERBERG
Calcium - Mengen (kg CaO/ha)



Tab.8.4.1: Unterangerberg, CaO - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,62	0,53	1,50	0,41
s	0,960	0,347	1,048	0,061
Min	0,04	0,11	0,65	0,33
Max	2,04	0,93	2,80	0,48
n	4	4	4	4
		Horizont A+AE		
\bar{x}	0,15	0,29	1,20	0,18
s	0,094	0,256	-	0,087
Min	0,04	0,05	-	0,12
Max	0,23	0,65	-	0,31
n	4	4	1	4
		Horizont B ^s		
\bar{x}	0,41	0,05	-	0,09
s	0,424	-	-	0,033
Min	0,05	-	-	0,05
Max	1,02	-	-	0,13
n	3	1	-	4
		Horizont B ^g		
\bar{x}	0,17	-	-	0,07
s	0,143	-	-	0,013
Min	0,04	-	-	0,06
Max	0,34	-	-	0,09
n	3	-	-	4

Tab.8.4.2: Unterangerberg, CaO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1.164	1.845	2.440	689
s	2.173	2.181	2.070	320
Min	42	162	598	403
Max	4.423	5.041	5.149	1.084
n	4	4	4	4
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	4.144	-	-	892
Min	1.579	-	-	550
Max	9.527	-	-	1.120

8.1.5 MgO-Gehalt und -Menge

Angesichts der geringen Probenzahl und der weiten Streuung sind auch die MgO-Daten nur sehr bedingt aussagefähig. Ein Mittelwert aus 4 Proben bei Extremen von 0,02 und 0,60% spricht wohl gegen sich selbst.

Im Auflagehumus und im A+AE-Horizont bleibt die mittlere MgO-Konzentration nach 20 Jahren annähernd gleich, allerdings nach beachtlichen Schwankungen zu den Zwischenterminen (s.Abb.8.8). Der Anstieg des MgO-Gehaltes im B_g-Horizont über den gesamten Versuchszeitraum ist allerdings hoch signifikant (s.Tab.8.5.1).

Bei der MgO-Menge im Auflagehumus ergäbe sich daraus eine Steigerung innerhalb von 5 Jahren von 260kg/ha auf 800kg/ha, anschließend eine Abnahme in 15 Jahren auf 367kg/ha (s.Abb.8.9). Der MgO-Zuwachs von 2,7t/ha auf 4,4t/ha im Mineralboden innerhalb von 20 Jahren (s.Tab.8.5.2) bedarf jedoch dringender Vorbehalte.

Abb.8.8: MgO - Gehalt

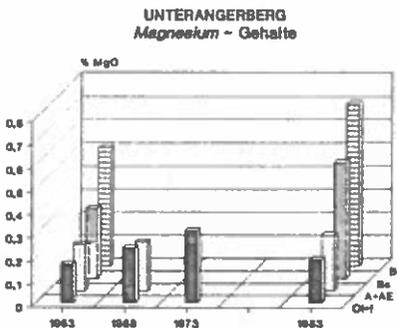
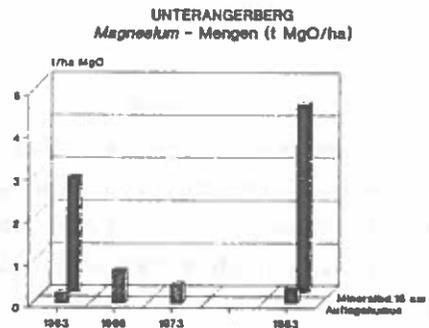


Abb.8.9: MgO - Menge



Tab.8.5.2: Unterangerberg, MgO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
	Aufagehumus			
\bar{x}	259	795	458	367
s	259	896	186	266
Min	21	74	331	76
Max	520	1.951	732	614
n	4	4	4	4
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	2 600	-	-	4 300

Tab.8.5.1: Unterangerberg, MgO - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,17	0,24	0,31	0,19
s	0,104	0,231	0,053	0,094
Min	0,02	0,05	0,25	0,09
Max	0,24	0,51	0,36	0,31
n	4	4	4	4
Horizont A+AE				
\bar{x}	0,20	0,21	0,37	0,24
s	0,103	0,266	-	0,100
Min	0,08	0,02	-	0,14
Max	0,32	0,60	-	0,38
n	4	4	1	4
Horizont B				
*** (*) ³				
\bar{x}	0,30	0,05	-	0,50
s	0,122	-	-	0,103
Min	0,23	-	-	0,40
Max	0,48	-	-	0,64
n	3	1	-	4
Horizont B _g				
\bar{x}	0,51	-	-	0,70
s	0,149	-	-	0,116
Min	0,32	-	-	0,61
Max	0,64	-	-	0,86
n	3	-	-	4

8.1.6 N-Gehalt und -Menge

Die N-Konzentration im Auflagehumus steigt in den ersten 5 Jahren von 1,33% auf 1,45% und sinkt danach hoch signifikant unter den Ausgangswert auf 1,08% ab (s.Abb.8.10). Beim A+AE-Horizont ergibt sich nach einer anfänglichen Abnahme und starker Streuung über den Versuchszeitraum von 20 Jahren eine Zunahme des N-Gehaltes von 0,55% auf 0,74% (s.Tab.8.6.1).

Auch die N-Menge im Auflagehumus verdoppelt sich in den ersten 5 Jahren und sinkt in den folgenden 15 Jahren annähernd auf den Ausgangswert (s.Abb.8.11). Im Mineralboden nimmt die N-Menge um rund 680kg/ha zu (s.Tab.8.6.2).

Die Gesamtbilanz über den 20-jährigen Beobachtungszeitraum ist für den Mineralboden incl. Auflagehumus mit 720kg/ha positiv.

Abb.8.10: N - Gehalt

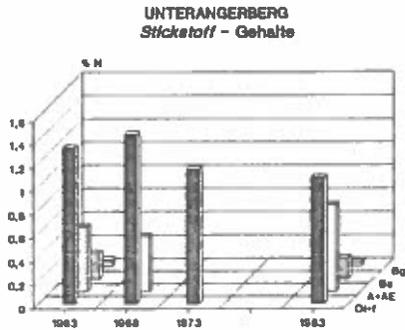


Abb.8.11: N - Menge



Tab.8.6.1: Unterangerberg, N - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1,33	1,45	1,15	1,08
s	0,461	0,318	0,331	0,328
Min	1,01	1,11	0,67	0,79
Max	2,00	1,85	1,44	1,54
n	4	4	4	4
		Horizont A+AE		
\bar{x}	0,55	0,47	0,36	0,74
s	0,358	0,123	-	0,660
Min	0,17	0,32	-	0,35
Max	0,89	0,62	-	1,73
n	4	4	1	4
		Horizont B _s		
\bar{x}	0,22	0,32	-	0,18
s	0,093	-	-	0,053
Min	0,14	-	-	0,12
Max	0,33	-	-	0,22
n	3	1	-	4
		Horizont B _g		
\bar{x}	0,06	-	-	0,04
s	0,044	-	-	0,037
Min	0,00	-	-	0,00
Max	0,10	-	-	0,08
n	3	-	-	4

Tab.8.6.2: Unterangerberg, N - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1.658	3.802	1.656	1.704
s	839	2.236	560	538
Min	409	2.198	1.150	1.294
Max	2.190	7.100	2.376	2.493
n	4	4	4	4
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	2.131	-	-	2.806
Min	1.050	-	-	1.549
Max	3.643	-	-	6.191

8.1.7 C-Gehalt und -Menge

In den letzten 15 Jahren, für welche C-Analysen vorliegen, sank der mittlere C-Gehalt im Auflagehumus von 35% auf 26%, allerdings ohne statistische Absicherung. Die C-Konzentration im A+AE-Horizont steigt im Versuchszeitraum über den Ausgangswert auf 12% an (s.Abb.8.12 und Tab.8.7.1).

Im Jahre 1968 beträgt die C-Menge im Auflagehumus 98t/ha, sie vermindert sich auf 32t/ha innerhalb von 5 Jahren und steigt im folgenden Dezennium wieder auf 39t/ha an (s.Abb.8.13 und Tab.8.7.2). Diese gewaltige Differenz ist wegen der starken Streuung unsicher und weicht sicherlich stark vom wahren Wert ab. Sie ist aber vor allem in einer kräftigen Zunahme der Auflagemenge von 1963 bis 1968 begründet, wie aus dem gleichzeitigen Anstieg von N und der mittleren Horizontmächtigkeit hervorgeht. In dieses Maximum fällt die erste C-Analyse. Danach sinkt nicht nur die Menge an C und N, sondern auch die Konzentration.

Da für die Jahre 1968 und 1973 keine brauchbaren C-Mengen im oberen Mineralboden vorhanden sind, kann keine Trendaussage getroffen werden.

Abb.8.12: C - Gehalt

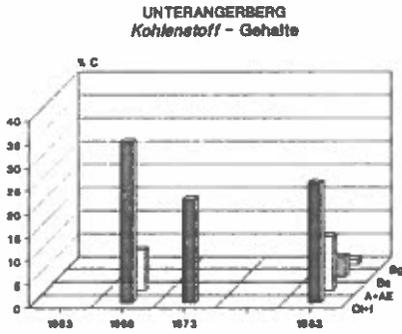
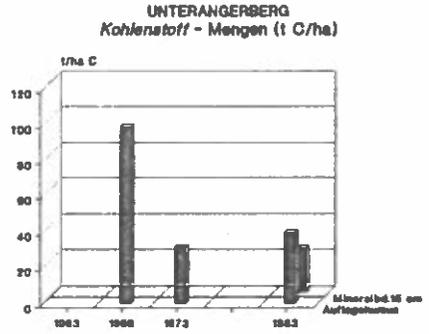


Abb.8.13: C - Menge



Tab.8.7.1: Unterangerberg, C - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	34,85	22,15	25,80
s	-	8,778	7,392	10,814
Min	-	21,9	11,7	18,1
Max	-	41,3	28,4	41,7
n	-	4	4	4
		Horizont A+AE		
\bar{x}	-	8,75	7,2	11,58
s	-	2,813	-	4,091
Min	-	4,7	-	8,6
Max	-	11,2	-	17,6
n	-	4	1	4
		Horizont B _s		
\bar{x}	-	5,80	-	4,45
s	-	-	-	1,002
Min	-	-	-	3,0
Max	-	-	-	5,0
n	-	1	-	4
		Horizont B _g		
\bar{x}	-	-	-	1,25
s	-	-	-	0,580
Min	-	-	-	0,50
Max	-	-	-	1,80
n	-	-	-	4

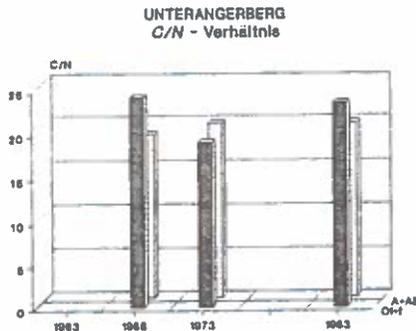
Tab.8.7.2: Unterangerberg, C - Menge in kg/ha

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	98.433	31.525	39.373
s	-	76.307	10.889	10.189
Min	-	43.362	23.520	32.154
Max	-	209.754	46.860	54.471
n	-	4	4	4
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	-	-	-	24.694
Min	-	-	-	38.705
Max	-	-	-	89.668

8.1.8 C/N-Verhältnis

Im Zeitraum 1968-1973 verengt sich das C/N-Verhältnis im Auflagehumus von 24 auf 19 und weitet sich im folgenden Dezennium fast wieder auf den Ausgangswert (s.Abb.8.14). Diese Veränderungen sind statistisch nicht gesichert, bestätigen aber die aus den C-Mengen abgeleitete Tendenz der Humusumwandlung. Im A+AE-Horizont bleibt das C/N-Verhältnis annähernd konstant (s.Tab.8.8).

Abb.8.14: C/N - Verhältnis



Tab.8.8: Unterangerberg, C/N - Verhältnis

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	24,15	19	23,50
s	-	5,058	1,826	2,381
Min	-	20	17	22
Max	-	30	21	27
n	-	4	4	4
		Horizont A+AE		
\bar{x}	-	18,75	20	20
s	-	3,862	-	6,782
Min	-	15	-	10
Max	-	23	-	25
n	-	4	1	4

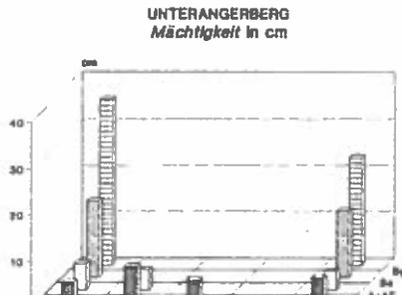
8.1.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

In der Periode 1963-1968 nimmt die Mächtigkeit des Auflagehumus um fast das Doppelte zu (s.Abb.8.15); gleichzeitig verringert sich der Fe₂O₃-Gehalt (s.Tab.8.10) und steigt der C- und N-Gehalt. Nach weiteren 5 Jahren sinkt die Humusmächtigkeit wieder auf 4,8cm ab. Im folgenden Dezennium bleibt die Humusmächtigkeit etwa konstant (s.Tab.8.9).

Der A+AE-Horizont wird im ersten Dezennium eher geringmächtiger und bleibt danach etwa gleich. Der Fe₂O₃-Gehalt des A+AE-Horizontes ist 1983 höchst signifikant niedriger als im Jahr 1968; N- und C-Gehalt steigen gleichzeitig an.

Daraus könnte eine fortschreitende (Fe-)Auswaschung, aber auch ein Humusaufbau im Mineralboden abgeleitet werden.

Abb.8.15: Mächtigkeit in cm



Tab.8.9: Unterangerberg, Mächtigkeit in cm

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	4,5	8,0	4,8	5,3
s	2,887	1,826	0,500	0,957
Min	1,0	6,0	4,0	4,0
Max	8,0	10,0	5,0	6,0
n	4	4	4	4
		Horizont A+AE		
\bar{x}	5,8	4,5	3,8	4,3
s	4,349	1,915	-	0,957
Min	2,0	3,0	-	3,0
Max	12,0	7,0	-	5,0
n	4	4	1	4
		Horizont B _s		
\bar{x}	16,7	2,0	-	14,5
s	2,082	-	-	4,509
Min	15	-	-	9,0
Max	19	-	-	20,0
n	3	1	-	4
		Horizont B _g		
\bar{x}	36,0	-	-	23,3
s	13,528	-	-	4,113
Min	23,0	-	-	18,0
Max	50	-	-	28
n	3	-	-	4

Tab.8.10: Unterangerberg, Fe₂O₃ - Gehalt in %

	1963	1968	1973	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1,54	1,28	1,12	1,42
s	0,335	0,701	0,142	0,719
Min	1,20	0,75	1,00	0,43
Max	1,84	2,28	1,25	2,11
n	4	4	4	4
		Horizont A+AE		
\bar{x}	4,35	3,09	2,50	2,15
s	1,887	0,832	-	0,781
Min	2,50	2,00	-	1,05
Max	6,83	4,02	-	2,90
n	4	4	1	4
		Horizont B _s		
\bar{x}	4,06	3,78	-	3,46
s	0,573	-	-	0,295
Min	3,53	-	-	3,28
Max	4,87	-	-	3,90
n	3	1	-	4
		Horizont B _g		
\bar{x}	3,97	-	-	3,40
s	0,325	-	-	0,199
Min	3,58	-	-	3,23
n	3	-	-	3,58

8.2 Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden

Tab.8.11: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Bodenparametern der Versuchsfläche Unterangerberg

Element	Horizont	n	r	Signifikanz
N	O	16	0,271	
	A+AE	16	-0,443	*
	B _s	16	0,044	
	B _g	16	-0,038	
P ₂ O ₅	O	16	0,211	*
	A+AE	16	-0,141	
	B _s	16	0,542	*
	B _g	16	-0,139	
K ₂ O	O	16	0,383	
	A+AE	16	0,164	
	B _s	16	0,307	
	B _g	16	0,361	
CaO	O	16	0,081	
	A+AE	16	-0,117	
	B _s	16	0,350	
	B _g	16	0,044	
MgO	O	16	-0,252	
	A+AE	16	-0,434	*
	B _s	16	-0,538	*
	B _g	16	-0,550	*

Tab.8.12: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Elementvorräten im Boden der Versuchsfläche Unterangerberg

Element	Profil	r	Signifikanz
N	Auflagehumus	0,275	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,232	
P ₂ O ₅	Auflagehumus	-0,011	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,210	
K ₂ O	Auflagehumus	0,562	*
	Mineralboden bis 15 cm	0,437	*
CaO	Auflagehumus	-0,008	
	Mineralboden bis 15 cm	0,303	
MgO	Auflagehumus	-0,020	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,446	*

8.2.1 Stickstoff

8.2.1.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Zwischen den Nadelspiegelwerten und den Nähr элементgehalten im Auflagehumus, im B_s - und B_g -Horizont besteht keine Beziehung, lediglich zum A+AE-Horizont besteht eine bescheidene aber signifikante Korrelation (s.Tab.8.11).

Die Schwankungen der Nadelgehalte können demnach zu 19% aus den Schwankungen der N-Gehalte im A+AE-Horizont erklärt werden.

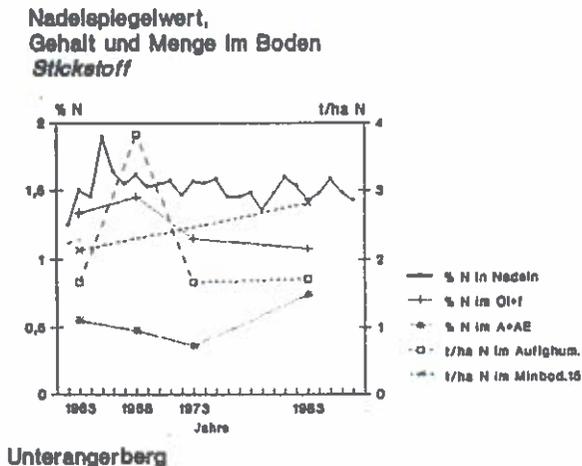
Interessant ist, daß der Auflagehumus positiv mit den Nadelspiegelwerten korreliert und der Mineralboden negativ (s.Tab.8.12).

8.2.1.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte schwanken um den Grenzwert für "ausreichend versorgt" mit gleichbleibender Tendenz innerhalb des Zeitraumes 1963-1983 (s.Abb.8.16).

Auch im Boden sind die Schwankungen des N-Gehaltes uneinheitlich; es ist keine Beziehung außer dem nachlaufenden peak im Auflagehumus von 1968 erkennbar (Streufall!).

Abb.8.16: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Stickstoff



8.2.2 Phosphor

8.2.2.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

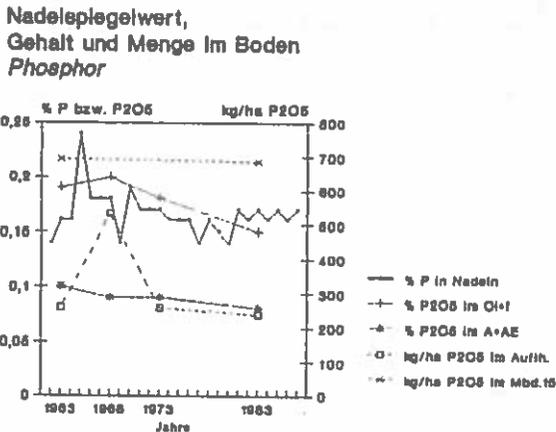
Nur zu den Gehalten im Auflagehumus und B_s -Horizont besteht eine positive und signifikante Beziehung zu den Nadelspiegelwerten. Das Bestimmtheitsmaß für den Auflagehumus beträgt aber nur 4%, im B_s immerhin 29%. Alle übrigen Beziehungen sind sehr gering, nicht gesichert und stets negativ (s.Tab.8.11 und 8.12).

8.2.2.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadeln sind stets gut mit P versorgt. Nach anfänglichen Schwankungen bleiben die Nadelspiegelwerte ziemlich konstant (s.Abb.8.17).

Dem Kurvenverlauf im Auflagehumus, vor allem der P_2O_5 -Menge pro Hektar könnte allenfalls eine nachlaufende Beziehung ähnlich wie bei N entnommen werden: Akkumulation P-reicher Nadeln des Jahres 1965 und vermehrter Streufall 1968. Mit diesem vermehrten Streufall steht auch die maximale Streumenge (org.C, Mächtigkeit) im Jahr 1968 in Zusammenhang.

Abb.8.17: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Phosphor



Unterangerberg

8.2.3 Kalium

8.2.3.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Die Analysendaten der Bodenhorizonte korrelieren nicht mit den Nadelspiegelwerten, wohl aber die K_2O -Menge im Auflagehumus und Mineralboden positiv (s.Tab.8.11 und 8.12).

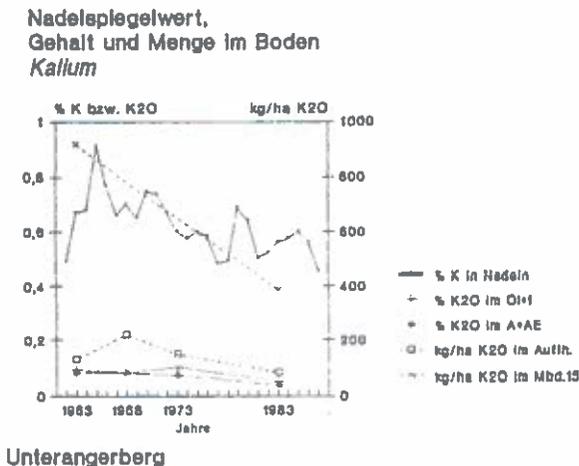
Die Schwankungen der Nadelspiegelwerte können zu 31% bzw. 19% aus den Streuungen der K_2O -Menge im Auflagehumus bzw. Mineralboden erklärt werden.

8.2.3.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die K-Versorgung der Nadeln ist stets gut, doch ist die Tendenz der Nadelspiegelwerte innerhalb von 20 Jahren deutlich abnehmend (s.Abb.8.18).

Der abnehmende Trend der K_2O -Menge im Mineralboden läuft damit gut parallel, in der Auflage undeutlich. Wiederum ist ein Maximum der Nadelgehalte 1965 in der K-Streumenge 1968 nachgezeichnet (siehe N und P!).

Abb.8.18: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Kalium



8.2.4 Calcium

8.2.4.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Sowohl bei den CaO-Gehalten als auch bei den Mengen im Boden bestehen keine Beziehungen zu den Nadelspiegelwerten (s.Tab.8.11 und 8.12).

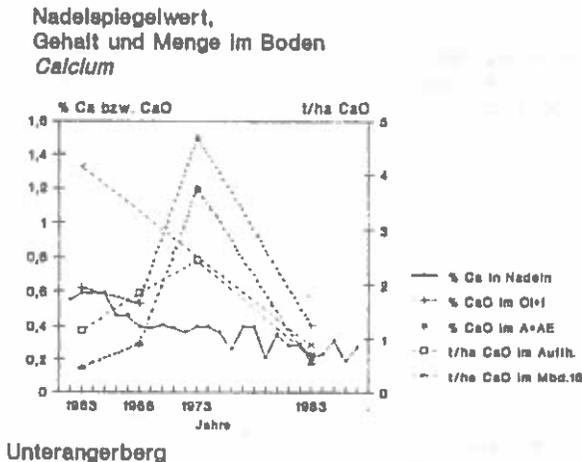
8.2.4.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Ca-Gehalte der Nadeln sinken in der Periode 1963–1983 stetig ab (s.Abb.8.19).

Bis zum Jahre 1975 sind die Nadeln mehr als "ausreichend versorgt", danach mäßig versorgt, ohne jedoch - bis auf 2 Ausnahmen - die Mangelgrenze zu erreichen.

Die gleiche sinkende Tendenz zeigt die CaO-Menge im Mineralboden; sonst ist keine Beziehung erkennbar.

Abb.8.19: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Calcium



8.2.5 Magnesium

8.2.5.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

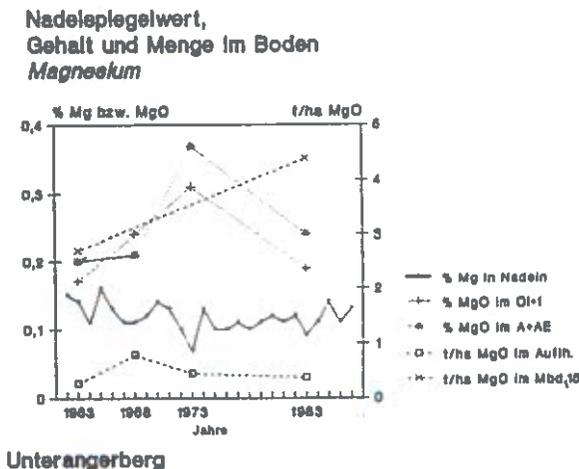
Zwischen den Mg-Gehalten der Nadeln und dem Mineralboden bestehen durchwegs gesicherte negative und z.T. recht enge Korrelationen, d.h. bei höherem MgO-Gehalt im Boden ist der Nadelspiegelwert eher niedriger (s.Tab.8.11). Die Streuungen der Mg-Nadelgehalte lassen sich zu 18% bzw. 29% bzw. 30% aus den Schwankungen der MgO-Gehalte der einzelnen Horizonte erklären.

Auch zur MgO-Menge im Mineralboden ist die Beziehung mit $r=-0,45$ statistisch gesichert (s.Tab.8.12).

8.2.5.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte schwanken in einem engen Bereich um den Grenzwert für "ausreichend versorgt". Die eher steigenden MgO-Gehalte und -mengen im Boden zeigen dazu keine Beziehung (s.Abb.8.20).

Abb.8.20: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Magnesium



9 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 _{f+h}	5 - 0cm	Grobmoder, schwach verpilzt
A _{eh}	0 - 2(7)cm	stark humoser, lehmiger Feinsand, Feinmoder und etwas Humusfiltrat
(AE)	2 - 7cm)	nicht durchgehender Horizont, schluffiger, lehmiger Sand, etwas verdichtet von Humusfiltrat, strukturlos, einzelne Bleichnester, stark durchwurzelt, kein Grobanteil
B _h	7 - 11cm	lehmiger Sand, etwas verkittet - dicht, wenig durchwurzelt, dunkelbraun von Humuseinwaschung (7,5YR3/2)
(B _s)	11 - 25cm)	nicht durchgehender Horizont, sandiger Lehm, granulär locker, gelbbraun (10YR4/4), Wurzeln auslaufend, mäßig grusig, steinig, allmählich übergehend
B _v	25 - 80cm	lehmiger Sand, stark steinig, strukturlos, gelbbraun (10YR5/4)

9.1 Veränderungen im Boden

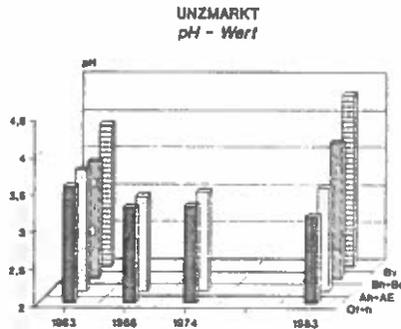
9.1.1 pH-Wert (nach STÖHR, 1984)

Im Auflagehumus nimmt der pH-Wert über den gesamten Beobachtungszeitraum kontinuierlich und höchst signifikant von 3,6 auf 3,2 ab (s. Abb. 9.1). Im A_h+AE -Horizont fällt er in den ersten 5 Jahren ebenfalls gesichert von 3,6 auf 3,3; bleibt jedoch in den folgenden 6 Jahren etwa um 3,3 mit einer minimalen Aufbasung konstant. In den B-Horizonten hingegen erfolgt in der Periode 1963–1983 eine deutliche Aufbasung, welche im B_h+B_s -Horizont von 3,6 auf 3,8 signifikant ist (s. Tab. 9.1).

Tab.9.1: Unzmarkt, pH - Wert

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	3,57***(*)	3,28	3,30	3,17
s	0,197	0,245	0,104	0,144
Min	3,3	3,0	3,1	3,0
Max	3,9	3,8	3,5	3,5
n	12	12	12	12
Horizont A_h+AE				
\bar{x}	3,62***	3,27	3,34	3,39
s	0,439	0,220	0,193	0,173
Min	3,1	2,9	3,1	3,1
Max	4,4	3,6	3,7	3,7
n	12	11	12	12
Horizont B_h+B_s				
\bar{x}	3,57	-	3,9	3,83
s	0,207	-	-	0,281
Min	3,2	-	-	3,5
Max	3,8	-	-	4,2
n	6	-	1	6
Horizont B_v				
\bar{x}	3,9	-	-	4,3
s	0,566	-	-	0,163
Min	3,5	-	-	4,1
Max	4,3	-	-	4,5
n	2	-	-	4

Abb.9.1: pH - Wert



9.1.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

Der P₂O₅-Gehalt nimmt im Auflagehumus und A_n+AE-Horizont in den ersten 5 Jahren hoch signifikant zu, in den folgenden 15 Jahren stetig und höchst signifikant wieder unter den Ausgangswert ab. In den B-Horizonten bleibt die P₂O₅-Konzentration über den 20-jährigen Zeitraum konstant bei 0,11% (s.Abb.9.2 und Tab.9.2.1). Die P₂O₅-Menge bleibt im Auflagehumus über 20 Jahre weitgehend unverändert, abgesehen von einer vorübergehend ungesicherten Zunahme um 40kg/ha im Jahre 1974 (s.Abb.9.3). Änderungen an Konzentration und Menge des Auflagehumus halten sich für den Gesamt-P-Vorrat die Waage. Für den Mineralboden errechnet sich eine Abnahme der P₂O₅-Menge im gesamten Versuchszeitraum 1963-1983 um (ungesichert) 200kg/ha (s.Tab.9.2.2). Die Gesamtbilanz für Mineralboden bis 15cm incl. Auflagehumus wäre demnach mit 200kg/ha negativ und zwar ausschließlich im Mineralboden.

Tab.9.2.2: Unzmarkt, P₂O₅ - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	228	237	268	230
s	263	114	221	131
Min	15	89	151	94
Max	1010	476	953	563
n	12	12	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	1.337	-	-	1.126

Abb.9.2: P₂O₅ - Gehalt

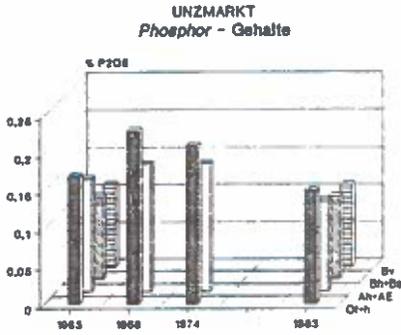
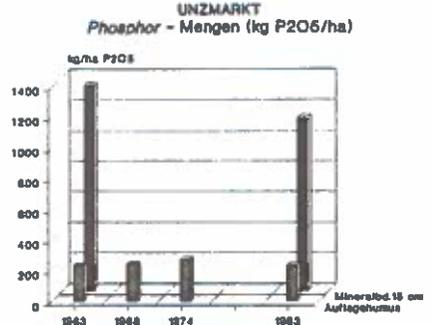


Abb.9.3: P₂O₅ - Menge



Tab.9.2.1: Unzmarkt, P₂O₅ - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
Aufgehumus				
\bar{x}	0,17	0,23	0,21	0,15
s	0,060	0,015	0,017	0,024
Min	0,01	0,21	0,18	0,11
Max	0,22	0,26	0,24	0,19
n	12	12	12	12
Horizont A _h +AE				
\bar{x}	0,15	0,17	0,17	0,12
s	0,028	0,017	0,020	0,016
Min	0,10	0,14	0,13	0,09
Max	0,19	0,19	0,21	0,14
n	12	11	12	12
Horizont B _h +B _s				
\bar{x}	0,11	-	0,11	0,11
s	0,026	-	-	0,021
Min	0,08	-	-	0,08
Max	0,15	-	-	0,13
n	6	-	1	6
Horizont B _v				
\bar{x}	0,11	-	-	0,11
s	0,014	-	-	0,037
Min	0,10	-	-	0,08
Max	0,12	-	-	0,16
n	2	-	-	4

9.1.3 K₂O-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus steigt die K₂O-Konzentration zunächst bis 1974 höchst signifikant von 0,09% auf 0,15% an und nimmt danach ebenso signifikant bis 1983 auf 0,06% unter den Ausgangswert ab. Im A_h+AE-Horizont verläuft die Entwicklung gleichsinnig und ebenfalls höchst gesichert. Die entsprechenden Werte betragen 0,08%, 0,16 und 0,05%. Keine gesicherte K₂O-Gehalts-Änderung zeigen die B-Horizonte, doch ist der Trend ähnlich (s.Abb.9.4 und Tab.9.3.1).

Die K₂O-Menge im Auflagehumus unterliegt unregelmäßigen Schwankungen, ebenfalls mit Maximum im Jahre 1974. Die Abnahme von 124kg/ha auf 87kg/ha über den Gesamtzeitraum ist jedoch statistisch nicht gesichert (s.Abb.9.5).

Im mineralischen Oberboden bis 15cm sinkt die K₂O-Menge über zwei Dezennien um 140kg/ha (s.Tab.9.3.2).

Die Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus über den 20-jährigen Beobachtungszeitraum wäre danach mit 180kg/ha negativ.

Abb.9.4: K₂O - Gehalt

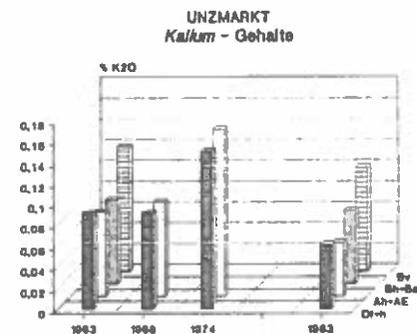
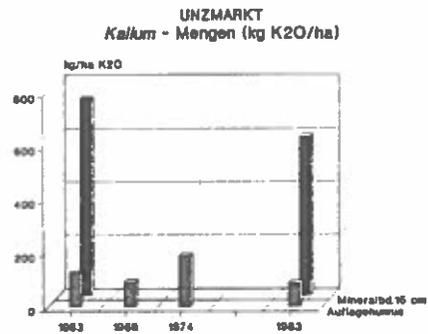


Abb.9.5: K₂O - Menge



Tab.9.3.1: Unzmarkt, K₂O - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
Aufagehumus				
\bar{x}	0,09	0,09	0,15	0,06
s	0,019	0,007	0,032	0,011
Min	0,08	0,08	0,13	0,04
Max	0,15	0,10	0,24	0,08
n	12	12	12	12
Horizont A _h +AE				
\bar{x}	0,08	0,09	0,16	0,05
s	0,030	0,013	0,031	0,012
Min	0,05	0,08	0,10	0,04
Max	0,15	0,12	0,21	0,07
n	12	11	12	12
Horizont B _h +B _s				
\bar{x}	0,08	-	0,10	0,07
s	0,037	-	-	0,043
Min	0,01	-	-	0,04
Max	0,11	-	-	0,15
n	6	-	1	6
Horizont B _v				
\bar{x}	0,12	-	-	0,10
s	0,035	-	-	0,042
Min	0,09	-	-	0,06
Max	0,14	-	-	0,15
n	2	-	-	4

Tab.9.3.2: Unzmarkt, K₂O - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
Aufagehumus				
\bar{x}	124	92	190	87
s	114	42	153	40
Min	15	33	85	42
Max	455	195	650	173
n	12	12	12	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	739	-	-	596
Min	339	-	-	451
Max	1.080	-	-	914

9.1.4 CaO-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus bleibt der CaO-Gehalt alle 20 Jahre hindurch annähernd gleich (s. Abb. 9.6). Hingegen erfolgt im A_h+AE -Horizont unter Schwankungen eine merkliche und hoch signifikante Abnahme von 0,17% auf 0,08% innerhalb des Gesamtzeitraumes 1963-1983. Auch in den B-Horizonten ist die Abnahme der CaO-Konzentration beträchtlich; im B_h+B_s -Horizont von 0,18% auf 0,06% statistisch gesichert, doch läßt ihre fast unglaubliche Größenordnung auch systematische Analysenfehler bei der Erstaufnahme oder Ausreißer vermuten. Tatsächlich ist die Streuung sehr groß und die Verteilung linksschief (s. Tab. 9.4.1).

Bei der CaO-Menge im Auflagehumus ist in den ersten 11 Jahren keine Veränderung ersichtlich; erst in den folgenden 9 Jahren tritt eine Zunahme um 100kg/ha ein (s. Abb. 9.7). Im Mineralboden hat der Gesamtvorrat an CaO zwischen 1963 und 1983 stark (ungesichert um 1,2t/ha) abgenommen (s. Tab. 9.4.2).

Incl. Auflagehumus betrage der Verlust somit 1,1t/ha CaO.

Abb.9.6: CaO - Gehalt

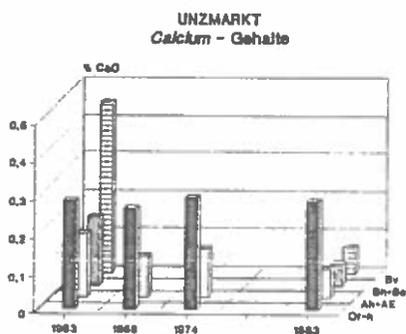
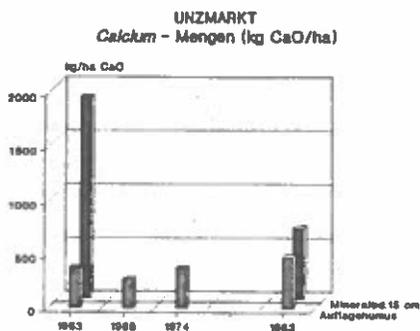


Abb.9.7: CaO - Menge



Tab.9.4.1: Unzmarkt, CaO - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	0,29	0,27	0,30	0,29
s	0,113	0,135	0,110	0,074
Min	0,04	0,08	0,15	0,18
Max	0,45	0,50	0,50	0,44
n	12	12	12	12
		Horizont A $h+AE$		
\bar{x}	0,17	0,11	0,13	0,08
s	0,101	0,077	0,023	0,031
Min	0,04	0,05	0,10	0,04
Max	0,34	0,30	0,15	0,14
n	12	11	12	12
		Horizont B $h+B_s$		
\bar{x}	0,18	-	0,10	0,06
s	0,110	-	-	0,015
Min	0,04	-	-	0,04
Max	0,34	-	-	0,08
n	6	-	1	6
		Horizont B v		
\bar{x}	0,45	-	-	0,07
s	0,000	-	-	0,017
Min	0,45	-	-	0,05
Max	0,45	-	-	0,09
n	2	-	-	4

Tab.9.4.2: Unzmarkt, CaO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	387	277	381	485
s	447	202	371	337
Min	39	55	138	99
Max	1.718	722	1.516	1.342
n	12	12	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	1.866	-	-	657
Min	784	-	-	475
Max	2.945	-	-	1.069

9.1.5 MgO-Gehalt und -Menge

Sowohl im Auflagehumus als auch im A_h -Horizont schwankt der MgO-Gehalt uneinheitlich bei relativ großer Streuung zwischen den Probepunkten. Die Minima liegen im Jahre 1968, möglicherweise eine Folge der eingangs erläuterten Analysenprobleme zu diesem Termin. Im Auflagehumus beträgt der Endwert nach 20 Jahren fast nur mehr die Hälfte des Ausgangswertes, die Abnahme ist hoch signifikant (s.Abb.9.8). Im A_h +AE-Horizont ist der Anstieg bis 1974 gesichert; der Endwert liegt wieder nahe beim Ausgangswert. In den B-Horizonten wurde von 1963 bis 1983 ein beträchtlicher, aber statistisch nicht gesicherter Anstieg der Konzentration gemessen (s.Tab.9.5.1).

Die MgO-Menge im Auflagehumus schwankt, gleichsinnig jedoch ist nur die Abnahme von 1963 bis 1968 um 200kg hoch signifikant (s.Abb.9.9). Die Gesamtdifferenz zwischen den analytisch vergleichbaren Endterminen beträgt 130kg. Die MgO-Menge im obersten Mineralboden erfährt in 20 Jahren eine beträchtliche Zunahme; der Betrag ist jedoch nicht gesichert (s.Tab.9.5.2).

Die Gesamt-MgO-Menge im Mineralboden incl. Auflagehumus wäre demnach über den Versuchszeitraum mit 1,5t/ha positiv.

Abb.9.8: MgO - Gehalt

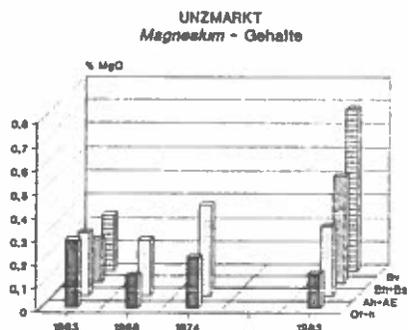
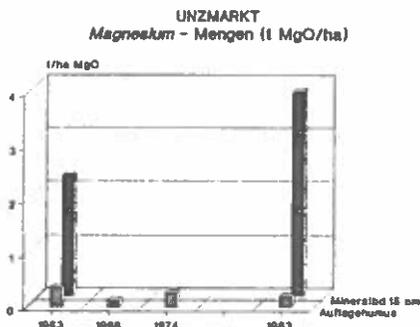


Abb.9.9: MgO - Menge



Tab.9.5.1: Unzmarkt, MgO - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,29	0,14	0,22	0,15
s	0,114	0,090	0,076	0,087
Min	0,14	0,05	0,10	0,09
Max	0,48	0,27	0,42	0,41
n	12	12	12	12
Horizont A _h +AE				
\bar{x}	0,27	0,24	0,39	0,30
s	0,114	0,179	0,159	0,137
Min	0,16	0,05	0,18	0,14
Max	0,56	0,70	0,80	0,59
n	12	11	12	12
Horizont B _h +B _s				
\bar{x}	0,19	-	0,58	0,46
s	0,114	-	-	0,274
Min	0,02	-	-	0,20
Max	0,32	-	-	0,85
n	6	-	1	6
Horizont B _v				
\bar{x}	0,24	-	-	0,69
s	0,113	-	-	0,157
Min	0,16	-	-	0,52
Max	0,32	-	-	0,84
n	2	-	-	4

Tab.9.5.2: Unzmarkt, MgO - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	347	148	282	218
s	246	133	267	135
Min	59	34	84	84
Max	808	403	1.083	606
n	12	12	12	12
Mineralboden bis 15 cm				
\bar{x}	2.241	-	-	3.823
Min	736	-	-	1.898
Max	2.563	-	-	6.609

9.1.6 N-Gehalt und -Menge

Kontinuierlich und signifikant nimmt der N-Gehalt im Auflagehumus über 20 Jahre von 1,14% auf 0,95% ab (s.Abb.9.10). Ähnlich verhält sich der $A_{h_1}+AE$ -Horizont. Die Abnahme der N-Konzentration ist zumindest über den Gesamtzeitraum statistisch gesichert. Die Abnahme in den B-Horizonten ist nicht gesichert (s.Tab.9.6.1).

Die N-Menge im Auflagehumus bleibt im Gegensatz dazu über den Gesamtzeitraum eher gleich, die Abnahme des N-Gehaltes wird durch Akkumulation von Streu kompensiert. Im Mineralboden aber nimmt der N-Vorrat über den 20-jährigen Zeitraum mit 1t/ha ab (s.Abb.9.11 und Tab.9.6.2).

Der Gesamtverlust für Mineralboden incl. Auflagehumus von 1963 bis 1983 beträgt (ungesichert) 1t/ha und zwar ausschließlich im Mineralboden.

Abb.9.10: N - Gehalt

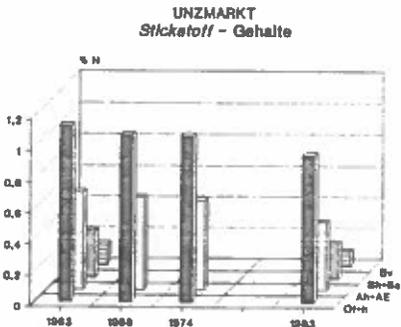
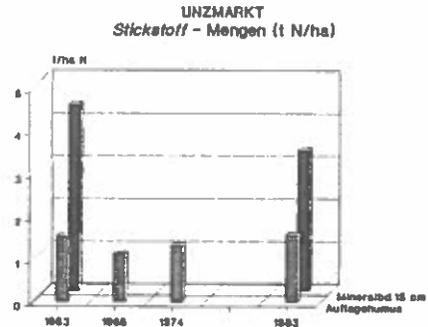


Abb.9.11: N - Menge



Tab.9.6.2: Unzmarkt, N - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	1.531	1.136	1.347	1.579
s	1.452	655	1.143	1.098
Min	164	325	590	396
Max	5.759	2.641	4.893	4.157
n	12	12	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	4.369	-	-	3.306
Min	3.548	-	-	2.155
Max	5.392	-	-	4.482

Tab.9.6.1: Unzmarkt, N - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	1,14	1,08	1,07	0,95
s	0,182	0,176	0,163	0,228
Min	0,78	0,79	0,64	0,46
Max	1,32	1,33	1,32	1,20
n	12	12	12	12
Horizont A _h +AE				
\bar{x}	0,63	0,60	0,58-***(*)	0,44
s	0,203	0,132	0,150	0,090
Min	0,31	0,32	0,38	0,30
Max	0,96	0,74	0,88	0,60
n	12	11	12	12
Horizont B _h +B _s				
\bar{x}	0,30	-	0,27	0,23
s	0,086	-	-	0,075
Min	0,24	-	-	0,14
Max	0,47	-	-	0,33
n	6	-	1	6
Horizont B _v				
\bar{x}	0,14	-	-	0,10
s	0,021	-	-	0,021
Min	0,12	-	-	0,07
Max	0,15	-	-	0,12
n	2	-	-	4

9.1.7 C-Gehalt und -Menge

Während der 15-jährigen Periode, für welche C-Analysen verfügbar sind, bleibt der C-Gehalt im Auflagehumus annähernd gleich (s.Abb.9.12). Auch im A_h+AE-Horizont ist von 1968-1983 der C-Gehalt bei 13% fast gleich geblieben (s.Tab.9.7.1).

Die C-Menge nimmt gleichzeitig kontinuierlich, allerdings nicht signifikant, um 16,6t/ha im Auflagehumus zu, d.h. es werden in 15 Jahren 28t org. Substanz akkumuliert (s.Abb.9.13). Im Mineralboden sind im Jahre 1983 fast 95t/ha vorhanden, das sind 163t/ha organische Substanz; für die vorhergehenden Termine liegen nur unvollständige Daten vor, die nicht rechnerisch weiterverarbeitet werden können (s.Tab.9.7.2).

Der Gehalt an org. Substanz ist im A_h+AE-Horizont, aber vor allem im B_h+B_s überdurchschnittlich hoch, eine häufig beobachtete Eigenschaft kolluvialer Böden in hochmontanen, zentralalpinen Lagen.

Abb.9.12: C - Gehalt

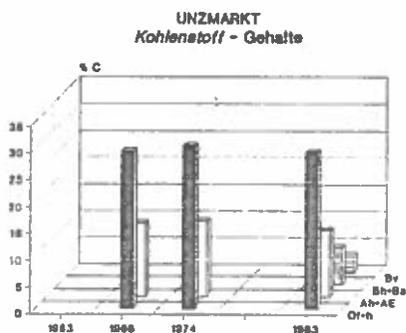
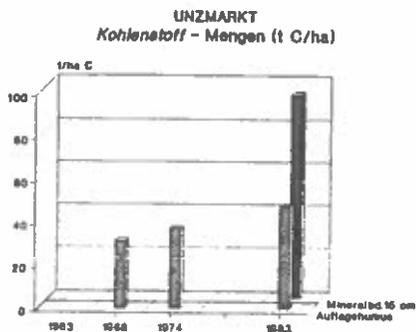


Abb.9.13: C - Menge



Tab.9.7.1: Unzmarkt, C - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	29,59	30,47	29,40
s	-	7,247	5,153	4,143
Min	-	20,0	19,1	24,1
Max	-	46,6	41,1	36,0
n	-	12	12	12
		Horizont A _h + AE		
\bar{x}	-	13,74	14,06	12,51
s	-	4,076	4,569	3,057
Min	-	8,3	4,9	7,2
Max	-	22,0	20,8	18,1
n	-	11	12	12
		Horizont B _h + B _s		
\bar{x}	-	-	7,80	6,88
s	-	-	-	2,371
Min	-	-	-	4,10
Max	-	-	-	10,8
n	-	-	1	6
		Horizont B _v		
\bar{x}	-	-	-	3,08
s	-	-	-	1,011
Min	-	-	-	2,0
Max	-	-	-	4,4
n	-	-	-	4

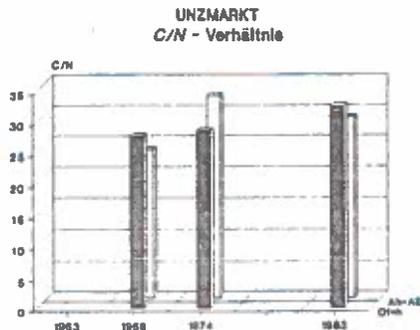
Tab.9.7.2: Unzmarkt, C - Menge in kg/ha

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	31.153	37.452	47.729
s	-	17.465	28.910	29.050
Min	-	7.820	17.614	13.255
Max	-	62.569	126.869	113.879
n	-	12	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	-	-	-	94.606
Min	-	-	-	69.149
Max	-	-	-	109.519

9.1.8 C/N-Verhältnis

Das C/N-Verhältnis erweitert sich im Zeitraum 1968-1983 im Auflagehumus von 28 auf 33, im A_h+AE -Horizont von 24 auf 29; diese Veränderungen sind statistisch jedoch nicht gesichert (s. Abb. 9.14 und Tab. 9.8). Diese Minderung der Humusqualität geht mit dem Verlust von 1,2t N/ha und gleichzeitiger Streu-Akkumulation konform.

Abb.9.14: C/N - Verhältnis



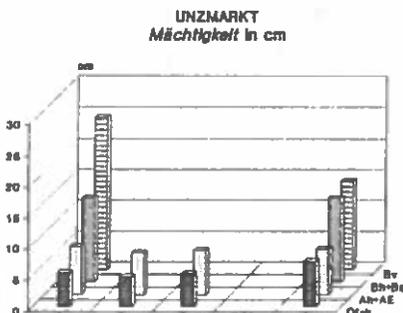
Tab.9.8: Unzmarkt, C/N - Verhältnis

	1963	1968	1974	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	27,67	28,50	32,58
s	-	4,438	2,576	8,533
Min	-	24	25	26
Max	-	39	32	53
n	-	12	12	12
		Horizont A _h +AE		
\bar{x}	-	23,83	25,83	29,08
s	-	4,108	2,588	7,833
Min	-	17	23	23
Max	-	31	30	50
n	-	11	12	12

9.1.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

Zwischen 1963 und 1974 bleibt die Mächtigkeit des Auflagehumus mit 5cm und der C-Gehalt annähernd gleich; der N-Gehalt nimmt ab, und der Fe₂O₃-Gehalt allmählich von 1,11% auf 1,84% hoch signifikant zu (s.Tab.9.10). Bei abnehmender Humusqualität nimmt der Vorrat an Humusauflage zu. Ab 1974 wird der Auflagehorizont merklich mächtiger, jedoch ohne statistische Absicherung (s.Tab.9.9). Gleichzeitig nimmt der N-Gehalt weiter ab und der Fe₂O₃-Gehalt sinkt signifikant von 1,84% auf 1,41%. Es wird also weiter reiner Bestandesabfall akkumuliert; die Mineralbodenkomponente wird mangels biologischer Aktivität geringer. Die Mächtigkeit des A_h+AE-Horizontes bleibt mit ca. 7cm über 20 Jahre etwa gleich, ebenso der Fe₂O₃-Gehalt (s.Abb.9.15).

Abb.9.15: Mächtigkeit in cm



Tab.9.9: Unzmarkt, Mächtigkeit in cm

	1963	1968	1974	1983
		Auflagechumus		
\bar{x}	5,4	4,8	5,3	7,3
s	2,152	1,658	1,155	2,563
Min	1,0	2,0	4,0	3,0
Max	8,0	8,0	8,0	12,0
n	12	12	12	12
		Horizont A _h + AE		
\bar{x}	7,6	6,7	7,1	7,3
s	3,704	3,003	4,562	2,864
Min	4,0	3,0	1,0	4,0
Max	17,0	12,0	15,0	13,0
n	12	11	12	12
		Horizont B _h + B _s		
\bar{x}	13,5	-	17,0	13,5
s	8,961	-	-	7,092
Min	5,0	-	-	5,0
Max	30,0	-	-	25,0
n	6	-	1	6
		Horizont B _v		
\bar{x}	24,5	-	-	14,3
s	23,335	-	-	8,846
Min	8	-	-	7
Max	41	-	-	25
n	2	-	-	4

Tab.9.10: Unzmarkt, Fe₂O₃ - Gehalte in %

	1963	1968	1974	1983
		Auflagechumus		
		**(*)-----		
\bar{x}	1,11	1,41	1,84	1,41
s	0,500	0,662	0,601	0,385
Min	0,32	0,24	0,90	0,75
Max	2,10	2,24	3,22	2,28
n	12	12	12	12
		Horizont A _h + AE		
\bar{x}	3,02	3,15	3,43	3,05
s	0,662	0,473	0,654	0,308
Min	2,07	2,36	2,50	2,62
Max	4,06	3,78	5,01	3,79
n	12	11	12	12
		Horizont B _h + B		
\bar{x}	4,38	-	3,76	3,82
s	0,648	-	-	0,342
Min	3,80	-	-	3,43
Max	5,35	-	-	4,27
n	6	-	1	6
		Horizont B _v		
\bar{x}	5,10	-	-	4,12
s	0,354	-	-	0,200

9.2 Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden

Tab.9.11: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Bodenparametern der Versuchsfläche Unzmarkt

Element	Horizont	n	r	Signifikanz
N	O	24	-0,273	
	Ah+AE	24	-0,079	
	Bh+B _s	24	-0,277	
	Bv	16	0,238	
P ₂ O ₅	O	24	0,023	
	Ah+AE	24	0,065	
	Bh+B _s	24	0,114	
	Bv	16	-0,578	**
K ₂ O	O	24	0,501	**
	Ah+AE	24	0,310	
	Bh+B _s	24	-0,267	
	Bv	16	-0,718	***
CaO	O	24	-0,192	
	Ah+AE	24	-0,003	
	Bh+B _s	24	0,195	
	Bv	16	0,468	*
MgO	O	24	0,290	
	Ah+AE	24	-0,113	
	Bh+B _s	24	-0,222	
	Bv	16	-0,355	

Tab.9.12: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Elementvorräten im Boden der Versuchsfläche Unzmarkt

Element	Profil	r	Signifikanz
N	Auflagehumus	0,192	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,102	
P ₂ O ₅	Auflagehumus	0,044	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,130	
K ₂ O	Auflagehumus	0,204	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,289	
CaO	Auflagehumus	0,134	
	Mineralboden bis 15 cm	0,077	
MgO	Auflagehumus	0,356	*
	Mineralboden bis 15 cm	-0,095	

9.2.1 Stickstoff

9.2.1.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Für dieses Element bestehen zwischen Gehalten in den Nadeln und im Boden keine Korrelationen (s.Tab.9.11 und 9.12).

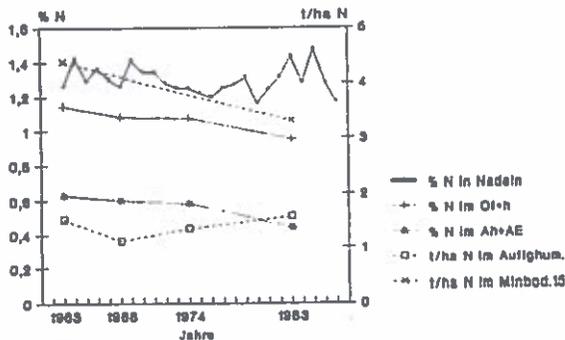
9.2.1.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte schwanken um die Mangelgrenze von 1,30% N, wobei der tiefste Wert von 1,16% N im Jahre 1980 erreicht wird (s.Abb.9.16).

Ein Zusammenhang mit Veränderungen im Boden ist nicht erkennbar.

Abb.9.16: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Stickstoff

Nadelspiegelwert,
Gehalt und Menge im Boden
Stickstoff



Unzmarkt

9.2.2 Phosphor

9.2.2.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Nur der P_2O_5 -Gehalt des B_V -Horizontes korreliert hoch gesichert negativ mit den Nadelspiegelwerten. Die Schwankungen der Nadelspiegelwerte können zu 35% aus den Steuungen der P_2O_5 -Gehalte im B_V -Horizont erklärt werden.

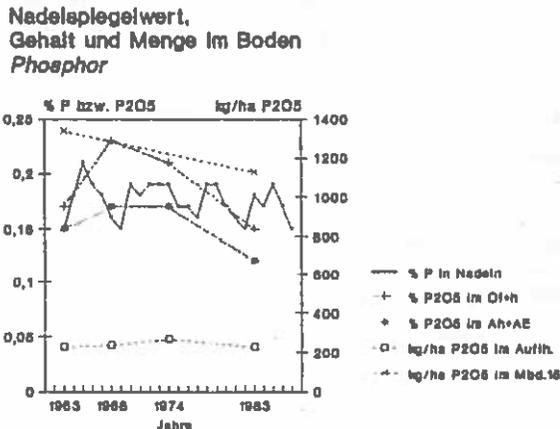
Mit den übrigen Horizonten bestehen keine Beziehungen (s.Tab.9.11 und 9.12).

9.2.2.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte schwanken alle über dem Grenzwert von "ausreichend versorgt"; die Tendenz ist im gesamten Beobachtungszeitraum (1963-1983) gleichbleibend (s.Abb.9.17).

Ein Zusammenhang mit Veränderungen im Boden ist nicht erkennbar.

Abb.9.17: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Phosphor



Unzmarkt

9.2.3 Kalium

9.2.3.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Hoch signifikant positiv korrelieren die Nadelspiegelwerte mit dem K_2O -Gehalt im Auflagehumus; ein höchst gesicherter negativer Zusammenhang besteht mit jenem des B_V -Horizontes. Auch die zugehörigen Korrelationskoeffizienten sind relativ hoch (s.Tab.9.11 und 9.12).

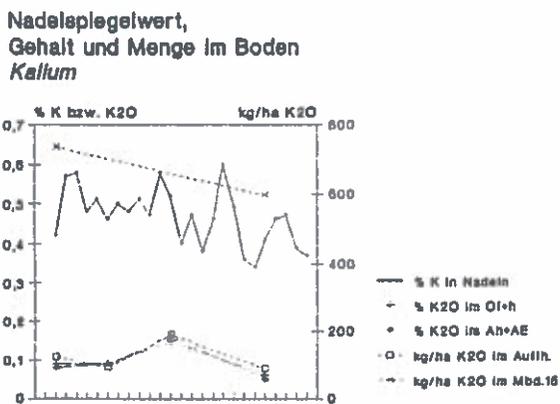
Die Schwankungen der K-Nadelgehalte lassen sich zu 25% bzw. 52% aus den Schwankungen der K_2O -Gehalte im Auflagehumus bzw. B_V -Horizont erklären.

9.2.3.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Tendenz der Nadelspiegelwerte ist abnehmend; die Werte schwanken alle um den Grenzwert für "ausreichend versorgt", unter den Mangelgrenzwert fällt keine einzige Nadelprobe (s.Abb.9.18).

Aus der Graphik sind bis 1974 keinerlei Beziehungen mit den Änderungen im Boden zu erkennen. Vielleicht sind die abnehmenden K-Gehalte im Auflagehumus ab 1974 eine Folge abnehmender Nadelspiegelwerte. Die gleichfalls abnehmende K_2O -Menge im Mineralboden korreliert gut, beruht jedoch nur auf zwei Meßterminen.

Abb.9.18: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Kalium



9.2.4 Calcium

9.2.4.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

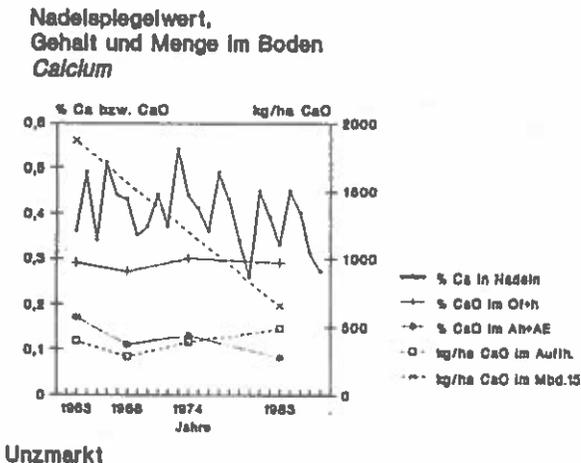
Nur zum B_V -Horizont besteht eine gesicherte, positive, aber wenig enge Beziehung der Nadelgehalte (s.Tab.9.11 und 9.12). Die Streuungen der Ca-Nadelgehalte können zu 22% aus den Schwankungen der CaO-Gehalte im Mineralboden erklärt werden.

9.2.4.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Ca-Nadelgehalte schwanken mit undeutlich abnehmender Gesamt-tendenz um den Grenzwert für "ausreichend versorgt"; Mangelwerte treten nicht auf (s.Abb.9.19).

Aus der Graphik könnte allenfalls eine lose Übereinstimmung mit der Ca-Abnahme im Mineralboden ab 1974 abgelesen werden.

Abb.9.19: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Calcium



9.2.5 Magnesium

9.2.5.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Für das Nährelement Mg gibt es nur einen schwachen, aber gesicherten, positiven Zusammenhang zwischen der MgO-Menge im Auflagehumus und den Nadelspiegelwerten; das Bestimmtheitsmaß beträgt 13%.

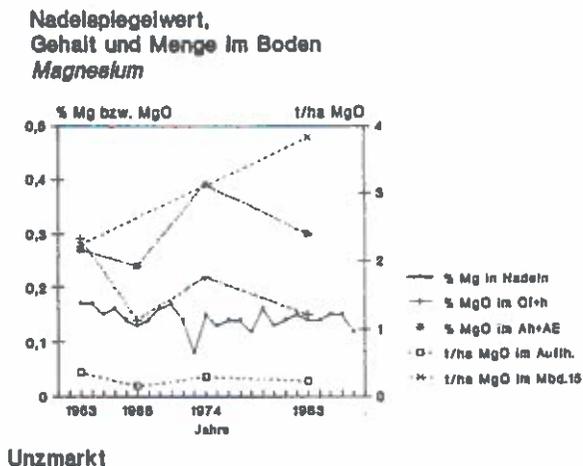
Alle übrigen Mg-Gehalte im Boden korrelieren, wenn überhaupt geringfügig (s.Tab.9.11 und 9.12).

9.2.5.2 Graphischer Vergleich der Trends

Bis auf einen (1973: 0,08% Mg) schwanken alle Nadelgehalte über dem Grenzwert für "ausreichend versorgt" von 0,11% Mg. Die Tendenz ist geringfügig abnehmend (s.Abb.9.20).

Eine Beziehung zu den Bodendaten ist nicht erkennbar; sie ist im Zweifel eher gegenläufig.

Abb.9.20: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Magnesium



10 Versuchsfläche Karlstift (409)

Versuchs- und Standortsbeschreibung:

Erstaufnahme: November 1964

Wiederholungsaufnahmen: 20.10.1969; 24.10.1975; 11.-13.10.1983

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

Eigentümer: Pfleider'sches Forstamt Karlstift, NÖ

Wuchsraum 1: Mühl- und Waldviertel

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

Lage: 940 m, flach geneigter Südwesthang

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

Aktueller Bestand: Fi-Reinbestand, Altholz

Alter zu Versuchsbeginn: 66 Jahre

Bodenvegetation: 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:

O ₁	7 - 5cm	Nadelstreu
O _{f+h}	5 - 0cm	Grobmoder
A _{eh}	0 - 4cm	sehr stark humos, dunkler Feinmoder mit Bleichsandkörnern
AE	4 - 9(10)cm	undeutlicher Bleichhorizont, stellenweise durch violettbraune Humuseinwaschung überdeckt, lehmiger Sand, humos
(B _h)	9 - 10cm)	nicht durchgehender Horizont, Humuseinwaschungssaum, etwas dicht, plat-tige Struktur
B _s	10 - 50cm	lehmiger Sand, locker, granuläre Struktur, gut durchwurzelt, intensiv rostbraun (7,5YR5/6)
B _v	50 - 80cm	schwach lehmiger Grobsand, weniger intensiv gefärbt (10YR5/5), schwach durchwurzelt, übergehend
BC	ab 80cm	Grobsand, fahle Färbung (2,5Y5/4), steinig, grusig, strukturlos, lose

10.1 Veränderungen im Boden

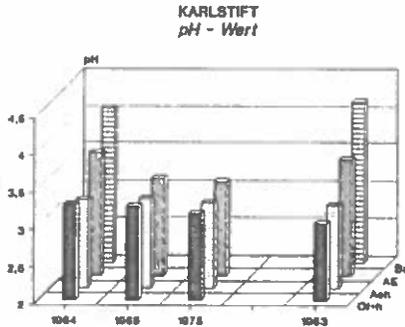
10.1.1 pH-Wert (nach STÖHR, 1984)

Langsam, kontinuierlich und signifikant sinkt der pH-Wert im Auflagehumus von 3,3 auf 3,0 im Versuchszeitraum 1964-1983; im A_{eh} -Horizont nur geringfügig, aber teilweise ebenfalls gesichert von 3,2 auf 3,1. Im AE-Horizont tritt in der Periode 1964-1975 ebenfalls hoch gesichert eine pH-Absenkung von 3,6 auf 3,3 ein; in den folgenden 8 Jahren erreichen die pH-Werte jedoch fast wieder den Ausgangswert (s.Abb.10.1 und Tab.10.1). Die Schwankungen im B_s -Horizont sind statistisch nicht belegt.

Tab.10.1: Karlstift, pH - Wert

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
	-----*(*)-----			
\bar{x}	3,28	3,26	3,17	3,03
s	0,205	0,121	0,167	0,215
Min	3,0	3,1	3,0	2,8
Max	3,6	3,5	3,6	3,6
n	12	11	12	12
	Horizont A _{eh}			
\bar{x}	3,17	3,19-*(*) ^{eh}	3,14	3,10
s	0,298	0,078	0,212	0,046
Min	2,8	3,1	2,9	2,9
Max	3,8	3,3	3,7	3,4
n	10	9	10	12
	Horizont AE			
	-----*(*)-----			
\bar{x}	3,63	3,30	3,26	3,55
s	0,096	0,000	0,152	0,127
Min	3,5	3,3	3,1	3,4
Max	3,7	3,3	3,5	3,7
n	4	2	5	7
	Horizont B _s			
\bar{x}	4,07	4,20 ^s	3,50	4,17
s	0,266	-	-	0,076
Min	3,7	-	-	4,4
Max	4,0	-	-	4,2
n	6	1	1	7

Abb.10.1: pH - Wert



10.1.2 P₂O₅-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus sinkt der P₂O₅-Gehalt stetig und hoch signifikant von 0,21% auf 0,15% ab (s.Abb.10.2). In der Periode 1964 bis 1975 nimmt die P₂O₅-Konzentration auch im A_{eh}-Horizont von 0,19% auf 0,09% ab, jedoch ohne statistische Absicherung und bleibt dann im folgenden Dezennium konstant. Im AE-Horizont bleibt der P₂O₅-Gehalt annähernd gleich bei einem Mittelwert von 0,07%. Im B_s-Horizont nimmt die P₂O₅-Konzentration im Zeitraum 1964-1983 hingegen signifikant von 0,06% auf 0,1% zu (s.Tab.10.2.1).

Bei der P₂O₅-Menge ist ebenfalls eine sinkende Tendenz zu erkennen. Innerhalb der ersten 11 Jahre liegt im Auflagehumus eine gesicherte Abnahme von 233kg/ha auf 143kg/ha vor (s.Abb.10.3). In den folgenden 8 Jahren treten keine wesentlichen Veränderungen der P₂O₅-Mengen auf. Im Mineralboden bleibt in der Periode 1964-1975 die P₂O₅-Menge annähernd konstant und vermehrt sich in den folgenden 8 Jahren um 200kg/ha (s.Tab.10.2.2).

Die Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus ist mit 90kg/ha schwach negativ.

Abb.10.2: P₂O₅ - Gehalt

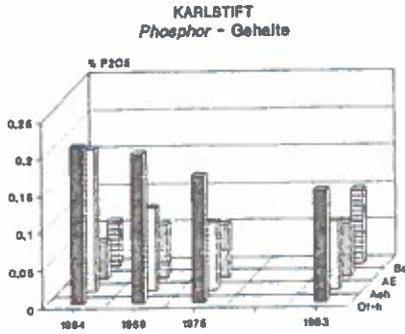
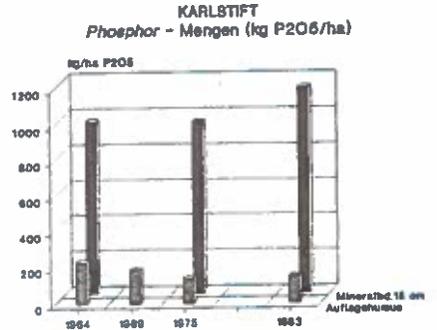


Abb.10.3: P₂O₅ - Menge



Tab.10.2.1: Karlstift, P₂O₅ - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,21	0,20	0,17	0,15
s	0,025	0,040	0,031	0,036
Min	0,15	0,13	0,13	0,10
Max	0,25	0,29	0,23	0,22
n	12	11	12	12
Horizont A _{ch}				
\bar{x}	0,19	0,11	0,09	0,09
s	0,316	0,031	0,034	0,029
Min	0,01	0,04	0,04	0,05
Max	1,18	0,14	0,15	0,15
n	10	9	10	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,05	0,07	0,07	0,07
s	0,030	0,028	0,019	0,022
Min	0,01	0,05	0,05	0,04
Max	0,08	0,09	0,10	0,10
n	4	2	5	7
Horizont B _s				
\bar{x}	0,06	0,09	0,06	0,10
s	0,024	-	-	0,030
Min	0,01	-	-	0,08
Max	0,08	-	-	0,16
n	6	1	1	7

Tab.10.2.2: Karlstift, P_2O_5 - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	233	187	143	148
s	151	155	82	57
Min	94	55	38	97
Max	550	580	345	308
n	12	11	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	966	-	959	1.142
Min	839	-	445	759
Max	1.115	-	1.031	1.604

10.1.3 K_2O -Gehalt und -Menge

Ab 1969 nimmt der K_2O -Gehalt im Auflagehumus von 0,10% auf 0,07% im Jahre 1983 höchst signifikant ab (s. Abb. 10.4). Im A_{eh} - und im AE-Horizont ist über 19 Jahre keine Änderung der K_2O -Gehalte eingetreten. Der B_s -Horizont zeigt hingegen eine Zunahme der K_2O -Konzentrationen von 0,12% auf 0,17% jedoch statistisch ungesichert (s. Tab. 10.3.1).

Bei der K_2O -Menge ist im Auflagehumus eine allmähliche Abnahme im Beobachtungszeitraum 1964-1983 erkennbar, hingegen im Mineralboden erst eine geringfügige Abnahme und danach eine (ungesicherte) Zunahme auf 1,7t/ha (s. Abb. 10.5 und Tab. 10.3.2). Die Gesamtbilanz für den Mineralboden incl. Auflagehumus mit plus 200kg/ha ist unsicher.

Tab.10.3.2: Karlstift, K_2O - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	92	93	70	73
s	57	70	40	35
Min	30	24	16	40
Max	225	260	137	171
n	12	11	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	1.441	-	1.315	1.665
Min	934	-	384	897
Max	2.273	-	1.631	2.392

Abb.10.4: K₂O - Gehalt

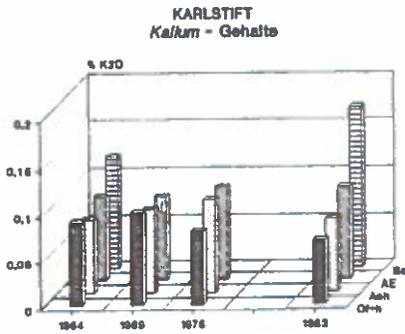
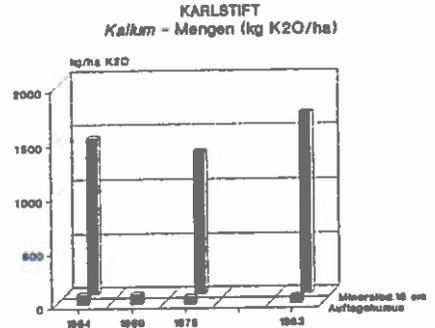


Abb.10.5: K₂O - Menge



Tab.10.3.1: Karlstift, K₂O - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,09	0,10	0,08	0,07
s	0,028	0,021	0,012	0,014
Min	0,05	0,08	0,06	0,05
Max	0,13	0,14	0,10	0,10
n	12	11	12	12
Horizont A _{eh}				
\bar{x}	0,08	0,09	0,10	0,08
s	0,032	0,020	0,022	0,024
Min	0,05	0,06	0,06	0,05
Max	0,14	0,13	0,14	0,12
n	10	9	10	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,09	0,09	0,10	0,10
s	0,020	0,014	0,017	0,032
Min	0,06	0,08	0,07	0,05
Max	0,12	0,10	0,12	0,14
n	4	2	5	7
Horizont B _s				
\bar{x}	0,12	0,13	0,22	0,17
s	0,040	-	-	0,077
Min	0,09	-	-	0,12
Max	0,18	-	-	0,34
n	6	1	1	7

10.1.4 CaO-Gehalt und -Menge

Die CaO-Gehalte zu Versuchsbeginn sind in allen Horizonten im Vergleich zu allen übrigen Terminen wesentlich erhöht. Die daraus resultierenden Differenzen, aber auch die für einen Semipodsol an sich auffallend hohen Werte lassen an ihrer Richtigkeit zweifeln. Die in Abschnitt 3 erwähnten analytischen Mängel bei Ca und Mg dürften hier konkret für 1964 zutreffen.

Die errechneten Mittelwerte und meist (hoch) signifikanten Differenzen sind in den Tabellen 10.4.1 und 10.4.2 und den Abbildungen 10.6 und 10.7 dargestellt. Bei der Interpretation sollte der Termin 1964 jedoch nur mit Vorbehalt berücksichtigt werden.

Von 1969 bis 1975 erfolgt im Auflagehumus eine höchst signifikante Zunahme der CaO-Konzentration von 0,15% auf 0,27%; danach findet keine weitere Änderung statt. Im A_{eh} -Horizont steigt der CaO-Gehalt ebenfalls im Zeitraum 1969-1975 von 0,08% auf 0,11% zu und fällt in den folgenden 8 Jahren wieder auf 0,07%. Der AE-Horizont zeigt den gleichen Trend: von 0,04% auf 0,10% und in den folgenden 8 Jahren auf 0,07%.

Bei der CaO-Menge sind die Werte von 1964 sinngemäß außer Acht zu lassen. Ab 1969 steigt der CaO-Vorrat im Auflagehumus kontinuierlich und signifikant von 127kg/ha auf 281kg/ha im Jahre 1983 an. Im Zeitraum 1975-1983 nimmt im Mineralboden die CaO-Menge um 130kg/ha ab.

Die Gesamtbilanz ist im Zeitraum 1975-1983 für den Mineralboden incl. Auflagehumus mit geringen 46kg/ha negativ.

Auch wenn die konkreten Ziffern in Frage gestellt werden, ist zu beachten, daß gegenüber 1964 überall Ca-Verluste eingetreten sind.

Abb.10.6: CaO - Gehalt

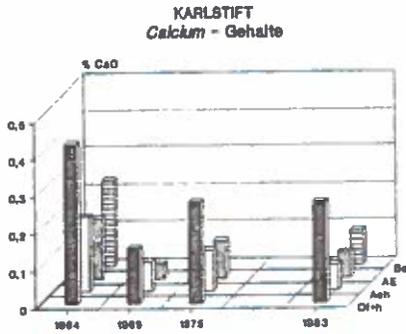
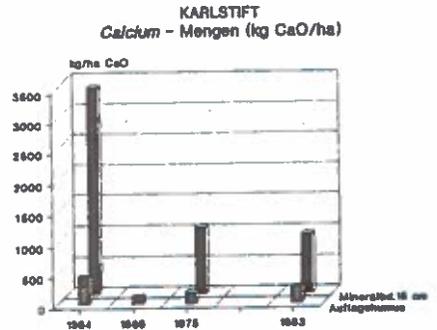


Abb.10.7: CaO - Menge



Tab.10.4.1: Karlstift, CaO - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,43	0,15	0,27	0,27
s	0,112	0,086	0,075	0,095
Min	0,28	0,05	0,10	0,16
Max	0,56	0,30	0,40	0,48
n	12	11	12	12
Horizont A _{ch}				
\bar{x}	0,20	0,08	0,11	0,07
s	0,076	0,051	0,040	0,026
Min	0,06	0,02	0,05	0,04
Max	0,28	0,16	0,15	0,13
n	10	9	10	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,16	0,04	0,10	0,07
s	0,084	0,021	0,042	0,031
Min	0,04	0,02	0,04	0,03
Max	0,28	0,05	0,15	0,13
n	4	2	5	7
Horizont B _s				
\bar{x}	0,23	0,02	0,15	0,09
s	0,097	-	-	0,042
Min	0,11	-	-	0,06
Max	0,34	-	-	0,18
n	6	1	1	7

Tab.10.4.2: Karlstift, CaO - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
	-----*-----			
\bar{x}	456	127	197	281
s	284	94	81	182
Min	172	14	80	92
Max	1.134	300	345	821
n	12	11	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	3.374	-	1.075	945
Min	1.949	-	522	608
Max	4.883	-	1.335	1.396

10.1.5 MgO-Gehalt und -Menge

Über das gesamte 19-jährige Zeitintervall ist im Auflagehumus fast keine Änderung der MgO-Konzentration eingetreten, der A_{eh} -Horizont weist einen Anstieg des Mittelwertes von 0,11 auf 0,17% auf (s.Abb.10.8). Zum Zwischentermin 1969 ist jedoch im Auflagehumus und A_{eh} -Horizont ein markantes Minimum mit statistisch höchst gesicherter Abnahme vorher und Anstieg nachher erkennbar. Im Zeitraum 1975-1983 bleibt der MgO-Gehalt im A_{eh} -Horizont konstant. Diese Singularität ist wohl wiederum nur mit Vorbehalt zu interpretieren. Gegen einen systematischen Fehler der Mg-Analyse zu diesem Termin spricht allerdings der recht stabile Wert im AE-Horizont. Der Verlauf der Änderungen deckt sich übrigens mit dem der CaO-Werte (s.Tab.10.4.1). Die MgO-Konzentration ändert sich innerhalb von 11 Jahren im AE-Horizont fast nicht, steigt aber in den folgenden 8 Jahren auf 0,30% an, jedoch ungesichert (s.Tab.10.5.1). Im B_s -Horizont steigt der MgO-Gehalt im Gesamt-Beobachtungszeitraum 1964-1983 signifikant von 0,22% auf 0,50% an.

Die MgO-Menge im Auflagehumus bleibt über 19 Jahre nahezu unverändert, zwischenzeitlich sinkt sie jedoch ebenfalls auf 35kg/ha bzw. 80kg/ha ab (s.Abb.10.9). Im mineralischen Oberboden erfährt die MgO-Menge über den Gesamtzeitraum einen kontinuierlichen Zuwachs von 2,1t/ha auf 4,8t/ha (s.Tab.10.5.2); die Beträge sind ungesichert.

Abb.10.8: MgO - Gehalt

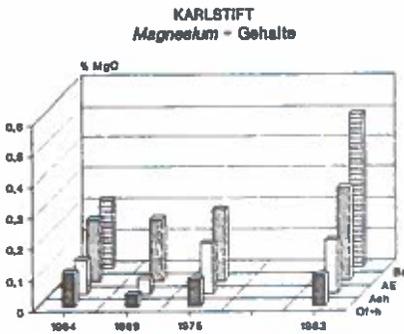
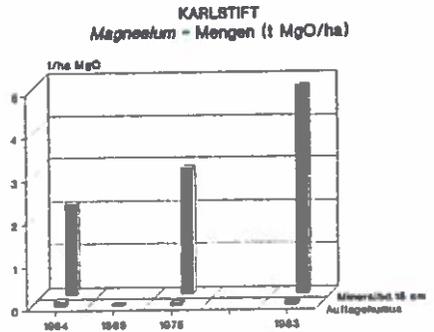


Abb.10.9: MgO - Menge



Tab.10.5.2: Karlstift, MgO - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
\bar{x}	119	35	80	111
s	100	36	63	93
Min	24	6	15	44
Max	400	109	233	393
n	12	11	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	2.116	-	2.914	4.805
Min	1.019	-	513	2.542
Max	3.584	-	4.100	6.879

Tab.10.5.1: Karlstift, MgO - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	0,11	0,04	0,09	0,10
s	0,050	0,033	0,037	0,047
Min	0,04	0,02	0,04	0,06
Max	0,20	0,11	0,17	0,23
n	12	11	12	12
Horizont A _{eh}				
\bar{x}	0,11	0,05	0,16	0,17
s	0,038	0,049	0,082	0,095
Min	0,04	0,02	0,08	0,06
Max	0,16	0,17	0,33	0,37
n	10	9	10	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,20	0,20	0,23	0,30
s	0,096	0,000	0,093	0,143
Min	0,08	0,20	0,11	0,09
Max	0,37	0,20	0,36	0,48
n	4	2	5	7
Horizont B _s				
\bar{x}	0,22	0,25	0,56	0,50
s	0,152	-	-	0,153
Min	0,08	-	-	0,37
Max	0,51	-	-	0,83
n	6	1	1	7

10.1.6 N-Gehalt und -Menge

Im Auflagehumus nimmt die N-Konzentration in der Periode 1964 bis 1983 kontinuierlich und signifikant von 1,21% auf 1,04% ab (s. Abb. 10.10). Ebenfalls vermindert sich der N-Gehalt im A_{eh}-Horizont kontinuierlich von 0,59% auf 0,36%. Im AE-Horizont steigt der N-Gehalt zunächst bis 1975, fällt aber in den folgenden 8 Jahren auf 0,16%. Auch im B_s-Horizont sinkt die N-Konzentration hoch signifikant auf die Hälfte des Ausgangswertes (s. Tab. 10.6.1).

Die N-Menge sinkt im Auflagehumus in den ersten 11 Jahren kontinuierlich und signifikant von 1,2t/ha auf 873kg/ha, und steigt in den folgenden 8 Jahren wieder auf über 1t/ha (s. Abb. 10.11). Einen steten N-Verlust erfährt der Mineralboden innerhalb von 19 Jahren von 3,7t/ha auf 2,1t/ha (s. Tab. 10.6.2).

Die Gesamtbilanz für den Oberboden (Mineralboden incl. Auflagehumus) ist im Beobachtungszeitraum 1964-1983 stark negativ; die

Abb.10.10: N - Gehalt

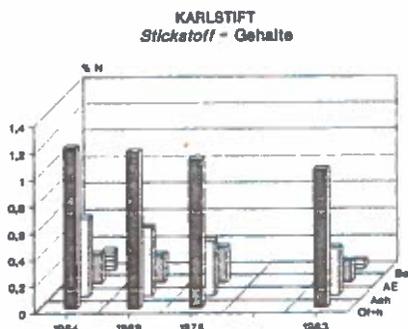
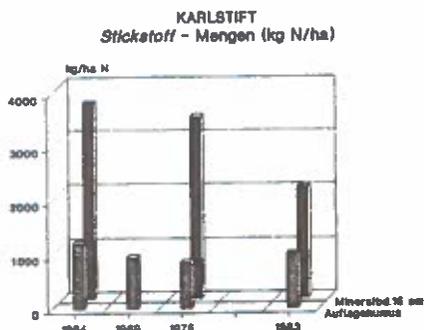


Abb.10.11: N - Menge



Tab.10.6.1: Karlstift, N - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
Auflagehumus				
\bar{x}	1,21	1,18	1,12	1,04
s	0,220	0,332	0,197	0,229
Min	0,90	0,78	0,79	0,67
Max	1,46	2,03	1,45	1,45
n	12	11	12	12
Horizont A _{ch}				
\bar{x}	0,59	0,52	0,41	0,36
s	0,242	0,170	0,133	0,110
Min	0,10	0,19	0,19	0,22
Max	0,95	0,87	0,59	0,56
n	10	9	10	12
Horizont AE				
\bar{x}	0,22	0,22	0,27	0,16
s	0,063	0,021	0,101	0,086
Min	0,17	0,20	0,17	0,09
Max	0,34	0,23	0,47	0,34
n	4	2	5	7
Horizont B _s				
\bar{x}	0,15	0,15	0,16	0,07
s	0,029	-	-	0,029
Min	0,12	-	-	0,04
Max	0,18	-	-	0,11
n	6	1	1	7

Tab.10.6.2: Karlstift, N - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
	Auflagehumus			
	-----*(*)-----			
\bar{x}	1.237	971	873	1.037
s	594	503	387	329
Min	598	334	278	356
Max	2.288	2.081	1.620	1.584
n	12	11	12	12
	Mineralboden bis 15 cm			
\bar{x}	3.646	-	3.376	2.052
Min	3.190	-	1.611	1.144
Max	4.931	-	4.833	2.785

10.1.7 C-Gehalt und -Menge

Die Analysendaten liegen wiederum nur für die Periode 1969-1983 vor. Im Auflagehumus nimmt der C-Gehalt in diesem Zeitraum kontinuierlich und signifikant von 34% auf 30% ab (s. Abb. 10.12), ebenso im A_{eh} -Horizont - jedoch ungesichert - von 13% auf 9%. Der AE-Horizont zeigt in den ersten 6 Jahren eine geringfügige Zunahme des C-Gehaltes von 5,7% auf 6,3% und anschließend eine Abnahme auf 4% (s. Tab. 10.7.1).

Die C-Menge im Auflagehumus steigt in 14 Jahren geringfügig von 29t/ha auf 29,9t/ha, der sinkende C-Gehalt wird offenbar durch steigendes Raumgewicht im Auflagehumus kompensiert, denn die Mächtigkeit des Horizontes bleibt konstant. Die org. Substanz wird offenbar dichter gelagert, ohne daß dabei wesentlich die Mineralbodenkomponente eingemengt würde (s. Fe_2O_3 -Gehalt!). Zwischenzeitlich findet eine Verminderung auf 25,5t/ha statt (s. Abb. 10.13). Im mineralischen Oberboden nimmt die C-Menge im Zeitraum 1975-1983 um fast 28t/ha ab (s. Tab. 10.7.2).

Die Gesamtbilanz für Mineralboden incl. Auflagehumus in der Periode 1975-1983 ist mit 23t/ha negativ, das entspräche einem Verlust von 40t/ha organische Substanz. Alle Beträge sind jedoch ungesichert.

Abb.10.12: C - Gehalt

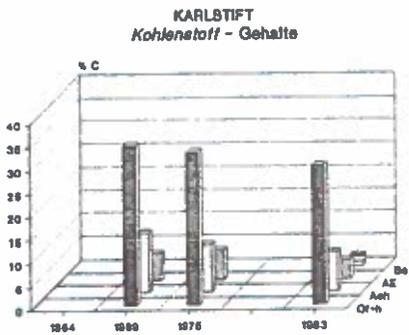
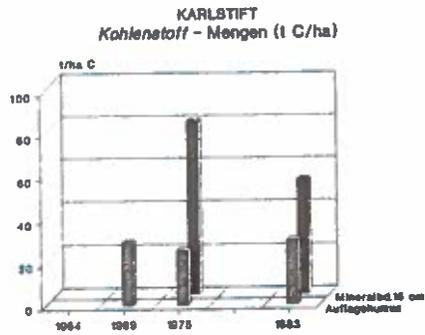


Abb.10.13: C - Menge



Tab.10.7.1: Karlstift, C - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	34,43	32,88	30,02
s	-	5,540	7,974	8,356
Min	-	25,0	20,7	16,8
Max	-	43,5	42,5	43,3
n	-	11	12	12
		Horizont A _{ch}		
\bar{x}	-	12,67	10,29	8,55
s	-	4,511	2,998	2,726
Min	-	6,7	5,5	4,2
Max	-	22,6	15,8	13,5
n	-	9	10	12
		Horizont AE		
\bar{x}	-	5,65	6,33	3,99
s	-	2,051	2,529	1,644
Min	-	4,2	3,3	2,5
Max	-	7,1	10,0	7,9
n	-	2	5	7
		Horizont B _s		
\bar{x}	-	-	3,8	2,36
s	-	-	-	0,730
Min	-	-	-	1,10
Max	-	-	-	3,5
n	-	-	1	7

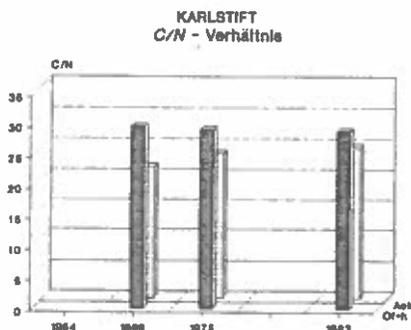
Tab.10.7.2: Karlstift, C - Menge in kg/ha

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	29.225	25.499	29.866
s	-	15.557	12.072	11.017
Min	-	8.087	8.220	13.200
Max	-	61.200	45.281	48.672
n	-	11	12	12
		Mineralboden bis 15 cm		
\bar{x}	-	-	80.621	52.803
Min	-	-	38.606	36.759
Max	-	-	106.095	59.721

10.1.8 C/N-Verhältnis

Im Auflagehumus weist das weite C/N-Verhältnis von 29 bis 30 auf schlechte Humusqualität. Es bleibt über den Zeitraum 1969-1983 weitgehend konstant (s.Abb.10.14). Im A_{eh} -Horizont ist das C/N-Verhältnis mit 22 zunächst günstiger, steigt jedoch im Beobachtungszeitraum auf 25 (s.Tab.10.8). Die Durchmischung von Auflagehumus und Mineralboden durch Organismen findet kaum statt.

Abb.10.14: C/N - Verhältnis



Tab.10.8: Karlstift, C/N - Verhältnis

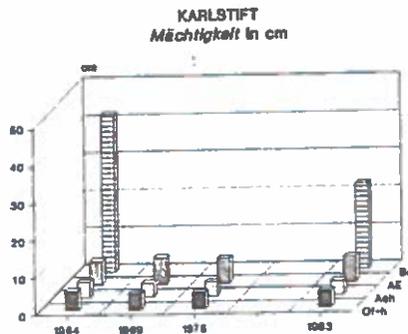
	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	-	29,75	29,33	29
s	-	4,751	6,005	4,710
Min	-	20	21	22
Max	-	38	42	37
n	-	11	12	12
		Horizont A _{eh}		
\bar{x}	-	21,5	23,58	24,75
s	-	8,692	2,875	7,593
Min	-	13	19	15
Max	-	37	28	38
n	-	9	10	12

10.1.9 Humusmächtigkeit und Fe₂O₃-Gehalt

Die Mächtigkeit des Auflagehumus bleibt mit 4,5 bis 5cm über den gesamten Versuchszeitraum annähernd gleich, wobei der N-Gehalt (über 19 Jahre), der C- und Fe₂O₃-Gehalt (über 14 Jahre) signifikant abnehmen.

Ebenso verhält sich der A_{eh}-Horizont mit einer Durchschnittsmächtigkeit von fast 4cm (s.Abb.10.15), einer signifikanten Abnahme des N-Gehaltes und nicht gesicherten Verminderung des C-Gehaltes; der Fe₂O₃-Gehalt schwankt in relativ engen Grenzen mit einer Gesamtabnahme von 1,68% auf 1,32% (s.Tab.10.10). Der AE-Horizont schwankt zwischen 6,3 und 7cm Mächtigkeit (s.Tab.10.9) mit einem Fe₂O₃-Gehalt zwischen 1,6% und 2,1%.

Abb.10.15: Mächtigkeit in cm



Tab.10.9: Karlstift, Mächtigkeit in cm

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	5,3	4,5	4,6	4,6
s	2,301	2,374	1,240	0,996
Min	3	1	2	3
Max	10	8	6	6
n	12	11	12	12
		Horizont A ^{ch}		
\bar{x}	4,2	3,8	3,9	3,8
s	1,337	1,141	1,860	0,965
Min	2,0	2,0	2,0	3,0
Max	6,0	6,3	8,0	6,0
n	10	9	10	12
		Horizont AE		
\bar{x}	6,3	7,0	6,6	6,7
s	1,708	4,243	4,099	1,799
Min	4,0	4,0	3,0	4,0
Max	8,0	10,0	13,0	9,0
n	4	2	5	7
		Horizont B ^s		
\bar{x}	42,2	28,0	8,0	22,9
s	21,377	-	-	8,591
Min	24,0	-	-	6,0
Max	80,0	-	-	31,0
n	6	1	1	7

Tab.10.10: Karlstift, Fe₂O₃ - Gehalt in %

	1964	1969	1975	1983
		Auflagehumus		
\bar{x}	1,02	0,89	0,85	0,71
s	0,915	0,211	0,381	0,197
Min	0,16	0,60	0,37	0,46
Max	3,11	1,35	1,62	1,10
n	12	11	12	12
		Horizont A ^{ch}		
\bar{x}	1,68	1,41	1,74	1,32
s	0,595	0,284	0,591	0,326
Min	1,12	1,05	1,00	0,78
Max	3,19	2,08	3,00	1,83
n	10	9	10	12
		Horizont AE		
\bar{x}	2,09	1,55	2,14	1,94
s	0,628	0,071	0,555	0,391
Min	1,36	1,50	1,37	1,27
Max	3,35	1,60	2,80	2,45
n	4	2	5	7
		Horizont B ^s		
\bar{x}	2,97	3,16	3,00	2,47
s	0,450	-	-	0,205
Min	2,40	-	-	2,00
Max	3,40	-	-	3,00
n	12	11	12	12

10.2 Zusammenhänge der Nadelspiegelwerte mit den Nährelementen im Boden

Tab.10.11: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Bodenparametern der Versuchsfläche Karlstift

Element	Horizont	n	r	Signifikanz
N	O	24	-0,181	
	Aeh	24	-0,395	*
	AE	24	-0,148	
	Bs	20	-0,314	
P ₂ O ₅	O	24	-0,195	
	Aeh	24	0,344	*
	AE	24	0,205	
	Bs	20	0,142	
K ₂ O	O	24	0,188	
	Aeh	24	0,176	
	AE	24	0,066	
	Bs	20	0,208	
CaO	O	24	0,178	
	Aeh	24	0,500	**
	AE	24	0,374	*
	Bs	20	0,431	*
MgO	O	24	0,023	
	Aeh	24	-0,434	*
	AE	24	-0,488	*
	Bs	20	-0,710	***(*)

Tab.10.12: Korrelationskoeffizient r zwischen Elementgehalten in 1-jährigen Fichtennadeln und Elementvorräten im Boden der Versuchsfläche Karlstift

Element	Profil	r	Signifikanz
N	Auflagehumus	-0,072	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,106	
P ₂ O ₅	Auflagehumus	-0,371	*
	Mineralboden bis 15 cm	-0,128	
K ₂ O	Auflagehumus	-0,406	*
	Mineralboden bis 15 cm	0,162	
CaO	Auflagehumus	-0,020	
	Mineralboden bis 15 cm	0,469	*(*)
MgO	Auflagehumus	0,116	
	Mineralboden bis 15 cm	-0,525	**

10.2.1 Stickstoff

10.2.1.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Nur die N-Gehalte im A_{eh} -Horizont korrelieren schwach aber statistisch gesichert negativ mit den Nadelspiegelwerten; die Streuungen der Nadelgehalte können zu 16% aus den Schwankungen der N-Gehalte des A_{eh} -Horizontes erklärt werden.

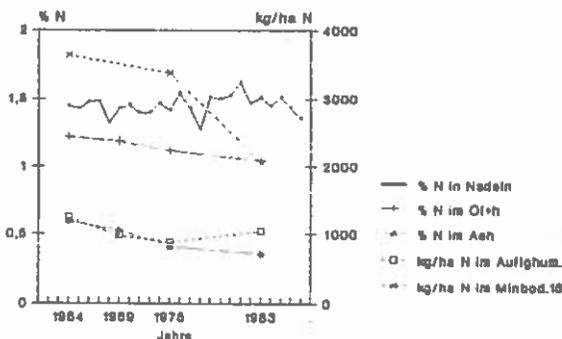
Zu allen anderen Horizonten sind die Beziehungen ebenfalls negativ, aber sehr schwach und nicht gesichert (s.Tab.10.11 und 10.12).

10.2.1.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte schwanken schwach und ohne erkennbare Tendenz im Bereich "mäßiger Versorgung" mit Einzelwerten darüber (s.Abb.10.16). Das Maximum liegt im Jahr 1981. Die im Zeitraum 1964-1983 kontinuierlich abnehmenden N-Gehalte und -Mengen im Boden lassen dazu keinen Zusammenhang erkennen.

Abb.10.16: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Stickstoff

Nadelspiegelwert,
Gehalt und Menge im Boden
Stickstoff



Karlstift

10.2.2 Phosphor

10.2.2.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

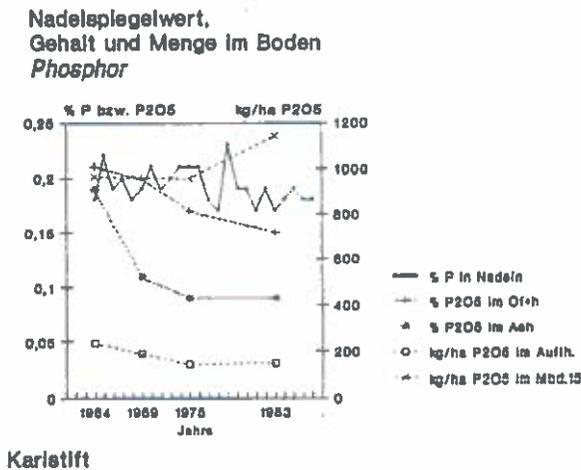
Signifikant schwach positiv korrelieren die P_2O_5 -Gehalte im A_{eh} -Horizont bzw. negativ die P_2O_5 -Mengen im Auflagehumus mit den Nadelspiegelwerten. Das Bestimmtheitsmaß beträgt 12% bzw. 14%. Sonst bestehen keine Beziehungen (s.Tab.10.11 und 10.12).

10.2.2.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte liegen weit über dem Grenzwert für "ausreichend versorgt"; die Tendenz ist in der 19-jährigen Untersuchungsperiode geringfügig abnehmend (s.Abb.10.17).

Im Boden ist der Trend ebenfalls in allen Straten fallend, ein Zusammenhang aber nur undeutlich erkennbar.

Abb.10.17: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Phosphor



10.2.3 Kalium

10.2.3.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

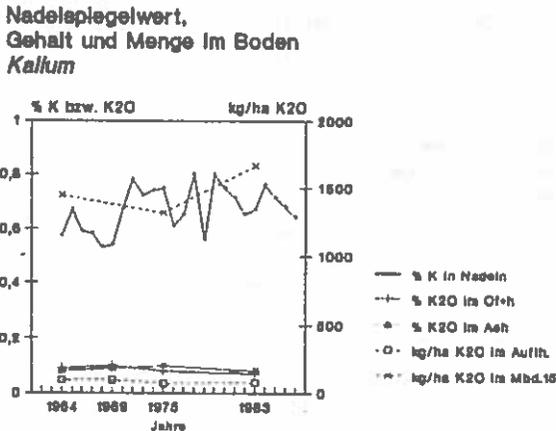
Nur zur K_2O -Menge im Auflagehumus besteht eine negative, signifikante Korrelation mit den Nadelspiegelwerten. Die Schwankungen der K-Nadelgehalte können zu 17% aus den Streuungen der K_2O -Menge im Auflagehumus erklärt werden. Sonst bestehen keine Beziehungen (s.Tab.10.11 und 10.12).

10.2.3.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Nadelspiegelwerte liegen durchwegs weit über dem Grenzwert von 0,42% für ausreichende K-Versorgung. Die stark schwankenden Werte zeigen einen generell steigenden Trend (s.Abb.10.18).

Zu den im Abschnitt 10.1.3. beschriebenen Veränderungen im Boden ist kein Zusammenhang erkennbar.

Abb.10.18: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Kalium



Karlstift

10.2.4 Calcium

10.2.4.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

Zwischen den Ca-Gehalten in den Mineralbodenhorizonten und den Nadelgehalten bestehen durchwegs gesicherte - im A_{eh} sogar hoch gesicherte - positive Beziehungen (s.Tab.10.11). Die Steuungen der Ca-Gehalte der Nadeln lassen sich zu 25% bzw. 14% bzw. 18% aus den Schwankungen der CaO-Gehalte im A_{eh} - bzw. AE- bzw. B_s -Horizont erklären.

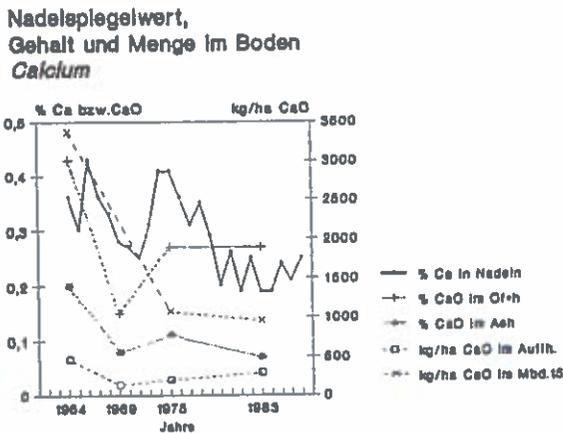
Zusätzlich steht die CaO-Menge signifikant im Mineralboden mit den Nadelspiegelwerten in Beziehung (s.Tab.10.12). Das Bestimmtheitsmaß ist 22%.

10.2.4.2 Graphischer Vergleich der Trends

Innerhalb der 19 Jahre sinkt der Ca-Gehalt der Nadeln deutlich, mit einem Zwischenmaximum 1974/75. Sie sinken unter den Grenzwert von 0,36% Ca für "ausreichend versorgt" (s.Abb.10.19).

Mit Ausnahme der (unsicheren) CaO-Menge im obersten Mineralboden zeigen alle CaO-Kennwerte einen parallelen absinkenden Verlauf, einschließlich eines Zwischenmaximums im Jahre 1975.

Abb.10.19: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden Calcium



10.2.5 Magnesium

10.2.5.1 Korrelation zwischen Nadel und Boden

In allen Mineralbodenhorizonten korrelieren die Mg-Werte signifikant negativ mit den Mg-Gehalten der Nadeln (s.Tab.10.11). Hierbei sind die Zusammenhänge relativ eng, im B_s -Horizont beträgt r sogar höchst gesichert $-0,71$. Die Schwankungen der Mg-Nadelgehalte können zu 18% bzw. 14% bzw. 50% aus den Schwankungen der MgO-Gehalte im A_{eh} - bzw. AE- bzw. B_s -Horizont erklärt werden.

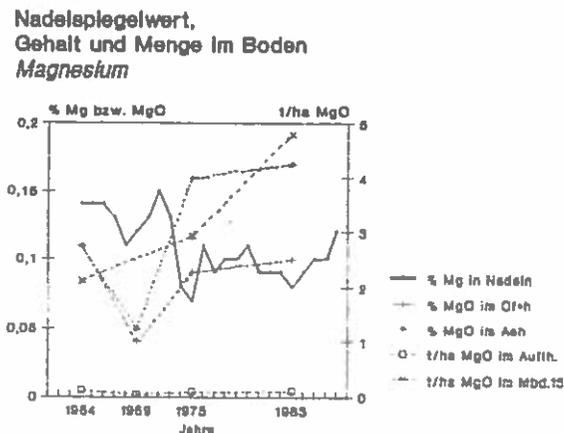
Auch zur MgO-Menge im Mineralboden besteht eine hoch gesicherte negative Beziehung von $r=-0,53$; das Bestimmtheitsmaß ist 28%. Zum Auflagehumus besteht keine Beziehung (s.Tab.10.12).

10.2.5.2 Graphischer Vergleich der Trends

Die Tendenz der Nadelspiegelwerte ist bis 1983 sinkend (s.Abb.10.20) in Richtung Mangel.

Der eher steigende Trend im Boden zeigt dazu keine Beziehung. Auch auf dieser Versuchsfläche ist somit der Mg-Mangel in den Nadeln nicht auf MgO-Mangel im Boden zurückzuführen.

Abb.10.20: Nadelspiegelwert, Nährstoffgehalt und -menge im Boden
Magnesium



11 Gemeinsame Interpretation der Versuchsflächen

11.1 pH-Wert

Die Böden aller 7 Versuchsflächen sind stark sauer und karbonatfrei (mit Ausnahme des tieferen Unterbodens in Silz). Nur in Silz und Unterangerberg liegen die pH-Werte im Unterboden über 4,2 sonst stets darunter, in Grottenhof sogar unter pH 3,8. Die mittleren pH-Werte im Oberboden (A_h und AE) und im Auflagehumus liegen überall unter 4,2 - meist sogar merklich tiefer (s. Abb. 11.1 und 11.2).

In Helfenberg blieben die pH-Werte im Auflagehumus und A_h -Horizont während des gesamten 20-jährigen Beobachtungszeitraumes nahezu unverändert, im A_h -Horizont allein auch in Karlstift (schwach sinkend um 0,1 pH).

Alle übrigen Humushorizonte der untersuchten Versuchsflächen sind während des Gesamt-Beobachtungszeitraumes saurer geworden, allerdings mit uneinheitlichen Schwankungen innerhalb dieses Zeitraumes. Grottenhof erreichte im Jahre 1967 ein deutliches Maximum, Sierning ein solches 1973. Die pH-Werte der restlichen Flächen sanken mehr oder weniger kontinuierlich ab.

Abb. 11.1: Auflagehumus

20-jähriger Trend der pH - Werte
im Auflagehumus
auf den Versuchsflächen

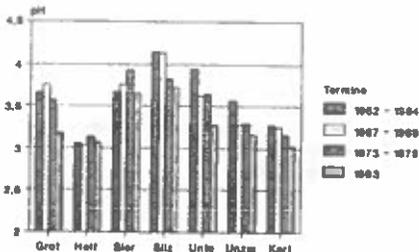
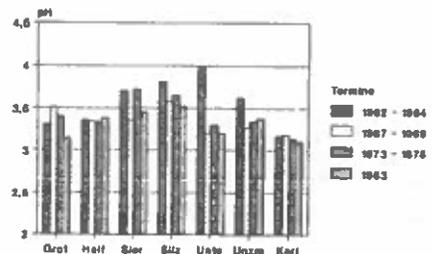


Abb. 11.2: A_h -Horizont

20-jähriger Trend der pH - Werte
im Bodenhorizont A_h
auf den Versuchsflächen



11.2 Phosphor

Die niedrigste P_2O_5 -Versorgung zeigt Silz mit 0,05 bis 0,08% im A_h -Horizont und zuletzt unter 0,10% im Auflagehumus; die höchste Grottenhof und Unzmarkt mit stets über 0,12%.

Der P_2O_5 -Gehalt ist mit zwei Ausnahmen zunächst - bis 1967/69 - angestiegen und danach wieder abgesunken. Lediglich in Karlstift - und im Mineralboden allein in Unterangerberg - hat diese Abnahme bereits seit Beginn eingesetzt (s. Abb. 11.3 und 11.4).

Im Mineralboden von Grottenhof und Silz sinkt der P_2O_5 -Gehalt bis 1983 nur auf die Ausgangskonzentration, in allen anderen Versuchsflächen liegen die Endgehalte deutlich tiefer als zu Beginn der Beobachtung.

Da vielfach auch der Vorrat an organischer Substanz (die C-Menge) abnahm, scheidet ein Verdünnungseffekt als Ursache aus; vielmehr ist ein tatsächlicher Verlust an P_2O_5 eingetreten.

Die P_2O_5 -Mengen im Auflagehumus und obersten Mineralboden verhalten sich im wesentlichen sinngemäß. Die Differenzen liegen in plausiblen Größenordnungen (0-80kg/ha im Auflagehumus).

Die mittleren Nadelspiegelwerte liegen auf allen Versuchsflächen und zu allen Beobachtungsterminen im Bereich ausreichender Versorgung; sie variieren zwischen den Flächen jedoch deutlich in der gleichen Reihung wie die Gehalte im Mineralboden. Mit dem Auflagehumus ist eine solche Korrelation bestenfalls bei den Werten von 1983 erkennbar.

Abb. 11.3: Auflagehumus

20-jähriger Trend der P_2O_5 - Gehalte im Auflagehumus auf den Versuchsflächen

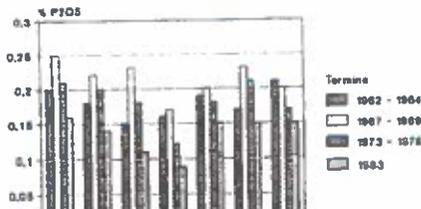
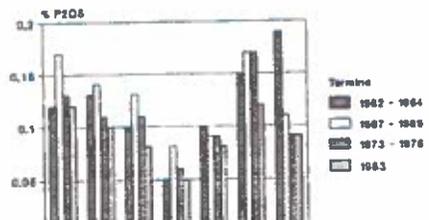


Abb. 11.4: A_h -Horizont

20-jähriger Trend der P_2O_5 - Gehalte im Bodenhorizont A_h auf den Versuchsflächen



11.3 Kalium

Auch die mittlere K_2O -Ausstattung ist in Silz am geringsten und mit ca. 0,05% im A_h -Horizont dort und in Unterangerberg unzureichend. Helfenberg sticht von allen Versuchflächen mit fast 0,30% Mittelgehalt im Mineralboden und 0,15 % im Auflagehumus deutlich ab, was aus dem Substrat - Perlgneis - zu erklären ist.

Die K_2O -Gehalte sind mit Ausnahme von Helfenberg (geringfügige Zunahme im Mineralboden) und Silz (gleichbleibender Gehalt im Auflagehumus) am Ende des Beobachtungsraumes (1983) am tiefsten (s.Abb.11.5 und 11.6). Die Maxima liegen - weniger einheitlich als bei P_2O_5 - meist im Zeitraum 1967/69 nach einem Anstieg von etwas niedrigeren Werten zu Beobachtungsbeginn.

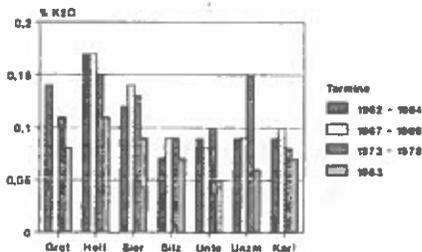
Auch die K_2O -Mengen nehmen - mit Ausnahme des Mineralbodens von Karlstift - über den Gesamtzeitraum hinweg einheitlich ab. Die errechneten Differenzen im Auflagehumus betragen 1 bis 63kg/ha. Die für 15cm Mineralboden abgeleiteten meist statistisch nicht absicherbaren Beträge erscheinen etwas groß, liegen aber immer noch in plausiblen Größenordnungen. Zumindest ist ein abnehmender Trend auch im Mineralboden glaubwürdig belegt.

Innerhalb der überall ausreichenden Nadelspiegelwerte korreliert Helfenberg mit einer K-Luxusversorgung von mittleren 0,75% mit den dort auffallend hohen K_2O -Gehalten des Bodens.

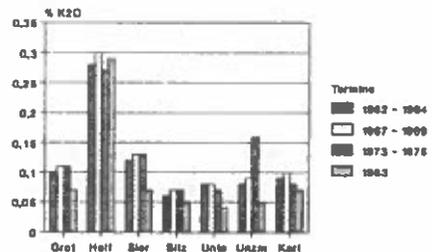
Abb.11.5: Auflagehumus

Abb.11.6: A_h -Horizont

20-jähriger Trend der K_2O - Gehalte im Auflagehumus auf den Versuchflächen



20-jähriger Trend der K_2O - Gehalte im Bodenhorizont A_h auf den Versuchflächen



11.4 Calcium

Die CaO-Ausstattung im A_h -Horizont ist bei allen Versuchsflächen gering, nur in Silz liegt sie - um 0,2% schwankend - etwas höher; offenbar kommt hier der karbonathältige Untergrund zur Wirkung.

Die Humusaufgaben sind im Durchschnitt reicher an CaO, besonders Sierning, Silz und Unterangerberg zeigen eine beachtliche (biogene) Anreicherung gegenüber dem obersten Mineralboden. Helfenberg, sonst eine vergleichsweise nährstoffreiche Braunerde, hat besonders im Auflagehumus, aber auch im Mineralboden die geringsten CaO-Gehalte aller Versuchsflächen.

Die CaO-Gehalte schwanken innerhalb von 20 Jahren uneinheitlich. Im Auflagehumus zeigen Grottenhof, Silz und Karlstift eine deutliche per Saldo-Abnahme mit einem Zwischenminimum 1967/69. In Unzmarkt tritt keine Veränderung ein. Helfenberg zeigt eine kontinuierliche Zunahme, Sierning eine geringe Zunahme über die Gesamtdistanz nach zwischenzeitlichen Höchstwerten von 1968 und 1973 (s. Abb. 11.7).

Die Schwankungen im A_h -Horizont zeigen mit Ausnahme vielleicht von Silz keine Beziehung zu jenen im Auflagehumus. In Helfenberg ist sie sogar gegenläufig (s. Abb. 11.8). Trotz der geringen Ausgangswerte nimmt der Gehalt in Sierning, Unzmarkt, Karlstift und sogar in Helfenberg merklich weiter ab. In Silz sinkt der CaO-Gehalt ebenfalls, aber von einem höheren Ausgangswert. Aus dem Rahmen fällt Unterangerberg: bei sonst ähnlichem Verlauf wie Grottenhof sind 1973 die CaO-Gehalte beider Humushorizonte extrem erhöht, auf weit über 1% CaO. Dies läßt auf äußere Störungen (Strassenbau?, Kalkung?) schließen. Die Nadelspiegelwerte zeigen allerdings keine entsprechende Schwankung.

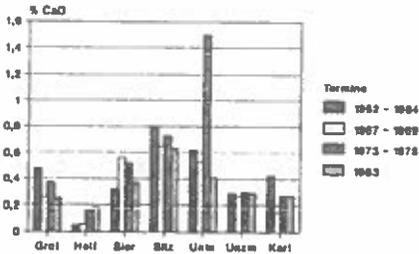
Die CaO-Mengen nehmen im Mineralboden auf allen Versuchsflächen ab; im Auflagehumus nur auf 4 Flächen um durchschnittlich 200 kg/ha, in Helfenberg und Unzmarkt hingegen zu; in Sierning bleibt die Menge unverändert. Die für den Mineralboden hochgerechneten Beträge und demnach auch die Gesamtbilanzen sind allerdings unsicher.

Die Nadelspiegelwerte weisen eine mäßige Ca-Versorgung auf, nur Helfenberg liegt auch hier - weitab am tiefsten - zuletzt im Mangelbereich.

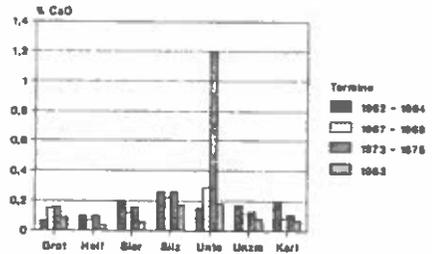
Abb.11.7: Auflagehumus

Abb.11.8: A_h -Horizont

20-jähriger Trend der CaO - Gehalte
im Auflagehumus
auf den Versuchsflächen



20-jähriger Trend der CaO - Gehalte
im Bodenhorizont A_h
auf den Versuchsflächen



11.5 Magnesium

Die Ausstattung des Oberbodens mit MgO ist in Karlstift gering, in Helfenberg dem Substrat entsprechend reich, in den übrigen Flächen mäßig. Die Gehalte im Auflagehumus sind ebenfalls in Karlstift gering, bei allen anderen Versuchsflächen durchschnittlich.

Im Auflagehumus hat der MgO-Gehalt abgenommen - mit Ausnahme von Helfenberg und Unterangerberg. In Unzmarkt war diese Abnahme sehr stark. In Helfenberg und Unterangerberg liegen die Endgehalte über den Ausgangswerten. Fast alle Flächen zeigen jedoch ein Zwischenmaximum zum Termin 1973/75, bei manchen ist es der absolute Höchstwert (s.Abb.11.9).

Im A_h -Horizont hat der MgO-Gehalt auf allen Versuchsflächen über den Gesamtzeitraum hinweg eindeutig zugenommen. In Grottenhof und Helfenberg ist dieser Zuwachs besonders hoch (s.Abb.11.10). Die meisten Flächen zeigen auch in diesem Horizont ein Zwischenmaximum 1973/75; bei 4 Flächen ist dieses der Höchstwert über-

Mit Ausnahme von Silz ist auch ein genereller Trend zur Zunahme der Gesamtmengen erkennbar. Die Mengenbilanz ist jedoch bei MgO, wie weiter oben wiederholt besprochen, am unsichersten. Auf eine Diskussion konkreter Daten wird daher verzichtet.

Die Mg-Nadelspiegelwerte liegen nur in Karlstift zuletzt im Bereich nicht ausreichender Versorgung, alle anderen Flächen sind ausreichend versorgt.

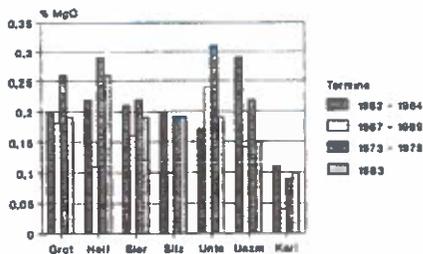
In Helfenberg, Sierning und Karlstift nehmen die Mg-Nadelspiegelwerte - gegenläufig zur Zunahme im Boden - ab. Die Hypothese, daß Mg-Mangel in den Nadeln durch MgO-Mangel im Boden hervorgerufen wird, kann zumindest hier nicht bestätigt werden.

(Die Bodenanalysen betreffen allerdings den Gesamtvorrat und nicht eine aktuell verfügbare Fraktion!).

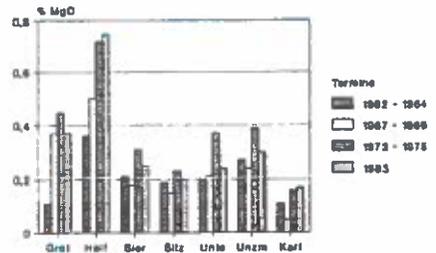
Abb.11.9: Auflagehumus

Abb.11.10: A_h-Horizont

20-jähriger Trend der MgO - Gehalte im Auflagehumus auf den Versuchsflächen



20-jähriger Trend der MgO - Gehalte im Bodenhorizont A_h auf den Versuchsflächen



11.6 Stickstoff

Der N-Haushalt ist eher über das C/N-Verhältnis als über den N-Gehalt allein zu beurteilen (siehe dort). Auffallend gering ist der N-(und Humus-)Gehalt in Silz.

Die N-Gehalte im Auflagehumus (s. Abb.11.11) nehmen auf allen Flächen mit Ausnahme von Helfenberg ab; in Silz, Unterangerberg, Unzmarkt und Karlstift um relativ deutliche Beträge. Vier Flä-

termin (1967/69) ein Maximum, erst danach setzt die Abnahme ein. Im A_h -Horizont nimmt der N-Gehalt (s. Abb. 11.12) in Sierning, Unzmarkt und Karlstift den gleichen abnehmenden Verlauf wie im Auflagehumus. In Grottenhof und Silz bleibt er unverändert; in Unterangerberg steigt der N-Gehalt hingegen - in genau umgekehrtem Verlauf zum Auflagehumus - kräftig an.

Auch die N-Gesamt mengen nehmen mit zwei Ausnahmen generell ab; Karlstift verliert fast 2t/ha. In Grottenhof wird trotz gleichbleibender Gehalte der Vorrat um 1t/ha erhöht, in Unterangerberg gleichzeitig mit der Konzentrationserhöhung im A_h -Horizont um 700kg/ha.

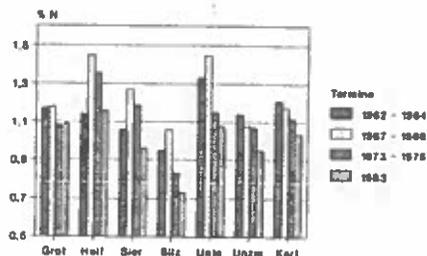
Im Auflagehumus allein schwanken die N-Mengen um bis zu 200kg/ha; positiv in Sierning, Unterangerberg und Unzmarkt, negativ bei den restlichen Versuchsflächen.

Die Nadelspiegelwerte zeigen dazu keinen Zusammenhang; lediglich in Silz sinken diese ebenso wie im Auflagehumus (d.h. die Streu wird immer N-ärmer) bei ebenfalls niedrigen Durchschnittswerten.

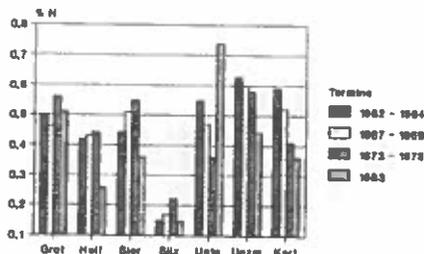
Abb. 11.11: Auflagehumus

Abb. 11.12: A_h -Horizont

20-jähriger Trend der N - Gehalte
im Auflagehumus
auf den Versuchsflächen



20-jähriger Trend der N - Gehalte
im Bodenhorizont A_h
auf den Versuchsflächen



11.7 Kohlenstoff (Organische Substanz)

Für den ersten Beobachtungstermin (1962/64) fehlen die Analysen des C-Gehaltes und damit Daten über den Humusgehalt.

beiden Horizonten fast überall gleichsinnig mit den N-Gehalten: im Auflagehumus nimmt der Gehalt an organischer Substanz (s. Abb. 11.13) überwiegend ab, was als Mineralisierung und Humusverbesserung gedeutet werden kann; im Mineralboden sind kontinuierlicher Humusverlust in Sierning und Karlstift, gleichbleibende oder schwankende Gehalte auf den übrigen Flächen festzustellen (s. Abb. 11.14).

Eine Ausnahme ist Unterangerberg mit einem beachtlichen Zuwachs an organischer Substanz, gleichlaufend mit jenem an N in Gehalt und Menge.

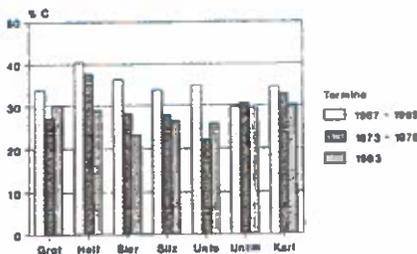
In Unzmarkt bleibt der Humusgehalt gleich, der dortige N-Verlust geht daher zur Gänze zu Lasten des verschlechterten C/N-Verhältnisses.

Den höchsten C-Gehalt (12-14%) und damit Humusgehalt im A_h -Horizont haben Grottenhof und Unzmarkt (12-14%), den geringsten hat Silz mit fast konstanten 5%.

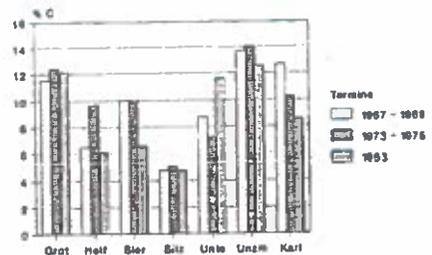
Abb. 11.13: Auflagehumus

Abb. 11.14: A_h -Horizont

15-jähriger Trend der C - Gehalte im Auflagehumus auf den Versuchsfächen



15-jähriger Trend der C - Gehalte im Bodenhorizont A_h auf den Versuchsfächen



11.8 C/N-Verhältnis

Auch C/N-Verhältnisse stehen nur für die nachfolgenden 3 Termine zur Verfügung.

Trotz meist paralleler Trends der N- und C-Gehalte hat sich das

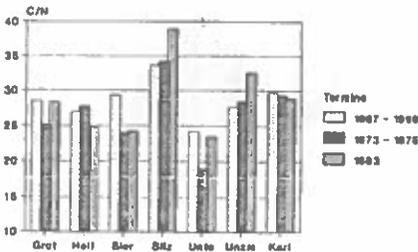
verändert. In Silz und Unzmarkt ist es in beiden Humushorizonten, in Karlstift nur im Unterboden weiter und damit die Humusqualität schlechter geworden. Silz erreicht mit fast 40 bzw. 35 extrem ungünstige Werte, gefolgt von Unzmarkt mit fast 30 im A_h -Horizont - Werte, welche auf Rohhumus weisen.

In Sierning ist das C/N-Verhältnis enger, die Humusform günstiger geworden. In Helfenberg gilt dies nur für den Auflagehumus (bei Verschlechterung im Mineralboden), in Grottenhof für den A_h -Horizont. Alle anderen Werte sind annähernd unverändert geblieben (s. Abb. 11.15 und 11.16).

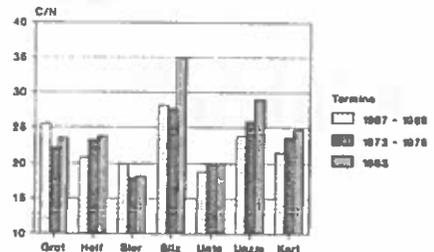
Abb. 11.15: Auflagehumus

Abb. 11.16: A_h -Horizont

15-jähriger Trend des C/N-Verhältnisses im Auflagehumus auf den Versuchsflächen



15-jähriger Trend des C/N-Verhältnisses im Bodenhorizont A_h auf den Versuchsflächen



11.9 Mächtigkeit der Humushorizonte

Die Mächtigkeit des Auflagehumus nahm in Unzmarkt während der zwei Jahrzehnte stark zu, in Unterangerberg geringfügiger. Auf den restlichen Versuchsflächen ist sie etwa gleich wie zu Beginn der Beobachtung (s. Abb. 11.17) - in Karlstift hat sie eher abgenommen. Auffällig ist die vorübergehende Akkumulation von Auflagehumus zum zweiten Aufnahmeterrin (1967/69) in Silz und Unterangerberg. Gleichzeitig trat dort ein temporäres Maximum des N- und C-Gehaltes (mehr organische Substanz) auf. Beides sind Indizien für vermehrten Bestandesabfall im ersten Beobachtungs-

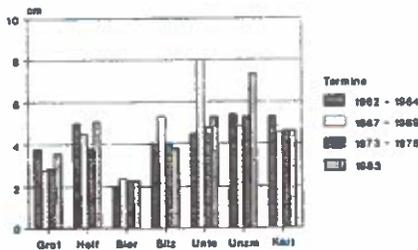
- altersbedingt oder nach Durchforstung - sein.

Die Mächtigkeit des A_h -Horizontes ist in Silz aufgrund des Bodentyps am geringsten (s. Abb. 11.18), gefolgt von Grottenhof. Die zum Teil beachtlichen Schwankungen auf einigen Flächen sind von geringer Aussagekraft. Die Humusbilanz ist davon nur teilweise berührt, außerdem beruhen die Tiefenangaben sicherlich auch auf wechselnder, subjektiver Horizontabgrenzung.

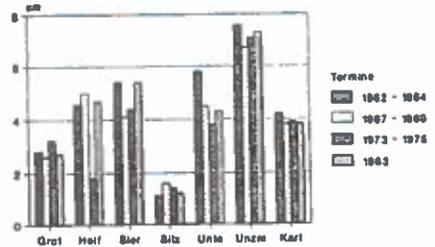
Abb. 11.17: Auflagehumus

Abb. 11.18: A_h -Horizont

20-jähriger Trend der Mächtigkeit im Auflagehumus auf den Versuchsflächen



20-jähriger Trend der Mächtigkeit im Bodenhorizont A_h auf den Versuchsflächen



11.10 Mengenvergleich

In der nachfolgenden Tabelle 11.1 wird eine Übersicht über die Gesamtbilanzen der untersuchten Elemente in Auflagehumus und 15 cm Mineralboden für alle Versuchsflächen gegeben.

Auf die Unsicherheit der Mengenangaben durch die Fehlerfortpflanzung bei der Hochrechnung aus oft recht wenigen und stark streuenden Einzeldaten sei hier nochmals hingewiesen.

Wesentlich sicherer sind die Bilanzen für den Auflagehumus allein.

Für Helfenberg ist überhaupt keine Bilanz möglich.
 Auf die Daten wird in den jeweiligen Abschnitten Bezug genommen.
 Die mittleren Nadelspiegelwerte sind in Tabelle 11.2 zusammengestellt.

Tab.11.1: Gesamtbilanzen bis 15 cm Mineralboden in t/ha

	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO	MgO	N	C
Grottenhof	-0,4	-1	-2,6	3	1,1	-
Helfenberg	-	-	-	-	-	-
Sierning	-0,3	-0,5	-1,9	1,2	-0,03	-
Silz	-0,2	-1	-3	-0,8	-0,5	-
Unterangerberg	-0,03	-0,6	-3,7	1,8	0,7	-
Unzmarkt	-0,2	-0,2	-1,1	1,5	-1	-
Karlstift	-0,1	0,2	-	2,7	-1,8	-

Tab.11.2: Mittelwert und Standardabweichung der Nadelspiegelwerte über den Zeitraum 1962-1983

	N%	P%	K%	Ca%	Mg%	
Grottenhof	1,27 0,096	0,18 0,015	0,69 0,068	0,43 0,064	0,14 0,036	\bar{x} s
Helfenberg	1,49 0,092	0,21 0,028	0,75 0,068	0,13 0,033	0,14 0,027	\bar{x} s
Sierning	1,46 0,115	0,14 0,020	0,57 0,091	0,38 0,086	0,12 0,034	\bar{x} s
Silz	1,30 0,112	0,14 0,024	0,62 0,084	0,35 0,064	0,13 0,022	\bar{x} s
Unterangerberg	1,53 0,107	0,17 0,021	0,64 0,105	0,39 0,108	0,11 0,020	\bar{x} s
Unzmarkt	1,29 0,071	0,18 0,017	0,48 0,073	0,41 0,069	0,14 0,020	\bar{x} s
Karlstift	1,45 0,077	0,19 0,017	0,67 0,087	0,31 0,071	0,11 0,024	\bar{x} s

Eine Diskussion über die Nährstoffversorgung der Nadeln ist nicht Gegenstand dieser bodenkundlichen Untersuchung

12 Zusammenfassung

Bei sieben, seit 1962/64 permanent beobachteten Exaktdüngungsversuchsflächen der FBVA werden in der vorliegenden Arbeit die Böden der ungedüngten Parzellen auf Veränderungen einiger chemischer Merkmale und Inhaltsstoffe während einer 20-jährigen Beobachtungsperiode untersucht. Auch wurde geprüft, ob zwischen dem Ernährungszustand von Fichte und den Gehalten der entsprechenden Nährelemente im Boden Beziehungen bestehen.

Eine ausreichend gesicherte Berechnung flächenproportionaler Elementmengen für Stoffbilanzen war nur für den Auflagehumus und mit Vorbehalt auch für die obersten 15cm Mineralboden möglich.

Wie schon in einer früheren Untersuchung festgestellt wurde, hat auf 6 der 7 Versuchsflächen eine fortschreitende Versauerung stattgefunden, obwohl bereits die Ausgangs-pH-Werte zwischen 3,0 und 3,5 und bei 2 Flächen mit karbonatischem Untergrund zwischen 3,8 und 4,2 lagen.

Von unterschiedlicher, bei einigen Flächen geringer Ausgangsversorgung sind auch die Phosphor-Gesamtgehalte nach zwischenzeitlichen Anstiegen fast überall abgesunken; im Auflagehumus traten Mengenverluste bis 80 kg/ha ein. Demgegenüber lagen die P-Gehalte der Nadeln auf allen Flächen und zu allen Terminen im Bereich ausreichender Versorgung, allerdings gestaffelt entsprechend den unterschiedlichen Boden- P_2O_5 -Gehalten der Versuchsflächen. Eine mit den Böden korrelierende Veränderung der Spiegelwerte ist jedoch nicht erkennbar.

Auch die Gehalte und Hektarmengen an Kalium sanken bei den meisten Flächen nach einem zwischenzeitlichen Anstieg ab. Lediglich bei einer Fläche (Helfenberg), welche sich schon zu Beginn durch reiche Kaliumausstattung auszeichnete, sind die Gehalte geblieben. Die Kaliumversorgung der Nadeln ist überall ausreichend, mit entsprechend hohen Werten auf dieser einen Fläche. Die Ausstattung der Mineralböden mit Calcium ist bei allen Flä-

Die Veränderungen waren uneinheitlich, im Mineralboden bei der Mehrzahl der Flächen jedoch negativ. Eine starke, kurzfristige Erhöhung auf einer Fläche läßt auf äußere Störungen schließen. Die Nadeln weisen mäßige (bei einer Fläche auch mangelhafte) Ca-Versorgung auf, ohne erkennbare Korrelation mit den Änderungen im Boden.

Der Magnesium-Gehalt hat in der Mehrzahl der Humusauflagen ab-, in den A_h -Horizonten aller Flächen hingegen zugenommen. Bei durchschnittlich ausreichender Ausstattung nahmen die Mg-Gehalte der Nadeln auf einigen Flächen ab, was offenbar auch zur Absenkung in der Streu und damit letztlich im Auflagehumus führte. Die Hypothese, daß Mg-Mangel in den Nadeln durch MgO-Mangel im Mineralboden hervorgerufen wird, kann hingegen mit den vorhandenen Daten nicht bestätigt werden.

Auch die Stickstoff-Gehalte der Humusauflage nehmen mit einer Ausnahme (Helfenberg) auf allen Flächen deutlich ab. Gleichzeitig sinkt der Gehalt an organischer Substanz, was als fortschreitende Mineralisierung gedeutet werden kann. Im A-Horizont verändern sich die N-Gehalte uneinheitlich. Auch die N-Menge schwankt uneinheitlich, auf manchen Flächen tritt offensichtlich Humusabbau, auf anderen eine beachtliche Vorratserhöhung ein. Unabhängig davon verändert sich die Humusqualität bzw. das C/N-Verhältnis auf den Flächen uneinheitlich. Die Nadelspiegelwerte zeigen mit allen diesen Veränderungen keinen Zusammenhang.

Die Untersuchung bestätigt, daß für Stoffmengenbilanzen die Probenahme nach morphologischen Bodenhorizonten ungeeignet ist. Weiters zeigt sie, daß Zeitreihenanalysen an geringfügigen Änderungen des Untersuchungsdesigns im Laufe der Zeit scheitern können und daß ein extrem hoher Aufwand an Normierung und Exaktheit erforderlich ist. Vor allem erlauben erst modernere Analysenverfahren, welche zu Beobachtungsbeginn noch nicht verfügbar waren, einen tieferen Einblick in den Stoffhaushalt.

Summary

The paper deals with longterm changes in soil chemical properties of forest plots in Austria. Observations were obtained from recurrent measurements taken on untreated plots of seven fertilizer experiments established by the Federal Forest Research Station between 1962 and 1964. In addition to trend-analyses correlations between soil analytical data and foliar nutrient contents of Norway spruce, growing on these plots, were also examined.

Correct statistical balancing was only possible for data from the forest floor and, with some reservations, from the upper 15 cm of the mineral soil. The slight changes in sampling and analytical methods during the period of observation have contributed to the results being only partially comparable.

As previously presented, a progressive acidification took place on all plots except one. This is despite of the low initial pH-values between of 3,0 and 3,5 and between 3,8 and 4,2 on plots with calcareous parent material, respectively.

The total contents of phosphorus also decreased, passing several intermediate peaks. This also occurred on those plots that were initially deficient in phosphorus. The P-quantity in the humus layer also decreased by up to 80kg/ha. In contrast the foliar phosphorus contents indicated sufficient supply on all plots, although varying with soil content, but without apparent correlation with the soil-trends.

The concentrations and amounts of potassium, after an initial temporary rise, also decreased on the better parts of the experimental plots. The initially high supply of potassium remained at the same level on only one plot (Helfenberg). The potassium content of the spruce needles generally remained within the range of adequate supply, with excessive concentrations being observed on the one plot at Helfenberg.

The contents of calcium in the mineral soils were low at all experimental plots, the humus layers are partially enriched caused by biogenic accumulation. Although the contents changed inconsistently, the overall trend was negative for the majority of plots. A strong shortterm increase at one plot suggests a disturbance from outside. The needles generally show a moderate Ca-supply, with a deficiency of calcium being found on only one plot. Correlations between the development in needles and soil values could not be found.

The magnesium-levels decreased in the majority of humus layers, but were found to increase in the top mineral soil of all experimental areas. With an average medium supply, the foliar Mg-contents on some plots declined. This leads obviously to a decrease in the litter and thereby to a decrease in the humus layer. The hypothesis that a Mg-deficiency in the needles is caused by deficient magnesium in the mineral soil is not supported by these observations.

The nitrogen content of the humus layer decreased on all plots except one. At the same time, the contents of organic matter decrease. This may be interpreted as a mineralization effect. Both the N-concentration of the A-horizons and the total amounts in the top soil fluctuate without a general trend. On some plots a humus decomposition obviously occurs, whereas on other locations a remarkable accumulation of organic material takes place. Independent of these developments the humus quality and the C/N-ratio change nonuniformly. The foliar levels of nitrogen do not show any correlation with these changes.

The investigation confirms that sampling by morphological soil horizons is unsuitable for balance studies, although from the pedological point of view it seems indispensable. Furthermore the time progression analysis often failed due to small changes in the experimental design over time. Extremely high levels of precision and standardization are required.

13 Literatur

- BLUM, W.E.H., O.H. DANNEBERG, G. GLATZEL, H. GRALL, W. KILIAN, F. MUTSCH, D. STÖHR, 1986: Waldbodenuntersuchung: Geländeaufnahme-Probenahme-Analyse. Mitt. d. Österr. Bodenkundl. Ges. 31, 68 S.
- GUSSONE, H.A., 1964: Faustzahlen für die Düngung im Walde. BLV - Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München - Basel - Wien, 98 S.
- HEINSDORF, D., H.H. KRAUSS, H. TÖLLE, 1986: Entwicklung der C- und N-Vorräte nach Kahlschlag auf ärmeren anhydromorphen Sandböden unter Kiefer. Beitr. Forstwirtschaft 20, 1, 8-13.
- HENDRICKSON, O.Q., D.M. BURGESS, L. CHATARPOUL, 1986: Biomass and nutrients in Great Lakes-St. Lawrence forest species: Implications for whole tree and conventional harvest. Ca. J. For. Res. 17, 210-218.
- KILIAN, W., 1981: Erfahrungen und Probleme bei der Anwendung der Bodenuntersuchung zur Standortsbeurteilung. Mitt. d. forstl. Bundesversuchsanst. Bd.140, 67-76.
- KIMMINS, J.P., D. BINKLEY, L. CHATARPOUL, J. CANTAZARO, 1985: Biogeochemistry of temperate forest ecosystems: Literature on inventories and dynamics of biomass and nutrients. Can. For. Service Petawawa Nat. Fo. Inf. Report PI-X-47E/F.
- KRAPFENBAUER, A., E. BUCHLEITNER, 1981: Holzernte, Biomassen- und Nährstoffaustrag, Nährstoffbilanz eines Fichtenbestandes. Cbl. f. d. ges. Forstw. 98(4), 193-223.
- NEBE, W., A. JANDER, 1989: Das ökologische Meßfeld der Sektion Forstwirtschaft der TU Dresden. IX. Bodenkundliche Charakterisierung. Wiss. Ztschr. d. TU Dresden 38, 5/6, 349-354.
- PELISEK, J., 1978: Ökologische Analyse und Bilanz des N-Haushaltes in Waldböden des Böhmerwaldes. Lesnictví c. 2.
- STEFAN, K., 1982: Zum Nachweis von SO₂-Immissionseinwirkungen mit Hilfe von Schwefelbestimmung in Fichtennadeln. Dissertation an der Universität für Bodenkultur in Wien.
- STÖHR, D., 1984: Waldbodenversauerung in Österreich; Forschungsbericht ÖFV, Forschungsinitiative gegen das Waldsterben, Wien, Univ. f. Bodenkultur, 165.

Aus dem Publikationsverzeichnis der Forstlichen
Bundesversuchsanstalt

Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

- | | | | |
|------|--------|---|-------------------|
| 1983 | 148 | Holzschuh, Carolus: Bemerkenswerte Käferfunde in Österreich. III.
Preis ÖS 100.-- | 81 S. |
| 1983 | 149 | Schmutzenhofer, Heinrich: Eine Massenvermehrung des Rotköpfigen Tannentriebwicklers (Zeiraphera rufimitrana H.S.) im Alpenvorland (nahe Salzburg).
Preis ÖS 150.-- | 39 S. |
| 1983 | 150 | Smidt, Stefan: Untersuchungen über das Auftreten von Sauren Niederschlägen in Österreich.
Preis ÖS 150.-- | 88 S. |
| 1983 | 151 | Forst- und Jagdgeschichte Mitteleuropas. Referate der IUFRO-Fachgruppe S6.07-00 Forstgeschichte, Tagung in Wien vom 20.-24. September 1982.
Preis ÖS 150.-- | 134 S. |
| 1983 | 152 | Sterba, Hubert: Die Funktionsschemata der Sorten- tafeln für Fichte in Österreich.
Preis ÖS 100.-- | 63 S. |
| 1984 | 153 | Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (5). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen.
Preis ÖS 250.-- | 224 S. |
| 1985 | 154/I | Österreichische Forstinventur 1971-1980. Zehnjahres- ergebnis.
Preis ÖS 220.-- | S. 1-216 |
| 1985 | 154/II | Österreichische Forstinventur 1971-1980. Inventurge- spräch.
Preis ÖS 100.-- | S. 219-319 |
| 1985 | 155 | Braun, Rudolf: Über die Bringungslage und den Wer- bungsaufwand im österreichischen Wald.
Preis ÖS 250.-- | vergriffen 243 S. |
| 1985 | 156 | Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (6). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00 (Wildbäche, Schnee und Lawinen). Vorbeugung und Kontrolle von Wild- bacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen.
Preis ÖS 250.-- | vergriffen 247 S. |

- 1986 157 Zweites österreichisches Symposium Fernerkundung. Veranstaltet von der Arbeitsgruppe Fernerkundung der Österreichischen Gesellschaft für Sonnenenergie und Weltraumfragen (ASSA), 2.-4. Oktober 1985 in Wien. Preis ÖS 250.-- 220 S.
- 1987 158/I Merwald, Ingo E.: Untersuchung und Beurteilung von Bauweisen der Wildbachverbauung in ihrer Auswirkung auf die Fischpopulation. Preis ÖS 250.-- S. 1-196
- 1987 158/II Merwald, Ingo E.: Untersuchung und Beurteilung von Bauweisen der Wildbachverbauung in ihrer Auswirkung auf die Fischpopulation. Preis ÖS 250.-- S. 196-364
- 1988 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.
- 1988 160 Müller, Ferdinand: Entwicklung von Fichtensämlingen (*Picea abies* (L.) Karst.) in Abhängigkeit von Ernährung und seehöhenangepasster Wachstumsdauer im Versuchsgarten Mariabrunn. Preis ÖS 260.-- 256 S.
- 1988 161 Kronfellner-Kraus, Gottfried; Neuwinger, Irmentraud; Ruf, Gerhard; Schaffhauser, Horst: Über die Einschätzung von Wildbächen - Der Dürnbach. Preis ÖS 300.-- 264 S.
- 1988 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.
- 1989 163/I Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. Preis ÖS 300.-- S. 1-224
- 1989 163/II Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. Preis ÖS 300.-- S. 225-422
- 1990 163 /III Zum Waldsterben im Gleinalmgebiet. Preis ÖS 180.-- 98 S.
- 1990 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 Waldgesellschaften 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.

Bezugsquelle

Ö s t e r r e i c h i s c h e r A g r a r v e r l a g

A-1141 Wien

