

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE

31

1974

Im Selbstverlag der Anstalten für
Bodenkunde der Universität Göttingen

Herausgeber: B. Meyer und B. Ulrich

Schriftleitung: P. Hugenroth

Bestellungen über:

Institut für Bodenkunde, Göttingen, von Siebold-Str. 4

Institut für Bodenkunde und Waldernährung

Göttingen, Büsgenweg 2

oder den Buchhandel (Gewährung von Wiederverkäufer-Fabatt)

Selbstkostenpreis

DM

GÖTTINGER
BODENKUNDLICHE
BERICHTE

31

1974

INHALT

Schlatter, J.E.:

<u>Pinus radiata</u> und ihre Anbaumöglichkeiten in Chile	
Literaturübersicht	1

Schlatter, J.E.:

Veränderungen in den Parametern des Nährstoffhaus-	
haltes eines Fichtenbestandes ein Jahr nach einer	
Mineraldüngung	91

J. E. Schlatter

**PINUS RADIATA UND IHRE ANBAUMÖGLICHKEITEN
IN CHILE**

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 31, 1 - 90
(1974)**

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Einleitung	1
2. Oekologie von <u>Pinus radiata</u>	3
2.1 Verbreitung von <u>Pinus radiata</u>	3
2.1.1 Natürliches Vorkommen	3
2.1.2 Künstliches Anbaugelände	4
2.2 Standortansprüche	5
2.2.1 Klima	5
2.2.2 Boden	6
2.3 Bestandesklima	10
2.3.1 Licht und Temperatur	10
2.3.2 Wasserhaushalt	11
2.4 Ertrag und Produktion	13
2.4.1 Forstlicher Ertrag	13
2.4.2 Biomasse Produktion	16
2.5 Nährstoffinventur	21
2.5.1 Nährstoffgehalte in Baumteilen	21
2.5.2 Nährstoffvorräte im Bestand	23
2.6 Nährstoffkreislauf	25
2.6.1 Streufall und Bestandsniederschlag	25
2.6.2 Nährstoffakkumulation im Auflagehumus	27
2.6.3 Nährstoffbilanz	28
2.6.4 Rückwirkungen auf Bodeneigenschaften	32
2.6.5 Ansprache des Nährstoffzustandes	34
2.6.6 Düngung	36
3. Voraussetzungen für den Anbau von <u>Pinus radiata</u> in Chile	41
3.1 Geographische Verhältnisse	41
3.2 Bodennutzung	41
3.2.1 Nordchile	43
3.2.2 Südchile	44
3.2.3 Mittelchile	45

	Seite
4. Voraussetzungen für den Anbau von <u>Pinus radiata</u> in Mittelchile	
4.1 Natürliche Gegebenheiten Mittelchiles	47
4.1.1 Klima	47
4.1.2 Geologie	49
4.1.3 Boden	50
4.1.4 Vegetation	56
4.1.5 Naturwald	59
4.1.6 Potentielle Aufforstungsflächen	60
4.2 Ausländeranbau in Mittelchile	63
4.2.1 Geschichtliche Entwicklung	63
4.2.2 Potentielle Standorte	67
4.2.3 Schwierigkeiten und Möglichkeiten	71
5. Schlußfolgerungen	75
6. Literaturverzeichnis	79

1. Einleitung

In Lateinamerika ist in den letzten 3-4 Jahrzehnten ein steigendes Interesse festzustellen, auch die Forstwirtschaft als organisierten Produktionszweig in die nationale Wirtschaft einzugliedern.

Der Bedarf an Forstprodukten steigt rasch an. Der daraus folgende Rohstoffverbrauch der wachsenden Forstindustrie drängt dazu, rasche Lösungen zur Deckung des Holzbedarfes zu finden.

Die Naturwälder in Lateinamerika sind schon vielfältig gerodet oder ausgebeutet. Die wirtschaftlichen Schwierigkeiten der Nutzung der noch vorhandenen, meist wenig produktiven Urwälder, fördern die Suche nach anderen, kurzfristigen Lösungen.

So verfiel man auf den Anbau von raschwüchsigen, ertragsreichen und wirtschaftlichen Baumarten meist ausländischer Herkunft (s. Tabelle Nr. 1). Hierfür sind größtenteils landwirtschaftlich begrenzt nutzbare Standorte mit meistens durch sie schon gestörten Böden verfügbar.

Die Aufforstungen erfolgen im allgemeinen in Gebieten höherer Bevölkerungsdichte und besserer Zugänglichkeit, im wesentlichen in Form von Reinplantagen.

In Chile begann man mit einer verstärkten Anlage von Plantagen seit den 30er bis 40er Jahren meist auf privater Basis. Der Staat setzt sich erst in den letzten Jahrzehnten immer mehr für die Pflanzungen ein. 1970 bestanden sie zu ca. 95% aus einer einzigen Kiefernart, die sich besonders bewährt hat, nämlich Pinus radiata D. Don (74).

Tab. 1: Uebersicht der Plantagen - Anbauflächen einiger
Länder Südamerikas (Stand 1967)
(nach ORTIZ und YUDELEVICH 1969)

L a n d	Gesamtfläche der Pflanzungen	Wichtigste Baumarten
Argentinien	ca. 235.000 ha	Koniferen: <i>Pinus elliotii</i> <i>Araucaria angustifolia</i> * <i>Pinus radiata</i> Laubbäume: <i>Eucalyptus grandis</i> <i>Populus</i> spp. <i>Salix</i> sp.
Brasilien	ca. 730.000 ha	Koniferen: <i>Araucaria angustifolia</i> * <i>Pinus elliotii</i> <i>Pinus taeda</i> Laubbäume: <i>Eucalyptus</i> spp. <i>Acacia decurrens</i>
Chile	ca. 300.000 ha	Koniferen: <i>Pinus radiata</i> Laubbäume: <i>Eucalyptus globulus</i> <i>Populus</i> sp.
Ecuador	ca. 80.000 ha	Laubbäume: <i>Eucalyptus</i> sp.

* Einheimische Baumart. Alle anderen ausländischer Herkunft.

Heute stützen sich wichtige Forst- und Holzverarbeitungs-
unternehmen auf den Anbau von *Pinus radiata*. Chile steht
daher vor der allgemein anerkannten Notwendigkeit, den
Anbau dieser Kiefernart erheblich auszudehnen. Im folgen-
den soll ein Ueberblick über die damit angeschnittene
Problematik mit dem Schwergewicht auf Fragen der Standorts-
kunde und Waldernährung gegeben werden.

2. Ökologie von Pinus radiata

2.1 Verbreitung von Pinus radiata

2.1.1 Natürliches Vorkommen

Die Pinus radiata stammt aus Kalifornien, U.S.A. Man findet sie dort an einem schmalen Küstenstreifen, wo sie in 3 begrenzten Gebieten bei $35^{\circ}30'$, $36^{\circ}30'$ und 37° n.Br. vorkommt. Das gesamte Verbreitungsgebiet umfaßt etwa 4000 ha. Die Wälder dehnen sich hauptsächlich auf sanften Hängen in der Nähe des Meeres aus (93).

In den drei Arealen kommt diese Kiefer mit verschiedenen Pflanzen vergesellschaftet vor. In dem südlicheren, trockenen Teil mit Gräsern und Kräutern, im mittleren mit Hartlaubgebüsch und im nördlichsten mit verschiedenen Baumarten. Von diesen, hauptsächlich Koniferen, wird sie dann auf den feuchteren Standorten verdrängt (94).

Das Klima dieses Gebietes ist von mittelmeerartigem Charakter mit milden Wintern ohne Schneefall und mit nur wenig Frost. Die durchschnittliche Temperatur sinkt nicht unter 10°C . Die Niederschläge, die zwischen 375 - 875 mm schwanken, konzentrieren sich hauptsächlich auf den Winter (Dezember bis März mit ca. 75%). Im Sommer ist es sehr trocken. Niederschlagsärmere Jahre weisen nur Regenmengen zwischen 180 - 310 mm auf. Die Trockenheit wird für die Kiefer jedoch durch das Auftreten von Nebel in den Küstengebieten in ihrer Auswirkung gemildert. Die Luftfeuchtigkeit schwankt im Jahresdurchschnitt zwischen 73 - 86% um 5 Uhr morgens, 42 - 64% am Mittag und von 39 - 71% um 5 Uhr nachmittags (64).

Die Böden, auf welchen die Kiefer gedeiht, sind aus verschiedenen Gesteinen gebildet, es kommen z.B. Schiefer, marine und andere Sandsteine, Granitgesteine und Kalksteine vor.

Guten Wuchs und eine Baumhöhe von 33 - 40 m erreicht die Baumart auf tiefgründigen Böden von einer Mächtigkeit von

über 1.0 - 1.3 m, besonders wenn diese eine gute Wasserdurchlässigkeit aufweisen wie z.B. feinsandige Mergel. Auf flachgründigen Böden oder undurchlässigen Tonböden jedoch geht die Wüchsigkeit stark zurück.

Auf guten Standorten findet sich unter ihren Beständen oft relativ mächtiger Auflagehumus (7.5 - 15 cm), ohne daß sich jedoch eine definierte podsolige Schicht bildet (93).

2.1.2 Künstliches Anbaugebiet

Wegen ihres raschen Wachstums, ihrer unproblematischen Anzuchtmöglichkeit, ihrer guten Holzqualität und der vielseitigen Verwendbarkeit ihres Holzes wurde die Pinus radiata zu einer weitverbreiteten Exotenbaumart.

Tab. 2: Verbreitung der Pinus radiata als Exotenart in den wichtigsten Anbaugebieten

Anbaugebiet	Anbaufläche (ha)	Jahr	Literatur
Neuseeland	ca. 230.000	1956	(93)
	(60% der Exotenpflanzungen)		
	ca. 285.000	1965	(103)
	(62% der Exotenpflanzungen)		
	ca. 320.000	1970	Schätzung nach (8)

Australien	ca. 120.000	1956	(93)
	ca. 210.000	1968	(33)

Chile	ca. 200.000	1956	(93)
	ca. 300.000	1970	(74)

Spanien	ca. 51.000	1956	(93)
	ca. 175.000	1967	(21)

Südafrika	ca. 21.000	1955	(93)

Heute ist sie in verschiedenen Ländern der Welt verbreitet, hauptsächlich in der südlichen Hemisphäre. Australien, Neuseeland, Chile, Spanien und Südafrika haben heute ausgedehnte Plantagen. Andere Länder legten Versuchspflanzungen an, wie u.a. Argentinien, Ecuador, Venezuela, Kenya, Hawaii und Italien. Tabelle 2 gibt einen Ueberblick über die Verbreitung der Plantagen dieser Kiefer.

2.2 Standortsansprüche

2.2.1 Klima

Nach dem Klima ihres natürlichen Verbreitungsgebietes und dem ihrer künstlichen Anbaugebiete zu urteilen, stellt Pinus radiata folgende Klimaansprüche:

Begünstigt wird sie durch ein mittelmeeerartiges mildes Klima. Sie liebt warme Sommer, die nicht sehr feucht bzw. nicht sehr niederschlagsreich zu sein brauchen. Sommer-trockenheit kann durch hohe Luftfeuchtigkeit und Nebelbildung ausgeglichen werden, wenn die Niederschläge hauptsächlich während des Winters fallen. In Neuseeland schwanken die Niederschläge in ihrem dortigen Verbreitungsgebiet zwischen 500 und 3.000 mm, in Chile zwischen 380 und 2.500 mm (im Jahr). In ozeanischem Klima mit regelmäßigen Niederschlägen wie in Neuseeland kann sie auch gut gedeihen.

Ungünstig sind für sie starker Schneefall und starke und unzeitige Fröste. Ebenfalls ungünstig sind feuchtheiße Sommer, wie sie in tropischen Gebieten vorkommen (93). Auch kühle Sommer, wie beispielsweise in England, verträgt sie nicht gut (40).

Offensichtlich spielt auch die Tageslänge für das Wachstum dieser Kiefer eine Rolle. Wie in Neuseeland

(38°-39°s.Br.) beobachtet wurde, verlangsamte sich der Zuwachs der Bäume in der Zeit um den kürzesten Tag (21. Juni) außerordentlich stark, obwohl Temperatur und Feuchtigkeitsangebot für ein rasches Wachstum günstig waren (121).

2.2.2 Boden

Die Pinus radiata kann auf sehr verschiedenen Böden gedeihen. Man findet gutes Wachstum dieser Kiefer auf über 1 m mächtigen, gut durchlässigen, sandigen bis lehmigen Böden, die sich aus verschiedenem Ausgangsmaterial herleiten können, wie z.B. aus vulkanischen Aschen und Sanden, Grauwacken, Sandsteinen oder alluvialen Ablagerungen (17) (14) (62) (63) (101) (109) (131).

Ein wichtiger Faktor für die Entwicklung der Kiefer ist die Luftkapazität und die Durchlässigkeit der Böden. Diese werden hauptsächlich durch einen geringen Grobporenanteil und durch Dichtlagerung beschränkt und behindern ein ausreichendes Wurzelwachstum. In diesem Fall kann sich auch keine vollständige Mykorrhiza bilden, welche für diese Baumart anscheinend von großer Wichtigkeit ist (14).

Tonige Böden sind daher keine guten Standorte für diese Kiefer, (43) (62) (93) (109) (131). Als Höchstwerte des Tongehaltes in den Böden werden für Standorte im Nordosten Argentiniens folgende Werte für Pinus radiata angegeben: 28% im Oberhorizont und 37% im Unterhorizont. Werden diese Werte überschritten, so kommt es oft zu Wachstumsstörungen und frühzeitigem Absterben (17). In Neuseeland (Cornvallis) konnten zwar einige Bestände auf Böden mit einem Tongehalt von 48 - 74% (in 0 - 7.5 cm und 30 - 40 cm Tiefe) wie auch 58 - 66% gedeihen, doch erreichten sie nur Höhen von 4.5 m $\pm$ 2.3 bzw. 20 m $\pm$ 5.3 bei einem Alter von über 30 Jahren und zeigten ein kränkliches Aussehen (14).

Für ein gutes Wachstum benötigt die Kiefer eine ausreichende Bodendurchlüftung. Stauung durch eine dichte undurchlässige Bodenschicht bzw. eine kompakte Schicht im Unter-

boden können zu hohen Bodenfeuchtigkeiten führen, was dann eine schlechte Durchlüftung verursacht. Dadurch wird wiederum das Wurzelwachstum beschränkt. Aehnliche Wirkungen haben hoher Grundwasserstand und sumpfige Böden. Auch längere Ueberschwemmungen haben sich, hauptsächlich bei dichteren Böden, als ungünstig erwiesen.

Der Einfluß des Grundwassers und der einer undurchlässigen Schicht treten dann zurück, wenn der grundwasserfreie und durchlässige Oberboden eine ausreichende Mächtigkeit zeigt. Bei 0.70 m Mächtigkeit zeigt die Kiefer keine optimale Entwicklung mehr, doch ist ihr Ertrag hier noch gut.

Auch Flachgründigkeit wirkt sich negativ auf das Wachstum der Kiefer aus. Bei Böden geringerer Mächtigkeit (als 1 m), nimmt der Ertrag der Kiefern-Plantagen bereits erheblich ab. Ein lockeres Muttergestein kann diesen Mangel unter Umständen ausgleichen, wenn es eine tiefe Durchwurzelung ermöglicht.

Böden mit höherem Salzgehalt sowie alkalische Böden sind keine guten Standorte für Pinus radiata. Oft haben sie derartig toxische Wirkungen auf die Kiefer, daß es zu einem Scheitern der Pflanzungen kommen kann (17) (63).

Moorige, saure, stärker podsolierte und auch ärmere, aus lateritischen Böden gebildete Standorte werden, wenn nicht zum Absterben, dann zu niedrigen Erträgen der Plantagen führen (63) (93).

Wie Tab. 3 zeigt wurden in Abhängigkeit von Substrat und Boden Mangel an Stickstoff, Phosphor, Kalium, Magnesium und Spurennährstoffen (Bor, Kupfer, Mangan) als begrenzende Wachstumsfaktoren festgestellt. Es muß aber ergänzt werden, daß oft der Wassermangel der wesentliche Faktor unbefriedigenden Nährstoffhaushalts ist (63).

Hauptsächlich auf Böden aus borarmen Ausgangsmaterial und anthropogen ausgelöster Erosion wird Bor-Mangel anzutreffen sein. Mit dem Bodenabtrag geht das biogen in der organischen Substanz des Oberbodens angereicherte B verloren.

Tab. 3: Nährstoffmangel in *Pinus radiata*-Pflanzungen auf verschiedenen Standorten

Mangelndes Element	Land	Boden	Jahr	Literatur
N	Spanien	Terra fusca aus Kalkstein	1966	(135)
P, K	Spanien	Ca reiche Böden aus P u. K armen Gesteinen K besonders in trockenen Gebieten (weniger als 500 mm) und auf kalkreichen Böden	1966	(135)
P	Neuseeland (Riverhead-Forest)	"Gumland soil"	1955	(115)
P	Neuseeland (Riverhead-Forest)	"gumland" clays stark verwittert u. ausgewaschen, podsolig teils starker antropogener Einfluß	1970	(15,16)
P	Neuseeland	"silty clay" (tonig) (behindertes Wurzelwachstum)	1959	(14)
N	Neuseeland (Nelson) (Südinse)	"Moutere Gravels"-Sedimente aus Kies, Sand u. Schluff (sandiger Lehm) stark sauer, toniger Unterboden v. 10 cm an, fleckig, erodiert, Bewirtschaftungseinfluß (antropogen), Gesamt-N und Basensättigung niedrig	1963	(97)
Mg	Neuseeland (Nordinsel)	"Taupo ash"-Schicht aus vulkanischer Asche "Te Reu sand" aus vulkanischer Asche	1961 und 1966	(119) u. (123)
B	Neuseeland (Südinse)	"Kaiteiteri clay loams" (aus Granit). Antropogener Einfluß durch Feuer; Erosion; niedrige Fruchtbarkeit; tief verwittert, stark sauer, wenig org. Substanz	1965	(98)
B	Neuseeland (Südinse)	"Moutere Gravel" Sand und Kies aus Grauwacken, Sandsteinen, "slate" Quarzite und ähnliche. Tief verwittert, Erosion, sandig bis toniger Lehm. Stark sauer, wenig o. Subst., geringe Nährstoffverfügbarkeit	1965	(98)
N, P u. Zn	Australien	Verchiedene Böden; 2. Umtrieb (Dünen, lateritische Böden usw.)	1963	(63)
P, N	Australien	"Hawkesbury sandstone"	1969	(110)
P, Ca	Australien	" " " u.s.	1964	(47)
K	Australien (Gippsland Victoria)	Sandig bis sandiger Lehm (in 60 cm tonig)	1963	(41)
K	Australien (Gippsland Victoria)	Roter Lehm aus Basalt	1963	(41)
Cu	Australien	Silikatische Sande, stark ausgewaschen, niedrig im N u. P Gehalt	1969	(86)
Mn	Südafrika	"Table Mountain sandstone" (arm entwickelte Böden)	1969	(59)
N, P	Chile	Sand - Dünen (Rohböden)	1969	(84)
B	Chile	Verchiedene Böden; hauptsächlich stark in erodierte Böden	1969	(102)

Ein großer Teil des pflanzenverfügbaren Bors kommt aus der Mineralisierung der organischen Stoffe (89). Wenn hierzu noch eine längere Trockenperiode bzw. starke Bodenaustrocknung hinzukommt, die zu einer Bor-Festlegung führen kann (89), wird der Mangel noch ausgeprägter.

Der Phosphorgehalt der Böden ist wie bei Bor vom Ausgangsgestein abhängig. Die überwiegende Menge an leicht verfügbarem Phosphat befindet sich im Oberboden (89). Bei der P-Aufnahme durch die Pflanzen wird das mobilisierbare Phosphat aus dem Wurzelraum entzogen. Durch den Streufall erfolgt eine P-Rücklieferung in die Streuzersetzungsschicht, was dann zu einer Akkumulation des aus tieferem Wurzelraum aufgenommenen Phosphats im biologisch tätigen Oberboden führt (105). Eine Bodenerosion kann bei Verlust des Oberbodens zu erheblichen Verlusten an unersetzbarem Phosphat führen.

Der Verlust des an organischer Substanz angereicherten Oberbodens und des Auflagehumus, Hauptquellen des Stickstoffs für die Bodenflora und -fauna, wird einen starken N-Mangel verursachen. Wie der langfristige Streuverlust auf das Humuskapital einwirkt, wurde für Waldböden in Norddeutschland eingehend untersucht (129). Bei Entzug der Quelle an organischem Material verändert sich zuerst die Zusammensetzung des Humus im Boden. Der weitere Abbau des Humusgehaltes im Boden verringert hauptsächlich bei tonarmen Böden die Sorptionskraft. Durch den Streuentzug geht die Bodenflora und -fauna stark zurück, da ihre Nahrungsquelle nicht mehr existiert. Für den Pflanzenertrag aber wird der eintretende Stickstoffmangel der wichtigste Begrenzungsfaktor.

Durch Pflanzenentzug, durch Auswaschung (im Winter brachliegender Böden) und durch Erosion kann der Stickstoffvorrat, hauptsächlich der der organischen Substanz, stark vermindert werden (89).

In niederschlagsarmen Gebieten, hauptsächlich auf kalkreichen Böden oder silikat- und tonarmen Sandböden, kann ein Kalium-Mangel auftreten. Die Kalium-Aufnahme durch die

Pflanzen hängt von der Bodenfeuchtigkeit ab. Eine höhere Feuchtigkeit begünstigt sie (89).

2.3 Bestandesklima

2.3.1 Licht und Temperatur

Wie alle Waldbestände verringern auch Pinus radiata-Bestände die Strahlungsmenge, die den Boden unter ihrem Kronendach erreicht, gegenüber der eines Freilandes sehr stark. Die Strahlung kann im Extremfall bis auf weniger als 1% der Freiflächenstrahlung gemindert werden (55) (46).

In Südkile (40°s.Br.) wurde in einem 22jährigen Bestand mit einem Schlußgrad von 7/10 eine Reduktion der Gesamtstrahlung auf 3-13% in mehreren Tagesdurchschnitten gemessen, wobei die geringeren Werte an Strahlungstagen und die höheren bei bedecktem Himmel festgestellt wurden. Das sichtbare Licht, gemessen mit einer Selenphotozelle, wurde im Durchschnitt im Bestand bis auf 2.3% des Außenlichtes an Strahlungstagen reduziert; bei Bewölkung stieg dieser Wert bis auf 7.2% an (12).

Die durchschnittliche Lufttemperatur eines Bestandes wird vom Kronendach kaum verändert. Jedoch werden Temperatur-extreme gemindert. Dieses gilt sowohl für die hohen Temperaturen wie auch für die geringeren. Diese Milderung ist speziell in den bodennahen Luftschichten wirksam (55). Unter dem Kronenschutz der Pinus radiata-Bestände ist so eine oft erhebliche Verminderung der Fröste festzustellen (12).

Die Bodentemperatur erfährt im Bestand eine Verminderung ihres Durchschnittwertes im Jahresverlauf. Unter Pinus radiata sind Temperaturabnahmen bis zu einer Tiefe von 3 m festgestellt worden (12). Wenngleich eine Verminderung der Bodentemperatur für das Wurzelwachstum nicht gerade günstig ist (19), kann trotzdem die Milderung der Temperaturschwankungen im Tagesverlauf vorteilhaft sein.

So können nicht nur Fröste verhindert werden, sondern auch starke Erhitzungen, wie sie in den ersten Zentimetern eines unbedeckten Bodens vorkommen (92). Am stärksten ist diese Amplitudenmilderung der Temperatur in den obersten 10 bis 20 cm des Bodens (45) (117) (121) (12).

2.3.2 Wasserhaushalt

Durch das Kronendach wird ein Teil der Niederschläge festgehalten und erreicht nicht den Bestandesboden. Dieser Interzeptionsverlust kann in niederschlagsärmeren Jahreszeiten und Gebieten erheblich sein, wie folgende Angaben in Tabelle 4 zeigen.

Tab. 4: Interzeption in einem 17jährigen *Pinus radiata*-Bestand in Australien (nach MILLET, 1944)

Niederschlag im Monat (mm)	0-6	7-13	14-19	20-25	26-38	39-76	77-127	152 +
% Inter- zeption	94	70	62	56	50	41	31	15

Bei Niederschlägen zwischen 1.100 - 2.000 mm im Jahr und einem Kronenschluß zwischen 65-70% beträgt der Interzeptionsverlust 18-20% des Freilandniederschlages (121) (12).

Ein gewisser Anteil der Niederschläge wird in diesen Beständen durch Stammabfluß den Bestandesboden erreichen. In Valdivia (Chile), bei ca. 2000 mm hohen Niederschlägen und einem Kronenschluß von 70%, erreichte dieser 14% des Freilandniederschlages im Jahresdurchschnitt (12). In Australien stellte man ähnliche Werte fest (3).

Der restliche Teil der Niederschläge erreicht den Bestandesboden entweder als freier Niederschlag oder als "Kronentraufe". Bei sehr intensiven Regengüssen kann die Fallintensität der Tropfen durch die Kronendecke gemildert werden und schließlich durch die Streuschicht dann gebremst werden.

Meist ist der Oberflächenabfluß unter einem Bestand geringer als auf einer Wiese, Ackerland oder Brache (88).

Bei Untersuchungen mit Pinus radiata in Kalifornien stellte man fest, daß bereits ein Auflagehumus von 0.8 cm Stärke den Oberflächenabfluß sehr stark reduziert. Streudecken gleicher oder größerer Mächtigkeit gewährleisten eine gute Infiltration des Niederschlagswassers und vermindern die Evaporation von der Bodenoberfläche (85).

Die Evaporation einer freien Wasseroberfläche betrug unter Kiefernbestand in Australien 27-47% der des Freilandes (68). Dabei sind Evaporationsvermindernungen unter Pinus radiata (gemessen mit Piche-Evaporimeter) bei klaren und windigen Tagen effektiver (12).

Der Wasserverbrauch eines Waldes durch Interzeption, Transpiration und Evaporation insgesamt ist im allgemeinen höher als der von Wiesen oder Ackerland (56). Dies wurde sowohl bei 700 mm Niederschlag in Südaustralien (44) als auch bei 2000 mm in Valdivia (Chile) festgestellt (12).

In niederschlagsreichen Gebieten ist dieser höhere Wasserverbrauch wohl kaum ein Problem, wie Versuchen (117) (121) auf der Nordinsel Neuseelands bei gutverteilten Niederschlägen von ca. 1500 mm in Pinus radiata-Beständen auf vulkanischen Aschen zu entnehmen ist. Der höhere Wasserverbrauch durch Transpiration wäre bei starken Niederschlägen sogar günstig, da bei der Auffüllung der vorhandenen Speicherkapazität eine größere Wassermenge aufgenommen werden kann.

In niederschlagsarmen Gebieten jedoch könnte die Evapotranspiration zu starker Verminderung des Wasservorrats führen. Nach Versuchen (117) (121) kann sie in der Intensivwurzelzone des Bodens, also in den ersten 10 bis 20 cm, vielleicht sogar bis zu 30 cm, zu hohen Saugspannungen führen, die den Welkepunkt erreichen und überschreiten können. Dies soll speziell bei dichten jungen Beständen, wo der Interzeptionsverlust und der Wasserverbrauch am höchsten ist, vorkommen.

Ebenfalls auf vulkanischen Aschenböden in Neuseeland wurde der Einfluß des Wasserangebotes bei 45% und 75% der Feldkapazität auf das Höhenwachstum der Kiefern untersucht (49). In der Zeit des stärkeren Zuwachses konnte die bessere Wasserversorgung eine höhere Transpiration und stärkeres Höhenwachstum gewährleisten, während die schlechtere Wasserversorgung das Wachstum beeinträchtigte.

Da aber die Wurzeln der Pinus radiata, wo es die Bodeneigenschaften ermöglichen, sehr ausgedehnt bis über 3 m Tiefe vordringen, können diese Bestände über einen größeren Wasservorrat verfügen, als z.B. Wiesenpflanzen. Nun sind aber tiefwurzelnde Pflanzen i.a. weniger trockengefährdet als solche mit flachstreichenden Wurzeln. Entsprechend konnte in Neuseeland und in Mittelchile beobachtet werden, daß tiefwurzelnde Kiefern dort noch weiter wachsen, wo Gräser schon weitgehend eine Wachstums hemmung zeigen (121) (92). Dazu kommt, daß der Transpirationskoeffizient - also die Trockensubstanzproduktion je Wassereinheit - bei Pinus radiata höher liegt als bei vielen landwirtschaftlichen Kulturen. Dieses konnte im Vergleich mit einem Weizenfeld z.B. in Australien festgestellt werden (28).

2.4 Ertrag und Produktion

2.4.1 Forstlicher Ertrag

Pinus radiata zeigt in Neuseeland, Australien und Südafrika einen durchschnittlichen Zuwachs von ca. $24 \text{ m}^3/\text{ha}$ im Jahr. Dieses gilt für die Holzmasse des Stammaterials von über 10 cm Durchmesser ohne Rinde bei 25 Jahre alten Pflanzungen. In Kalifornien (Cambria) wurden etwa $15 \text{ m}^3/\text{ha}$ und Jahr und in Spanien $15\text{-}17 \text{ m}^3/\text{ha}$ und Jahr festgestellt (93).

Es sind aber in den verschiedenen Anbaugebieten große Abweichungen von diesen Durchschnittswerten zu erwarten. So konnte in Neuseeland z.B. festgestellt werden, daß der Ertrag der Kiefer wieder je nach Breitengrad unterschiedlich

war. Die besten Erträge fand man zwischen dem 35° und 40° s.Br., was mit der Hauptausdehnung des Kiefernangebuetes in Chile übereinstimmt. Bei höheren Breitengraden geht die Standortsbonität zurück. Ein ähnliches Verhalten kommt mit wachsender Höhe über dem Meer vor. Bei höheren Lagen kann es zu starken Ertragserniedrigungen kommen (43).

Ein wichtiger Ertragsfaktor ist das Wasserangebot. So ist in Australien in Gebieten mit weniger als 570 mm im Jahr bei 20-30 Jahre alten Beständen ein Holzertrag von 11.0 m³/ha im Jahr zu erwarten. Dagegen ist in etwas höheren Lagen mit Niederschlägen von über 750 mm ein Zuwachs von etwa 21 m³/ha und Jahr gemessen worden (93).

Auch die Bodenfruchtbarkeit hat einen starken Einfluß. So ist bei für Wald günstigen Aschenböden Neuseelands und Chiles ein anderer Ertrag zu erwarten als auf den Sandböden der Dünen in diesen Ländern und in Australien.

Um die Standortsgüte zu beurteilen, wird meistens die mittlere Höhe im Alter 20 als Bezugsbasis angewandt. Folgende Literaturangaben finden sich für Bestände dieses Alters in verschiedenen Ländern (Grenzwerte):

Bäume pro ha	Höhe (m)	BHD (cm)	Derbholzvorrat m ³ /ha	dGZ
380 -	18 -	20 -	160 -	8 -
1010	36	36	700	35

Extremwerte sind für die Höhe: 4.5 m auf tonreichen Standorten im Alter über 30 (14) bzw. 39 m auf guten Standorten in stark durchforsteten Beständen in Kenya (200 Bäume/ha) (76).

Auf einigen Standorten Australiens und Neuseelands wurde in der 2. Umtriebszeit eine Ertragsverminderung festgestellt. Dieses Phänomen wurde zu einem wichtigen Problem in diesen Plantagen, hauptsächlich in Süd-Australien.

Die Ertragsverminderung konnte man meistens auf Flächen beobachten, wo ein Kahlschlag stattfand und anschließend die verbleibenden Baumreste verbrannt wurden. Sie tritt nicht nur auf den ärmeren Standorten auf, sondern es deutet alles darauf hin, daß sie auf allen Standorten vorkommt (52).

In Neuseeland soll eine derartige Ertragsverminderung auch festzustellen sein, jedoch nur auf einigen Standorten. Auf anderen Böden wurde eine Wuchshemmung in den ersten 5-6 Jahren nach der Neukultur auf Kahlschlagflächen beobachtet (113). Diese Ertragsverminderung könnte durch einen Mangel an Spurenelementen erklärt werden, sie könnte aber auch der Effekt einer Nährstoffverarmung des Standortes durch frühere Bewirtschaftung sein. Durch Entfernung der natürlichen Vegetation bei der Rodung (eines hügeligen Reliefs), dann durch nachfolgende landwirtschaftliche Bewirtschaftung und durch später eintretende Erosion, wird bei sonstigen nicht ungünstigen Bodeneigenschaften Nährstoffmangel bewirkt, der in einem zweiten Umtrieb zur Geltung kommen könnte (97).

Auf armen Standorten kann dieser Mangel auch in der ersten Generation vorkommen, da die Kiefer eine hohe Nährstoffaufnahme zeigt. Bei Bildung von langsam zersetzendem Auflagehumus wird der Mangel verstärkt (32).

Auf vielen der Flächen, wo Kahlschlag und Abbrennen angewandt wurde, ist eine Ertragserniedrigung festzustellen. Interessant ist, daß dort, wo eine Naturverjüngung das Abbrennen verhinderte, keine Ertragserniedrigung zu beobachten ist (52).

Das Abbrennen kann einen starken Nährstoffverlust, insbesondere an Stickstoff, verursachen. Auch die Einwirkung auf die Bodenfauna und -flora auf und unmittelbar unter der Bodenoberfläche, wie auch der Mykorrhiza, kann negativ sein (63). Außerdem erhöht die Anwendung von unkontrolliertem und starkem Feuer die Erosionsgefahr (78).

Ein starker Nährstoffverlust ist außerdem durch die Holzernte und die eventuelle Rindenverwertung zu erwarten (63).

So ist der Ertrag der Pinus radiata-Pflanzungen außer von den natürlichen Standortseigenschaften auch noch von der Bewirtschaftungsform und der Holznutzung und deren Einfluß auf den Nährstoffhaushalt abhängig.

2.4.2 Biomasseproduktion

Die Biomasseproduktion eines Baumes und eines Bestandes hängt, genau wie der Holzertrag, von dem Standort ab. In Südaustralien konnte man feststellen, daß auf den besten Standorten bis 4 mal so viel organische Substanz produziert worden war als auf den schlechtesten (63). Diese wurde für 30-jährige Bestände als Trockenmasse je ha berechnet und man erhielt folgenden Unterschied zwischen der besten und der schlechtesten Bonität (I und VII).

Bonität I	458.000 kg/ha	bei 960 m ³ /ha	Holzertrag
Bonität VII	114.000 kg/ha	bei 238 m ³ /ha	Holzertrag

Die Verfasser dieser Arbeit gingen bei der Berechnung von Daten aus, die in Neuseeland (71) gefunden worden waren. Hier hat man festgestellt, daß in 26-29-jährigen Beständen 80% der Trockenmasse aus Holz, 12% aus Rinde, 2.5% aus Nadeln und 5.5% aus Ästen und anderen Teilen bestehen.

Die Entwicklung des Trockenmassebestandes von Beständen auf vergleichbaren, guten Standorten können wir anhand der Tabelle 5 verfolgen.

Nach einer langsameren Anfangsentwicklung der Pflanzen geht diese ab Alter 5 sprunghaft hoch und erreicht kurz vor Kronenschluß (bei Pinus radiata im Alter 5-7 etwa) ihre Höchstleistung (33). Ueber diese Entwicklung gibt uns Tabelle 6 mit Daten aus denselben Beständen eine Uebersicht.

Tab. 5: Trockenmasse verschiedener Bestände auf vergleichbaren Standorten in Australien, (Pinus radiata)
(nach FORREST und OVINGTON 1970)

Alter		3	5	7	9	12
Anzahl Bäume/ha		1.483	1.492	1.458	1.470	1.560
Trockenmasse-	Bäume	1.200	5.600	50.700	73.400	118.000
vorrat	Bodenvegetation	5.100	4.800	1.800	1.200	400
in kg/ha	Auflagehumus	400	1.800	4.700	14.300	17.000
Gesamt-trockenmasse je ha		6.700	12.200	57.200	88.900	136.200

Tab. 6: Jährliche Produktion an organischer Substanz der in Tab. 5 dargestellten Bestände in kg/ha
(nach FORREST und OVINGTON 1970)

Alter	0-3	3-5	5-7	7-9	9-12
Produktion an o.S. Bestand kg/ha u.Jahr	400	2.500	23.300	22.200	18.800
Produktion an o.S. Bodenveg. kg/ha u.J.	3.400	4.900	2.600	1.400	600
Insgesamt	3.800	7.400	25.900	23.600	19.400

Gegenüber den Daten der Tabelle 5 sind in Tabelle 6 auch die Anteile der Streu und anderer Baumabfälle, die zum Boden gefallen sind, miteinbezogen.

Die Produktion an organischer Substanz erreicht nach Kronenschluß nicht mehr ganz die Höchstleistung wie kurz vorher, doch bleibt sie relativ hoch. Der Hauptanteil der organischen Substanz eines Bestandes besteht in den ersten Jahren vor Kronenschluß aus Kronenteilen (Nadeln und Äste).

Nach Kronenschluß aber nimmt der Stamm zunehmend größeren Anteil an der Bestandesbiomasse. Die Nadel- und Astmasse

bleibt dann nach Kronenschluß etwa konstant, da ein Gleichgewicht zwischen Bildung von Nadeln und Aesten und ihrem Absterben eintritt.

Die Bodenvegetation zeigt ein umgekehrtes Verhalten. Durch die Konkurrenz des Baumbestandes wird sie langsam ausgeschaltet. An ihrer Stelle bildet sich meistens ein Auflagehumus.

Ueber die Verteilung der Trockenmasse in den Bäumen eines 12jährigen Bestandes (ohne Wurzeln) gibt uns Tabelle 7 eine Uebersicht.

Tab. 7: Trockenmasse der stehenden Bäume in zwei 12jährigen Beständen auf zwei verschiedenen Standorten in kg/ha (33) (122) (Pinus radiata)

Ort:	Tumut-Australien	Nordinsel-Neuseeland
<u>Trockenmasse in kg/ha (org. Subst.)</u>		
Nadelmasse	ca. 10.000	ca. 9.000
Astmasse	ca. 18.000	ca. 16.800
Stammasse	ca. 90.000	ca. 140.000
Bestand insges.	118.000	166.000

Auf den ersten Blick können wir feststellen, daß es sich um verschiedene Standortsbonitäten handelt. Der neuseeländische Bestand steht unter günstigeren Verhältnissen, obwohl es sich um einen naturverjüngten Bestand mit 2.650 Bäumen je ha gegenüber 1560 Bäumen je ha im australischen Bestand handelt. Die unterschiedliche Bestandsverfassung bewirkt, daß die Nadelmasse und Astmasse in dem neuseeländischen Bestand geringer ist.

Im Laufe der Bestandsentwicklung werden Teile der produzierten organischen Substanz zum Boden zurückkehren. Wenn wir diese Teile berücksichtigen, so erhalten wir für die obigen Standorte eine Gesamtproduktion an organischer Substanz als Trockenmasse (ohne Wurzeln) in 12 Jahren von

153.000 kg/ha (Australien) bzw. 196.000 kg/ha (Neuseeland). Dieses gibt entsprechend eine durchschnittliche jährliche Produktion von 13.000 kg/ha bzw. 16.300 kg/ha.

Bei Betrachtung der durchschnittlichen jährlichen Produktion an organischer Substanz ist aber zu berücksichtigen, daß in den ersten 3-4 Jahren die Bestandsentwicklung wesentlich langsamer verläuft. Läßt man diese Jahre außer Betracht, so errechnet sich für den neuseeländischen Bestand eine jährliche Produktion von 20.000 kg/ha. In Spitzenleistungsjahren kann dieser Wert weit überschritten werden (122).

Zu dieser Produktion kommt noch die Wurzelmasse, die in den Werten nicht enthalten ist. Sie soll nach verschiedenen Verfassern zwischen 11-15% der Bestandsmasse betragen (124) (75).

Die Produktion von älteren Beständen (s. Tab. 8) soll an 3 Beispielen erläutert werden, die aus Neuseeland und Chile stammen:

- a) 18jähriger Bestand aus 660 (618-700) Bäumen je ha in Kaingaroa-Neuseeland; Oberhöhenrahmen: 32.5-38.5 m; Aufnahme von 8 Bäumen (124). (= Neuseeland-18)
- b) 22jähriger Bestand aus 744 Bäumen je ha in Valdivia-Chile; Oberhöhenrahmen 24.0-30.0 m; Aufnahme des Mittelbaumes (anhand der Kreisfläche) (12). (= Chile-22)
- c) 26-29jährige Bestände aus 300 Bäumen je ha in Kaingaroa-Neuseeland; Oberhöhenrahmen: 26.5-32.5 m; Aufnahme von 8 Bäumen (71). (= Neuseeland-26-29)

Weiterhin ist ersichtlich, daß ein erheblicher Teil der organischen Substanz im Laufe der Bestandsentwicklung in Form von Ästen und Durchforstungsabfällen in den Boden zurückgelangt. Nicht weniger wichtig ist die Streufallmasse, die in einem Bestand erzeugt werden kann. Bei der Berechnung der jährlichen Produktion an organischer Substanz eines solchen Bestandes müssen diese Anteile berücksichtigt werden, da sie im Nährstoffhaushalt eine wichtige Rolle spielen.

Tab. 8: Vergleich: Trockenmasse drei verschiedener Bestände in Neuseeland und in Chile

	Neuseeland-18	Chile-22	Neuseeland-26-29
Baumteil	Org. Subst. in Trockenmasse kg/ha (aufgerundet)		
Nadelmasse	{ 39.000	12.000	{ 20.000
Astmasse		29.000	
Zapfen		9.000	
Rinde	29.000	{ 230.000	{ 201.000
Holz	204.000		
Insgesamt	272.000	280.000	221.000
Wurzelmasse über 1.25 cm Durchmesser u. Stock	29.000	n.b.	n.b.
Wurzeln unter 1.25 cm Dm	4.000	n.b.	n.b.
Durchforst. u. Astungen (u. Wurzeln)	70.000	n.b.	n.b.
Streufall insges.	56.000	n.b.	n.b.
Gesamte org.Subst. in kg/ha (T.M.)	431.000		

Die durchschnittliche jährliche Produktion an organischer Substanz (Trockenmasse) eines 18jährigen Bestandes beträgt, wie sich aus Tabelle 8 errechnen läßt, ca. 24.000 kg/ha mit Wurzelmasse. Ohne Berücksichtigung der ersten 3 Jahre mit einer geringen Produktion, steigt diese aber auf 28.700 kg/ha und Jahr und ohne Wurzeln auf 25.800 kg/ha und Jahr. Der laufende jährliche Zuwachs an organischer Substanz bei 18 Jahren aber kann über 35.000 kg/ha und Jahr erreichen (122) (124).

Diese Werte werden zwar wie bereits gesagt von Standort zu Standort unterschiedlich sein. Dennoch läßt sich die Größenordnung der möglichen Produktion aus den angegebenen Daten ersehen.

Die angegebenen Werte erreicht *Pinus radiata* nur bei fast ganzjährigem Wachstum, wie sie es bei günstigem Klima aufrecht erhält. In einem normalen Jahr dürfen auch Nährstoff- und Wasserangebot keine begrenzenden Faktoren darstellen, weiterhin muß ein gutes CO_2 -Angebot gegeben sein (124).

In Valdivia, Chile, können wir in etwa die gleichen Verhältnisse wie in Neuseeland finden. Ein ganzjähriges oder fast ganzjähriges Wachstum ist gegeben (27). Deshalb können auch auf den meisten Standorten des südlichen Mittelchiles ähnliche Erträge wie in Neuseeland erwartet werden (43) (93) (124) (72) (90).

2.5 Nährstoffinventur

2.5.1 Nährstoffgehalte in Baumteilen

Wie bei der Produktion an organischer Substanz gibt es auch beim Nährstoffgehalt in der Trockenmasse Unterschiede auf verschiedenen Standorten. Bei nährstoffreicheren Böden ist der Nährstoffgehalt in den Baumteilen höher (122).

Aus Tabelle 9 können wir entnehmen, daß wir innerhalb eines Baumes unterschiedliche Nährstoffgehalte finden werden.

So fallen die Nährstoffgehalte im allgemeinen von den Nadeln über Rinde, Astmasse bis zum Stammholz ab. Innerhalb der einzelnen Baumteile finden sich ebenfalls Unterschiede. In den jüngeren Baumteilen sind höhere Nährstoffgehalte als in den älteren, in den lebenden höhere als in den abgestorbenen zu messen (71) (116) (122) (126). Hieraus entstehen große Streuungen wie sie im Falle der Streu (abgestorbene Nadeln hauptsächlich) vorkommen. Feine Wurzeln zeigen einen viel höheren Nährstoffgehalt als grobe Wurzeln. Auch junge Nadeln unterscheiden sich von älteren sehr.

Tab. 9: Nährstoffgehalte in Prozent der Trockenmasse in den verschiedenen Baumteilen auf Böden vulkanischen Ursprungs in Neuseeland (71) (122)

Element:	N	P	K	Ca	Mg	
Nadeln	1.32-1.47	0.15 - 0.18	0.9 - 1.0	0.12 - 0.37	0.12	
Streu	0.8	0.075	0.31	0.63	0.12	
Baum- teil	Streu (Streuung)	(0.36 - 1.0)	(0.055-0.095)	(0.12-0.42)	(0.46-1.10)	(0.07-0.13)
	Grüne Aeste	0.3 - 0.9	0.018-0.1	0.2-0.8	0.15-0.21	0.08
	Tote Aeste	0.28	0.01	0.08	0.18	
	*Stammrinde a.	1.0	0.035	1.04	0.09	
	b.	0.38	0.068	0.57	0.2	
	c.	0.17	0.02	0.17	0.13	
	Holz bei 26-29 Jahre (Alter)	0.05	0.007	0.065	0.033	
	Holz bei 12 Jahre	0.1-0.12	0.009-0.01	0.11-0.16	0.8-0.09	0.035
	*Wurzeln	0.22-0.65	0.18-0.06	0.44-0.33	0.14-0.01	0.13-0.03

* Stammrinde a. = 9 Jahre alt; im Kronenteil
b. = 9 Jahre alt; am unteren Stamm
c. = 26 Jahre; als Mittelwert des ganzen Stammes

* Schwankungsbereich zwischen feinen und groben Wurzeln

2.5.2 Nährstoffvorräte im Bestand

Ein 12jähriger naturverjüngter Bestand auf gutem Standort in Neuseeland (122) zeigte ca. 3900 Bäume je ha. Lebend (1959) waren noch ca. 2950, von denen ca. 1790 einen Brusthöhendurchmesser von über 9 cm aufzeigten. Für die Summe dieser Bäume ergab sich eine Trockenmasse (org. Subst.) von insgesamt 166.000 kg/ha. In dieser Gesamtmasse waren enthalten (ca.): 346 kg/ha N, 32 kg/ha P, 295 kg/ha K, 176 kg/ha Ca und 74 kg/ha Mg (von lb/acre zu kg/ha: $\times 1.12$).

Wenn wir diesen Werten die des Streufalls der 12 Jahre zu rechnen, dann bekommen wir folgende Gesamtwerte:

196.000 kg/ha Trockenmasse; davon: 600 kg/ha N, 54 kg/ha P, 382 kg/ha K, 368 kg/ha Ca und 110 kg/ha Mg.

Hiervon können aber Anteile aus Kronenauswaschung und Streuzersetzung wieder aufgenommen worden sein.

Der Bestand entstand aus einer Naturverjüngung und zeigte eine sehr hohe Baumzahl auf. Normalerweise pflanzt man diese Kiefer im 2 x 2 m - Verband, was 2500 Bäume je ha ausmachen würde. Der obige naturverjüngte Bestand stand kurz vor der ersten Durchforstung. Von in 1960 2.650 lebenden Bäumen verblieben nach der Durchforstung 570 pro ha mit der Hälfte des Holzvolumens.

Bei einer Nährstoffinventur eines Bestandes muß man dann immer auf die Unterschiede zwischen den verschiedenen Bestandsbehandlungen Rücksicht nehmen.

Aus der Basis neuseeländischer Nährstoffgehaltsermittlungen (71) errechnete man in Australien die Gesamtnährstoffgehalte in kg/ha für reife 30jährige Bestände auf verschiedenen Standorten (63). Tabelle 10 gibt die Daten der Verfasser für die beste und die geringste Bonität wieder.

Aus ihr können wir entnehmen, wie groß die Schwankung zwischen verschiedenen Beständen sein kann, wenn die Standortsgüte nicht gleich ist.

Tab. 10: Trockenmasse und Nährstoffgehalte 30jähriger Pinus radiata-Bestände auf der besten und schlechtesten Standortsbonität Australiens (nach LEWIS und HARDING 1963)

Baumteil	Holz			Rinde			Nadeln			Aeste			Insgesamt		
% an der Trockenmasse	80%			12%			2.5%			5.5%			100%		
Nährstoff	N	P	K	N	P	K	N	P	K	N	P	K			
% in der Trockenmasse	0.048	0.006	0.063	0.19	0.01	0.042	1.32	0.18	0.90	0.3	0.018	0.2			
Bonität	Nährstoff mengen (kg/ha)														
Trockenmasse in kg/ha															
I 458.000	220	28	289	131	6.7	29	190	25.8	128	95	5.6	64	635	66	510
VII 114.000	55	6.7	72	32.5	1.7	6.7	47	6.7	33.5	23.5	1.1	15.6	158	16.2	126

Wichtig ist auch für die Analyse einer späteren Nährstoffhaushaltsstudie die relative Verteilung der Nährstoffwerte auf die verschiedenen Baumteile zu kennen. Hierüber gibt uns Tabelle 11 eine Uebersicht.

Tab. 11: Anteile der Trockenmasse und der Nährstoffe der wichtigsten Baumteile in Prozent des Gesamtbaumes (nach ORMAN und WILL 1960) (bei Alter 26-29)

Baumteil	Trockenmasse	N	P	K	Ca
Holz	80%	41%	49%	52%	52%
Rinde	12%	20%	19%	20%	30%
Nadelmasse	2.5%	25%	24%	18%	4%
Aeste	5.5%	14%	8%	10%	14%

Aus diesem Verhältnis ist zu folgern, daß Nadel-, Ast- und Rindenanteile einen höheren Nährstoffanteil im Baum und so auch im Bestand aufzeigen, als das Holz. Diese Tatsache spielt bei der Betrachtung des Nährstoffexportes aus dem Bestand bei der Holzernte eine Rolle.

2.6 Nährstoffkreislauf

2.6.1 Streufall und Bestandsniederschlag

Ein beträchtlicher Teil der produzierten organischen Substanz in einem Pinus radiata-Bestand kehrt im Laufe seiner Entwicklung wieder auf den Boden zurück.

Die Streuproduktion wurde in Australien auf verschiedenen Standorten unterschiedlicher Güte verfolgt und Schwankungen von 3000 bis 8200 kg/ha und Jahr festgestellt (3). Für den schon erwähnten Standort in Tumut, hat man einen durchschnittlichen Nadelfall nach Kronenschluß von etwa 3000 kg/ha geschätzt (33).

In Neuseeland war der Durchschnitt des Nadelfalls in einem jungen Bestand in den ersten 10 Jahren ca. 3000 kg/ha. Doch der Nadelfall für ältere geschlossene Bestände be-

trägt über 4000 kg/ha und Jahr und der gesamte Streufall liegt in der Größenordnung von ca. 5.600 kg/ha. Die Schwankungen um diese Durchschnittswerte sind aber erheblich (118) (122).

Neben dem Streufall spielt der Bestandsniederschlag als Nährstoffzufluß für den Boden eine wichtige Rolle. Die Niederschläge bringen zwar schon bestimmte Nährstoffmengen mit sich, doch durch die Kronenauswaschung werden hier im Kronendurchlaß und Stammablauf (die den Bestandsniederschlag bilden) weitere Elemente angereichert (s. Tabelle 12).

Tab. 12: Jährliche Zufuhr von Nährstoffen durch Streu und Regenwasser zum Boden (nach WILL 1968)

Fluß	* Nährelemente in kg/ha und Jahr				
	N	P	K	Ca	Na
Streu	35.0	3.4	14.0	20.7	3.4
Kronendurchlaß	n.b.	1.1	22.0	3.9	29.1
Insgesamt Flüsse	35.0	4.5	36.0	24.6	32.5
Regen im Freiland	n.b.	0.28	5.6	3.4	-

* umgerechnet aus lb/acre (1 lb/acre = 1.12 kg/ha)

Kalium und Natrium sind im Kronendurchlaß reichlicher vorhanden als in der Streu. Na befindet sich besonders im Freilandniederschlag, K wird weitgehend aus der Krone ausgewaschen, nur 40% seines Gesamtzuganges im Boden stammt aus der Streu (118).

Streu und Niederschlag zeigen jahreszeitliche Gehaltsschwankungen, die zu unregelmäßigem Nährstoffzufluß im Boden führen. Der Streufall ist jedoch im Laufe des Jahres durch die ganzjährige Vegetationsaktivität der Pinus radiata (118) gegenüber anderen Baumarten viel einheitlicher. In den ersten 12 Jahren eines Kiefernbestandes in Neuseeland

kehrte mindestens $\frac{1}{3}$ der gesamten Menge an N, P, K, Ca und Mg, die aufgenommen worden war, durch Streufall und Kronendurchlaß wieder zum Boden zurück (122).

Neben der Zufuhr aus Streu und Kronentraufe, kommen noch Nährstoffe von ganzen Bäumen hinzu, die entweder natürlich absterben oder bei einer Durchforstung auf dem Standort geblieben sind.

2.6.2 Nährstoffakkumulation im Auflagehumus

Vor Begründung der Reinplantagen von Pinus radiata wird oft weitgehend eine eventuell vorhandene Vegetation mit Feueranwendung eliminiert. In diesen Fällen, wie auch bei den schon freien Flächen, ist ein Auflagehumus nicht anzutreffen.

Nach Schließung des Bestandes wird solcherallmählich gebildet, zuerst durch Mitwirkung einer Bodenvegetation, die dann in ihrem Ausmaß durch Konkurrenz und Beschattung von der Kiefer teilweise oder ganz verdrängt wird. Bei trockenen und ärmeren Standorten kann die Bodenvegetation völlig verschwinden. So ist dann der Streufall der Kiefer der wesentliche Bestandteil dieser organischen Auflage auf dem Boden (s. Tabelle 13).

Da die Aufnahme in Tabelle 13 sich auf verschiedene Bestände stützt, ist hier eigentlich keine völlig zusammenhängende Entwicklung zu erwarten. Nach den Verfassern soll die Mächtigkeit, die der Auflagehumus bei einem Alter von 12 Jahren erreicht, auch älteren Beständen entsprechen. Streuangebot und Abbau des Auflagehumus können also ein Gleichgewicht erreichen. In den australischen Standorten (Tabelle 13) zeigte der Auflagehumus älterer Bestände eine organische Substanz, die etwa dem Streufall von 5-6 Jahren entsprach (33).

Tab. 13: Entwicklung der organischen Substanz (in Trockenmasse) im Auflagehumus von Pinus radiata-Beständen in Australien (nach FORREST und OVINGTON 1970)

Angaben als Produktion in Trockenmasse kg/ha

Alter des Bestandes	0-3	3-5	5-7	7-9	9-12
Nadelstreu	400*	1.800*	4.700*	2.600	4.900
Aeste	-	-	-	2.800	1.300
Auflagehumus (F und H)	-	-	-	8.900	10.800
Insgesamt	400	1.800	4.700	14.300	17.000

* beinhaltet auch Streu der Bodenvegetation

In Neuseeland stellte man auf vulkanischen Aschenböden fest, daß bereits nach drei Jahren die Streumasse auf dem Boden um 2/3 ihres Gewichtes abgenommen hatte, und daß ihre chemische Zusammensetzung ein Gleichgewicht erreichte. Die Zersetzungsaktivität durch Bodenorganismen aber ist noch bis 6 Jahre und darüber festzustellen, bevor das verbleibende organische Material in den Mineralboden eingemischt wurde (126).

Die Zersetzung und Mineralisierung des Auflagehumus ist für die Ernährung der raschwüchsigen Kiefernbestände wichtig. Bodentiere und Mikroorganismen führen die Zersetzung durch (31) (99). Auch Mykhorrizen, bei Pinus radiata treten mehrere Arten auf (67), spielen als Symbionten der Kiefer bei der Mobilisierung der Nährstoffe des Auflagehumus und des humosen Oberbodens eine Rolle (126). Anscheinend aber kann unter Umständen eine starke Durchwurzelung und Mykhorrizabildung im Auflagehumus zu einer rohhumusartigen Humusform führen, deren Abbau beschränkt wäre (37).

2.6.3 Nährstoffbilanz

Nun interessiert uns, was für ein Ausmaß der Nährstoffexport bei Pinus radiata-Plantagen durch die Holzentnahme annimmt und welchen Anteil er gegenüber der zurückgebliebenen organischen Masse mit ihren Nährstoffen ausmacht.

Anhand seiner eingehenden Studien in Neuseeland hat WILL (1964) hierfür eine übersichtliche Darstellung gegeben (Tabelle 14).

Tab. 14: Nährstoffbilanz für einen 35jährigen Umtrieb von Pinus radiata auf der Nordinsel Neuseelands (nach WILL 1964)

Stoffbilanz	Nährstoffe in kg/ha				org.Subst.
	N	P	K	Ca	kg/ha T.M.
Bei 10 Jahren					
1. Streu, nicht verwest	112.0	6.7	13.0	67.0	13.450
2. Rückstände 1.Durchf.	290.0	25.7	213.0	101.0	121.000
3. Verbleibender Bestand	90.0	8.9	81.0	34.0	49.300
Insgesamt	492.0	41.5	308.0	202.0	
Bei 35 Jahren					
1. Streu, nicht verwest	112.0	6.7	13.0	67.0	13.450
2. Abfälle Kahlschlag	134.0	14.6	95.0	36.0	29.100
Summe Abfälle (10-35)	246.0	21.3	108.0	103.0	
Export der 2.Durchf.	45.0	6.7	55.0	37.0	70.600
Export Endnutzung	184.0	25.8	228.0	151.0	291.000
Total Export (35 Jahre)	229.0	32.5	283.0	188.0	
Gesamt Aufnahme Bestand (= netto Bedarf)	475	53.8	392	291	
Netto Aufnahme Bestand zwischen 10-35 Jahren	-	12.3	84	89	

1 lb/acre = 1.12 kg/ha und aufgerundet

Die Daten wurden für 10 Jahre aus einen 12jährigen naturverjüngten Bestand geschätzt (Kapitel 2.6.2). Deswegen sind die Durchforstungsrückstände sehr hoch. 2.650 Bäume/ha und ein Volumen von 368 m³/ha wurden durch die erste Durchforstung auf 570 Bäume/ha und 188 m³/ha verringert.

Für die Schätzung der 2. Durchforstung und für den Kahlschlag im Alter 35 wurden die Daten einem 26-29jährigen Bestand entnommen bzw. anhand dieses Bestandes geschätzt.

Für den Nährstoffbedarf in zwei hintereinander folgenden Umtrieben dieser Kiefer auf dem studierten Standort und für die angedeutete waldbauliche Behandlung, macht WILL (1964) die in Tabelle 15 wiedergegebenen Angaben.

Tab. 15: Die Nährstoffaufnahme (Bedarf) hintereinanderfolgenden 35jährigen Umtriebe von Pinus radiata-Beständen in Neuseeland (vulkanische Aschenböden)(nach WILL 1964)

		Nährstoffe in kg/ha			
		N	P	K	Ca
Erster	0-10 Jahre	492	41.5	308	202
Umtrieb	11-35 Jahre	0	12.3	84	89
Zweiter	0-10 Jahre	246	20.0	200	99
Umtrieb (und folgende)	11-35 Jahre	0	12.3	84	89

1 lb/acre = 1.12 kg/ha (und aufgerundet)

Die größten Nährstoffansprüche stellen die Bestände bei voller Entwicklung der Baumkrone in den ersten 10 Jahren an den Boden. Streufall, Bestandsniederschlag, Durchforstungsrückstände wie auch Aestungen decken dann später durch ihren Abbau einen hohen Teil des Nährstoffbedarfes. Außerdem bleibt das Kronenvolumen nach Kronenschluß in etwa konstant, so daß Bildung und Abbau in etwa ein Gleichgewicht bilden. Nur die Stammasse nimmt hier zu, die außer Ca einen geringeren Nährstoffgehalt und somit -bedarf aufweist.

Im Vergleich zu europäischen Baumarten ist der Nährstoffexport bei Pinus radiata höher für Phosphor und Kalium, bleibt bei Ca aber etwa gleich. Hierüber gibt uns Tabelle 16 eine Uebersicht.

Tab. 16: Nährstoffexport durch Durchforstungen und Endnutzungen während eines Jahrhunderts (nach WILL 1964)

		Nährstoffe in kg/ha			
		N	P	K	Ca
Kiefern	(RENNIE)	n.b.	38	186	425
andere Koniferen		n.b.	73	465	896
Laubbölzer	(RENNIE)	n.b.	105.5	482	1940
<u>Pinus radiata</u>		690	97.5	850	560

Es muß aber berücksichtigt werden, daß hierbei Pinus radiata kürzere Umtriebszeiten aufweist.

Anhand der bisherigen Darstellungen berechnete WILL (1968), daß 85% der aufgenommenen Nährstoffe als Summe von Streufall, Kronendurchlaß, Wurzeln und sonstigen Baumrückständen nach einer 35 Jahre langen Umtriebszeit im Boden verbleiben. Dies ist auf jeden Fall eine erhebliche Menge.

Die restlichen 15%, die als Nährstoffverlust für den Standort bezeichnet werden müssen, stellen aber doch einen erheblichen Verlust dar, welcher hauptsächlich auf wenig fruchtbaren Standorten mit geringen Nährstoffreserven zu schwerwiegenden Folgen im Nährstoffhaushalt führen kann.

Es ist zu erwarten, daß sich bei anderen als den zugrundegelegten Bestandesbehandlungen Abweichungen von den geschilderten Verhältnissen ergeben werden. Auch Standortsabweichungen werden zu anderen Werten führen. Grundsätzlich aber ist nach dem Dargestellten ein höherer Nährstoffverlust bei Holznutzung in kürzeren Umtriebszeiten zu erwarten, schon durch die sich vermehrenden Kahlschlageinflüsse und das Abbrennen der Rückstände. Bei der Entnahme der Baumrinde mit dem Stamm entsteht ein noch höherer Nährstoffverlust.

Die Ertragsleistung der späteren Umtriebe wird dann von dem Nährstoffvorrat bzw. -verfügbarkeit des Standortes abhängen. Eine Verminderung der Standortsbonität kann ohne

weiteres eintreten. Sicherlich wird dieser Effekt bei wenig fruchtbaren und flachen Böden von trockeneren Standorten stärker sein als bei tiefen und fruchtbaren Böden von feuchteren Standorten. Einige Studien deuten bereits in diese Richtung (42) (52), doch müßten noch weitere Untersuchungen durchgeführt werden.

2.6.4 Rückwirkungen auf die Bodeneigenschaften

Auf gestörten Böden kann die Anpflanzung von Pinus radiata zu positiven Einwirkungen auf den allgemeinen Bodenzustand führen. Bei erosionsgefährdeten bzw. -gestörten Böden kann sie den Erosionsprozeß oft stoppen, nicht nur durch Schutz der Kronendecke, sondern auch durch die Bodenstabilisierung mit der Wurzelmasse und der organischen Auflage. Außerdem wird die Bodenflora und -fauna gefördert (82).

Auf Rohböden, wie z.B. Sanddünen, kann ein Auflagehumus und ein organischer Oberboden gebildet werden, der nach 20 Jahren über 5 cm Mächtigkeit erreichen kann (54).

Auf sandigen, vulkanischen Rohböden soll der Einfluß von dieser Kiefer vorteilhaft sein, da sie sich die relativ großen Nährstoffreserven solcher Böden zugänglich machen und sie aufnehmen kann. Diese Einwirkung ist an stark verwittertem Material in den Kiefernwurzelgängen auf vulkanischen Böden in Mittelchile zu beobachten (130).

Je nach Standortgüte und Bestandesstruktur wird ein in der Zusammensetzung entsprechender Auflagehumus bzw. Humusform gebildet. Dieses ist für die Bildung des humosen Oberbodens und die Ernährung der Bestände von Wichtigkeit (32).

Wenn Pinus radiata auf ehemaligen Laubholzstandorten angepflanzt wurde, wo eine günstige Humusform vorherrschte, kann es unter Umständen zu einer negativen Aenderung der Humusform kommen. Dieses wurde in Neuseeland beobachtet, wo Pinus radiata die Beschaffenheit der organischen Substanz geändert haben soll (9) (18) (104).

Ueber den Einfluß auf mineralischen Böden fehlen noch weitgehend genauere Daten. Er wurde in Australien auf ärmeren und trockneren Standorten, wo die Kiefer eingeführt wurde, verfolgt (42). Folgende Aenderungen wurden unter den Kiefernbeständen im A_n Horizont festgestellt: höhere Farbwerte ("value"), höhere Raumdichte und höherer pH wie auch C/N Verhältnis, geringerer Glühverlust und weniger organischer C, Gesamt-N, P, austauschbare Kationen, Kationenaustauschkapazität und lösliche Salze. Eine höhere Raumdichte war auf diesem Standort mit einer Verminderung der Wasserspeicherkapazität korreliert. Es wird angenommen, daß möglicherweise der Maschineneinsatz bei der Bestandesbegründung hier eine Einwirkung hatte, doch sollte dieser nach 35 Jahren nicht mehr nachzuweisen sein. Fruchtbarere und feuchtere Standorte in diesem Gebiet haben jedoch keine Veränderungen erfahren.

Andere Verfasser beobachteten, daß in Böden unter natürlicher Vegetation gegenüber solchen unter Pinus radiata-Beständen in der 1. und 2. Generation keine signifikanten Unterschiede festzustellen waren (63).

Eine eigenartige Wirkung der Pinus radiata Bestände in Neuseeland, auf Böden vulkanischen Ursprungs, ist hier zu erwähnen. Unter ihnen konnte man die Bildung von Bleichzonen im humosen Oberhorizont im Bereich der intensivsten Feinwurzelbildung beobachten. Diese kommen als lessivierte bzw. gebleichte taschenförmige Bereiche von 2.5 - 5 cm Durchmesser, manchmal als kontinuierliche Schicht vor.

Neben ihrem bleichen Aussehen sind sie weich, schwammartig und hydrophob. In diesem Bereich kann man höhere pF-Werte messen als in dem unmittelbar neben ihnen liegenden Boden, vielfach Werte über dem Welkepunkt. Sie zeigen auch eine starke Verminderung im Nährstoffgehalt (% Kohlenstoff und % Stickstoff und auch Phosphor in ppm) sowie einen schlechteren Nährstoffzustand (geringere Kationenaustauschkapazität und totale Austauschkapazität).

Sie erscheinen um die Feinwurzeln der jungen, schon geschlossenen Bestände, nachdem ein Auflagehumus sich gebildet hat. Bei dicht geschlossenen Beständen mit mächtigem Auflagehumus sind sie ausgeprägter. Bei lichten Beständen kommen sie nur schwach oder überhaupt nicht vor. Nach einem Kahlschlag verschwinden sie meist in drei bis vier Jahren wieder. Nach Kronenschluß des Folgebestandes kommen sie jedoch wieder zum Vorschein (121) (126).

Nach dem Verhalten dieser Bleichzonen wird vermutet, daß es eine Aenderung der intensiven Aktivität der Wurzelmykorrhizas ist, die für diese Kiefer charakteristisch ist (126).

2.6.5 Ansprache des Nährstoffzustandes

Verschiedene Methoden zur Analyse des Ernährungszustandes von Beständen wie auch Nährstoffvorräte bzw. -verfügbarkeit im Boden wurden entwickelt. Oft kann die Bodenanalyse aufschlußreiche Angaben über den Bestand machen wie z.B. bei Phosphor (16). Doch oft sind auch die Unterschiede und Streuungen innerhalb dieser Analysen zu stark. Hier ist dann die Nadelanalyse eine gute Hilfe zur Diagnose des Ernährungszustandes der Kiefer.

Zusätzliche Aussagekraft zu der der Nährstoffkonzentration in den Nadeln hat das Verhältnis zwischen den einzelnen Nährstoffen. Es konnte festgestellt werden, daß dieses Verhältnis zwischen Stickstoff und Phosphor 10:1 sein soll (79). Andere Verfasser geben das Verhältnis von N:P mit Werten zwischen 8-12:1 an und für K:Ca von über 1 (135).

Die geschilderten Angaben sind eine gute Hilfe, um den Ernährungszustand der Pinus radiata zu definieren. Um vergleichbare Werte zu erhalten, muß aber bei der Nadelanalyse der Kiefer sowohl auf den jahreszeitlichen Wechsel des Nährstoffgehaltes, als auch auf die Kronenposition und das Alter der Nadeln Rücksicht genommen werden (116) (41).

Tab. 17: Nadelanalysenwerte für Pinus radiata

Makroelemente: Nährelement in den Nadeln in % der T.M.								
Literatur	Jahr	Ernährungs- zustand	N	P	K	Ca	Mg	
(120)	1961	unterste Grenze zu gut	1.6%	0.1-0.11%	0.7-1.1%	-	0.08-0.11%	
(123)	1966	kritische Grenze bei Atomabsorptionsspectr.					0.06-0.08%	
(79)	1969	Minimum	1.37%	0.129%	0.64%	-	-	
		kritische Grenze	1.0%	0.1%	0.25%	-	-	
		gut	1.7%+	0.17%+	-	-	-	
Mikroelemente: Nährelement in den Nadeln in ppm der T.M.								
Literatur	Jahr	Ernährungs- zustand	Fe	Mn	B	Cu	Mo	Zn
(98)	1965	Mangel			3- 7			
		mäßig			11-13			
(96)	1967	kritisch	21-52			2.9-3.7		
		mäßig		42-905		3.8-9.0	0.3-0.5	30-54
(13)	1937	mäßig		220-460				
(95)	1950	Mangel						1- 5
		kritisch						5-11
		mäßig						19-32
(65)	1966	Mangel		5-14	5-16			
		kritisch		12-40	15-30			
		gut-mäßig		40-700	30-50		7-40	
		toxisch		ü. 700	ü. 50		ü.40	
(59)	1969)	mäßig		ab 20				
		Mangel		5-10				

2.6.6 Düngung

Die Notwendigkeit einer Melioration bestimmter Pinus radiata Standorte wurde schon länger erkannt. In Neuseeland und Australien sind schon vor mehreren Jahren Düngungsversuche angelegt worden (93).

Im Kapitel 2.2.2 wurden einige der vorhandenen Angaben wiedergegeben. In Tab. 18 sollen einige der Düngungs- und andere Meliorationsmaßnahmen erläutert werden.

Tab. 18: Düngungs- und andere Meliorationsversuche in verschiedenen Gebieten auf verschiedenen Standorten

Uebersicht

Literatur	Jahr	Standort	Düngemittel	Düngungserfolg
(79) Australien	1969	Mt.Burr sand 1-3 m über tonigem Ma- terial pod- solierter Dünensand	Super- phosphat (P)	Steigerung des Durchmesserzu- wachses in tief- gründigen Sanden, bei den schlech- teren P Zuständen und älteren Bäumen
(63) Australien	1963	Verschiedene Standorte d. Adelaide Hills (late- ritische u.a. relativ un- fruchtbar)	Super- phosphat (P)	Steigerung um 9% d. Kreisflächen- zuwachses
(63) Australien	1963	"	Super- phosphat u. Bear- beitung	Steigerung um 22% d. Kreisflächen- zuwachses
(63) Australien	1963	"	Bodenver- besserung durch Be- arbeitung vor der Pflanzung (cultiva- tion)	Steigerung des Zu- wachses haupt- sächl. auf ärme- ren Standorten (b.a. 20 Jahre). Besser bei schlech- teren Standorten, leichteren Böden und mit guten Wasserverhält- nissen

Literatur	Jahr	Standort	Düngemittel	Düngungserfolg
(2) Australien	1962	"Hawkesbury sandstone" podsolig, mangelnde Standorte	Superphosphat u. Rock-Phosphate (P)	Keine Signif. zwischen beiden Düngern, im Effekt, signif. besserer Zuwachs bei Düngung
(39) Australien	1965	"Hawkesbury sandstone" podsolierter sandtoniger Sand mangelnde Standorte	"	118 (rP) -128 (sP) m ³ /ha gegenüber 38.5 m ³ /ha ohne Düngung
"	"	"	"	Keine negativen Wirkungen auf die Holzqualität
(2) Australien	1951/52	Tasmanien	"	Stärkerer Durchmesserzuwachs bei Düngung und bessere Kronen- und Nadelbildung Zuw.: 0.8-0.93 cm gegenüber 0.48-0.53 cm
(110) Australien	1969	Standorte m. starkem Verlust an org. Substanz "Hawkesbury sandstone" Standorte m. starkem N u. P Mangel	N(Harnstoff) P(Dicalciumphosphate) S(Gypsum)	Beste Ergebnisse mit N+P, besser als nur P. N allein = Rückgang. N+P: 4mal die T.M.-Produktion als P allein; Düngungserfolge: 1. Umtrieb - ohne Düngung; 2. Umtrieb - P Düngung 3. Umtrieb - N+P Düngung (gültig bei Abbrennen d. Abfälle der Holzernete).
(47) Australien	1964	Verschiedene Böden. Mangel an P oder an P und Ca	Superphosphat. Superphosphate + lime + gips	Positiver Effekt auf das Wachstum der Bäume (stärkerer Höhenzuwachs)

Literatur	Jahr	Standort	Düngemittel	Düngungserfolg
(41) Australien	1963	sandig bis sandiger Lehm über Ton in 60 cm Tiefe; auch roter Lehm aus Basalt; unfruchtbar für die Landwirtschaft	KCl (mindestens 125 kg/ha)	Höhere Durchschnittshöhen b. den gedüngten Pflanzungen (junge Pflanzen) 30% höherer Volumenzuwachs
(119) Neuseeland	1961	Vulkanische Aschen (rhyolitic pumice) Mangel an Mg	verschiedene Mg Dünger	Düngung erhöhte nicht nur Nährstoffkonzentration in den Nadeln sondern auch das Wachstum
(115) Neuseeland	1955	"gumland" soils P Mangel (s. Böden)	Superphosphat (P)	Höhere Konzentration in den Nadeln und anderen Baumteilen
(98) Neuseeland	1965	Kaiteriteritonige Lehme Moutere Gravels (s. Böden) B-Mangel	Borax	Verhindert schlechte Baumform und Spitzenabsterben und verbessert den Zuwachs
(66) Neuseeland	1968	"gumland" soils	Superphosphat (top-dressed)	Gesünderer Bestand; besserer Höhen- u. Volumenzuwachs
(11) Neuseeland	1966	Kaiteriteri soil (aus Graniten) u. Moutere Gravel (s. Böden) N u. B Mangel	Harnstoff NH_4SO_4 u. NPK u.a.	Verbesserte die Kronenbildung und zeigte einen höheren Zuwachs
(29) South Afrika	1963	Mischung aus Granite und "Table Mountain sandstone" sandiger bis toniger Lehm gute Standorte	Versuche mit verschiedenen Düngern	Nicht signifikant besser bei N, Mg und Ca. Signifikant besser bei P, K und indirekt Ca.

Literatur	Jahr	Standort	Düngemittel	Düngungserfolg
(59) Südafrika	1969	"Tabel Mountain sandstone" Mn mangeln- de Standorte	$MnSO_4$ (sprühen) Superphosphat	Mn Mangel verschwindet und es tritt ein starker Zuwachs ein. Signifikanter Effekt im Höhenzuwachs
(84) Chile	1969	Sanddünen (eolische; aus basaltischen Material) N u. P Mangel	KNO_3 Superphosphat	Größter Effekt mit N Dünger. Noch besser mit N u. P Düngung

Der größte Teil der bisherigen Düngungsversuche wurde dort angelegt, wo die Kiefernbestände eine mangelhafte Entwicklung aufzeigten, also hauptsächlich auf wenig fruchtbaren Standorten.

Die Düngung konnte häufig zumindest den Gesundheitszustand der Kiefer verbessern und somit zu einer günstigeren Entwicklung führen, oft gelang es auch, einen bessere Zuwachs zu erreichen.

Oft spielt bei der Entstehung von Nährstoffmangel die Humusform eine wichtige Rolle. Durch geringe biologische Aktivität und dadurch langsame Zersetzung und Mineralisierung bleibt der im Humus gebundene Nährstoffvorrat den Pflanzen vorenthalten. Der Humusspiegel im Boden ist eine Funktion der Vegetation und läßt sich am leichtesten durch Eingriffe in die Vegetationszusammensetzung regeln (106).

So sollte man zu diesen Kiefernbeständen, wenn sie keine in ihrer Nährstoffzusammensetzung günstige natürliche Bodenvegetation aufzeigen, andere verbessernde Pflanzen hinzumischen. Hier sind stickstoffbindende Leguminosen, wie Lupinen, oft eine gute Hilfe (38). Mit ihnen könnte man das Nährstoffangebot wie auch die Struktur des Auflagehumus und die organische Substanz im Mineralboden verbessern.

Ein schlechter Ernährungszustand der Bestände könnte auch durch Bodenbearbeitung gebessert werden (63). Durch sie wird hauptsächlich die Zersetzung des Auflagehumus angeregt, es erfolgt jedoch keine langfristige Erhöhung des Nährstoffgehaltes im Mineralboden, vielmehr treten sogar Nährstoffverluste durch Auswaschung, im wesentlichen des Stickstoffs, hinzu. Der biologische Bodenzustand läßt sich nachhaltig weniger durch eine Bodenbearbeitung als durch Änderungen in der Vegetation beeinflussen (106).

Wie aus Tabelle 18 zu entnehmen ist, wurde von einem Versuch in Australien berichtet, bei dem neben Bodenbearbeitung auch eine Düngung erfolgte, wodurch gute Ergebnisse erreicht wurden (63).

3. Voraussetzungen für den Anbau von Pinus radiata in Chile

3.1 Geographische Verhältnisse

Chile erstreckt sich mit einer durchschnittlichen Breite von ca. 180 km über 38 Breitengrade; es ist 4.200 km lang und besitzt eine Gesamtfläche von 742.000 km² (ohne Antarktik) (6).

Die ungeheure Länge des Landes bedingt eine große klimatische Variation. Das Gebiet zeigt große Unterschiede in den Strahlungsverhältnissen, in der Niederschlagsmenge und, obwohl weniger ausgeprägt, in den Temperaturen.

Die klimatischen Verschiedenheiten werden weiterhin stark durch das wechselnde Relief geprägt. Zwei Gebirgsketten erstrecken sich in Nord-Süd-Richtung. Dies sind einmal die hoch aufragenden Anden, die viel höher und breiter sind als die parallel verlaufende Küsten-Kordillere, welche sich wesentlich niedriger und sanfter entwickelt.

Beide Gebirgsketten werden durch ein Längstal (Längssenke, Depression) getrennt, welches hauptsächlich mit Schotter, Erosions- und Verwitterungsmaterial der Anden - Kordillere gefüllt ist.

Das ganze Gebiet zeigt ein Gefälle in Richtung Ost-West. Daher ist auch das Land durch viele Flüsse und Täler in derselben Richtung durchbrochen (36).

3.2 Bodennutzung

Die Agrarfläche Chiles liegt nach den verschiedenen Statistiken zwischen 250.000 und 300.000 km². Hierin eingeschlossen sind Nutzflächen mit Anbau, Dauerweiden, ausgedehnte Gebiete extensiver Wald- und Steppenweide, z.T. auch Wälder mit gelegentlichen landwirtschaftlichen Zwischennutzungen (60).

Die Entwicklung wird folgendermaßen angegeben (53):

<u>Jahr</u>	<u>Nutzfläche</u>
1875	102.000 km ²
1936	214.000 km ²
1943	262.000 km ²

Bis 1940 soll sich nach diesen Angaben der Agrarraum erweitert haben. In den letzten Jahrzehnten soll die Nutzfläche dann Rückgänge erlebt haben. Sie ist eigentlich wohl auch nicht mehr auszuweiten, und das Augenmerk sollte jetzt vielmehr auf die Intensivierung gelenkt werden, also auf eine Steigerung der Erträge/ha.

Das INSTITUT FÜR GEOGRAPHIE DES CHILENISCHEN HEERES (1970) gibt für die Landwirtschaft im weitesten Sinne eine Fläche von 200.000 km² an. Die restlichen 571.767 km² sollen Wüsten, Gebirge, bergige und hügelige Gebiete sein.

Auf Basis der in Chile gültigen Einteilung der Nutzmöglichkeiten und Bonität der Standorte in 8 Klassen wird die Einteilung des Landes in Tabelle 19 angegeben.

Tab. 19: Einteilung Chiles in die verschiedenen Bodennutzungsmöglichkeiten (nach CARVALLO 1965)

<u>Nutzungsklasse</u>	<u>Fläche in ha</u>	<u>Prozent der Gesamtfläche</u>
Klassen I und II (landwirtschaftliche Nutzflächen)	6.196.000 ha	8.3%
Klassen III und IV (bedingt landwirtschaftlich nutzbare Böden)	5.728.000 ha	7.7%
Klasse V (im wesentlichen Dauerweide)	4.465.000 ha	5.9%
Klasse VI (Almen und kurzfristige Weiden, teils assoziiert mit Dorn- bzw. Hartlaubgebüsch, gering mit Wald)	16.737.000 ha	22.6%
Klasse VII (hauptsächlich Waldgebiete, teils mit wirtschaftlichem Wald)	20.443.000 ha	27.6%
Klasse VIII (nicht landwirtschaftlich nutzbare Gebiete: Wüste, hohe Kordillere, Gletscher, Dünen und Seen)	20.707.000 ha	27.9%

Aus diesen Angaben können wir entnehmen, daß die landwirtschaftlich nutzbaren Flächen begrenzt sind. Eine größere Ausdehnung haben die Flächen, die für die Viehwirtschaft nutzbar sind. Noch ausgedehnter sind dagegen die forstlich zu nutzenden Gebiete.

CHONCHOL (1970) erklärte als damaliger Landwirtschaftsminister Chiles (1970-72), daß für 47% des Landes bzw. 38.000.000 ha die Forstwirtschaft die angemessene Nutzungsmöglichkeit sei. Damit wurde anerkannt, daß einerseits die landwirtschaftlich nutzbaren Gebiete nicht mehr ausdehnbar sind und die weitere Ansiedlung in Waldgebieten verhindert werden müßte, zweitens, daß die Forstwirtschaft eine wichtige Rolle in der Landnutzung spielen sollte.

3.2.1 Nordchile

Nordchile (ca. 17°50' - ca. 32°s.Br.) besteht zum größten Teil aus Wüste und Gebirge. Im nördlichsten Teil herrscht ganzjährige Trockenheit, im südlicheren gibt es episodische Winterregen (36) (48). Diese Niederschläge sind sehr gering, von 0 bis weniger als 250 mm. Häufig sind Jahre völlig ohne Regen, welche eventuelle Aufforstungen sehr gefährden können, obwohl die Luftfeuchtigkeit in Küstennähe das Risiko etwas mildern würde. Aber erst unter dem 32°s.Br. (Zapallar) fallen im Küstengebiet über 300 mm Niederschlag.

Landwirtschaftlich ist in diesem Gebiet praktisch nur eine Oasenwirtschaft möglich. In einem begrenzten Gebietsbereich gibt es die Möglichkeit zur Aufforstung, doch nur mit trockenheitsresistenter Baumarten, die dann mehr für viehwirtschaftliche Zwecke benutzt werden. Im südlicheren Teil dieses Gebietes gibt es fruchtbare Täler, die durch Bewässerung eine Landwirtschaft ermöglichen. Auch die Hochanden sind einer extensiven Viehwirtschaft stellenweise zugänglich. Eine reguläre Forstwirtschaft ist hier wegen der widrigen natürlichen Verhältnisse nicht möglich.

Nördlich des 32°s.Br. werden also die Plantagen sicherlich kein bedeutendes Ausmaß erreichen. Sie werden sich südlich des 30°s.Br. auf nebelreiche Hügellagen der westlichen Seite der Küstenkordillere oder auf bewässerte Lagen der Flußtäler beschränken. Dieses werden aber Ausnahmefälle sein.

Die Bevölkerungsdichte dieses Gebietes ist im allgemeinen geringer als 2 Einwohner je km². Nur an Küstengebieten und im südlicheren Teil steigt sie über diesen Wert (6).

3.2.2 Südchile

Südchile (43°-56°s.Br.) ist zur Zeit noch wenig erschlossen und besitzt ein sehr bewegtes Relief aus Gebirgen, Täler, Fjorden, Gletschern und Inseln. Weite Gebiete weisen ein ungünstiges kaltes Klima auf. Erst in den letzten Jahrzehnten wurde dieses Gebiet durch eine größere Zahl von Ansiedlern in Besitz genommen, doch noch liegt die Bevölkerungsdichte im ganzen Gebiet unter 2 Einwohnern pro km² (6).

Die Niederschläge fallen ganzjährig und reichlich (36) (48). Die Temperatur liegt aber an der Grenze der Bedürfnisse von Pinus radiata, auf deren Anbau daher zugunsten des Naturwaldes oder auch besser angepaßter ausländischer Baumarten verzichtet werden sollte.

Der Wald wird ohne Zweifel in dieser Landschaft eine große Rolle spielen, vorwiegend für das anliegende waldarme Steppenland im Osten. Heute ist aber seine Unzugänglichkeit noch zu wenig überwunden, um eine intensive oder auch nur extensive Forstwirtschaft zu treiben. Wo hochwertige und zugängliche Holzvorräte vorhanden sind, befinden sich diese in der Phase der Holzexploitation und in für die Ansiedlung günstigen Gebieten wird der Wald unkontrolliert gerodet, um die im Augenblick wirtschaftlichere Viehwirtschaft zu ermöglichen.

3.2.3 Mittelchile

Mittelchile (32° - 43° s.Br.) ist das am dichtesten bevölkerte Gebiet des Landes mit 2 bis über 100 Einwohner je km^2 . Letztere leben in den Ballungszentren, hauptsächlich um Santiago-Valparaíso und Concepción. Mittelchile umfaßt etwa 200.000 km^2 (6).

Die guten klimatischen Bedingungen ermöglichen in diesem Raum eine erfolgreiche Landwirtschaft im Längstal, aber auch in den ebenen bis hügeligen Lagen des Küstengebirges und am Fuß der Anden. Der immer größere Bedarf der wachsenden Bevölkerung an landwirtschaftlichen Produkten, unterstützt durch die noch immer extensiven Methoden der Agrarproduktion, haben dazu geführt, daß nach der Kultivierung der landwirtschaftlich nutzbaren Böden auch solche gerodet wurden, die eigentlich nach ihren natürlichen Gegebenheiten nur forstlich zu bewirtschaften waren. Dieser Prozeß wurde durch die unbeschränkte Holzexploitation, die im Norden seit Anfang des XIX Jahrhunderts, im Süden seit Anfang dieses Jahrhunderts vor sich ging, (51) (61) erheblich beschleunigt. Da genügend Vorrat und keine entgegenstehenden Gesetze vorhanden waren, kümmerte man sich gar nicht oder wenig um die Wiederbewaldung oder Verjüngung des natürlichen Waldes.

Größere Gebiete sind daher heute landwirtschaftlich nicht oder nicht mehr rentabel zu nutzen und fallen wegen des Fehlens angebrachter Vorsichtsmaßnahmen der Erosion anheim. Andererseits steigt der Holzbedarf der Bevölkerung Chiles ständig an, wie auch gleichzeitig die Möglichkeit des Holzexportes (10).

Diese Faktoren begünstigten in den letzten Jahrzehnten forstwirtschaftliche Maßnahmen, insbesondere die Plantagenwirtschaft. Die besonders geeignete raschwüchsige Pinus radiata steht seit langem an erster Stelle im Aufzuchtprogramm und hat an Wichtigkeit im Holzeinschlag nicht nur alle anderen importierten Baumarten, sondern auch

den Naturwald bereits übertroffen. Im Jahre 1969 bestanden bereits 70% des Rundholzaufkommens in Chile aus Pinus radiata - Holz.

Erst nördlich vom 43° s.Br. werden die Temperaturen erreicht, die Pinus radiata für ihre Entwicklung benötigt. Erst südlich des 32° s.Br. dagegen fällt die nötige Menge an Niederschlägen bzw. ist die nötige Feuchte vorhanden, die den Wasserbedarf der Kiefernplantagen decken kann. Somit beschränken sich die Pinus radiata Pflanzungen auf Mittelchile.

4. Voraussetzungen für den Anbau von Pinus radiata in Mittelchile

4.1 Natürliche Gegebenheiten Mittelchiles

4.1.1 Klima

Vom 32° bis 34° s.Br. erstreckt sich die Zone episodischer Wintertrockenheit, vom 34° bis 38° s.Br. die Zone regelmäßiger subtropischer Winterregen bei periodischer Sommertrockenheit. Darauf folgt vom 38° bis zum 41° s.Br. die Zone episodischer Sommertrockenheit und daran anschließend von 41° bis 43° s.Br. die Zone ganzjähriger Niederschläge mit Wintermaximum (48).

In Tabelle 20 werden die Niederschlags- und Temperaturwerte verschiedener Orte dieses Gebietes, angefangen im Norden, wiedergegeben, um eine bessere Uebersicht zu ermöglichen.

Von den nördlichen Wüstengebieten bis zum 38° s.Br. etwa herrscht vorwiegend mittelmeerartiges Niederschlagsregime, mit winterlichen Niederschlägen und längerer Trockenperiode. Vom 38° s.Br. nach Süden tritt der ozeanische Einfluß immer stärker in Erscheinung. Hier gibt es ganzjährig Regen mit Höchstwerten im Winter.

Das ganze Gebiet Chiles charakterisiert FUENZALIDA (1965) folgendermaßen:

1. Thermische Homogenität herrscht von Arica bis zum Kap Horn. Diese Orte liegen über 38 Breitengrade getrennt und zeigen nur einen Temperaturunterschied von 15°C im Jahresmittel.
2. An keinem Ort ist eine starke Kontinentalität festzustellen.
3. Die Isothermen ordnen sich in Richtung Norden-Süden ein, dank dem Einfluß des Meeres und der gegebenen Reliefverhältnisse.
4. Durch den kalten Humboldtstrom und die vorherrschenden Westwinde, herrschen an der chilenischen Küste im allgemeinen niedrigere Temperaturen als der geographischen Breite entsprechen würden.
5. Das in die Länge orientierte Relief bewirkt eine Vergrößerung der jährlichen Temperaturamplituden, die dem

Tabelle 20: Klimadaten (nach FUENZALIDA, H.P. 1966)

		J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jährl.
K	ZAPALLAR Csb ₁	Breitengrad: 32°32' S	Längstgrad: 71°12' W	Höhe über NN: 30 m										
	Temperatur(°C) 1918-20	17.6	17.5	16.2	13.9	12.9	11.7	11.3	11.4	12.2	13.3	14.9	16.5	14.2
	Niedersch. mm 1918-33	3.1	0.9	1.4	12.5	71.8	120.5	76.1	54.2	28.8	9.9	2.5	1.6	384.3
(A)L	LOS ANDES Csb ₁	Breitengrad: 32°50' S	Längstgrad: 70°36' W	Höhe über NN: 816 m										
	Temperatur(°C) 1911-46	20.9	21.3	18.9	15.4	11.6	8.9	9.2	10.4	12.5	15.5	18.4	20.9	15.4
	Niedersch. mm 1907-51	2.1	3.4	3.7	15.4	62.7	83.6	57.4	4.1	23.0	10.6	4.4	3.6	319.0
L	SAN FELIPE Bsk	Breitengrad: 32°45' S	Längstgrad: 70°44' W	Höhe über NN: 636 m										
	Temperatur(°C) 1913-16	21.6	20.9	17.5	14.3	10.5	7.4	8.6	10.2	12.1	14.7	18.1	20.2	14.7
	Niedersch. mm 1913-16	-	-	1.6	13.3	53.3	67.4	34.5	18.8	32.3	6.2	16.5	-	243.9
K	CONSTITUCION Csb ₁	Breitengrad: 35°20' S	Längstgrad: 72°26' W	Höhe über NN: 2 m										
	Temperatur(°C) 1930-46	18.2	17.7	16.2	13.9	12.1	10.7	10.1	10.4	11.7	13.3	15.5	17.2	13.9
	Niedersch. mm 1931-60	10.9	10.3	16.6	55.5	13.1	227.2	185.6	140.6	66.7	40.1	20.4	12.8	959.8
L	TALCA Csb ₁	Breitengrad: 35°26' S	Längstgrad: 71°40' W	Höhe über NN: 97 m										
	Temperatur(°C) 1911-46	22.1	21.0	18.2	14.2	10.9	8.7	8.5	9.5	11.7	14.7	17.5	20.4	14.8
	Niedersch. mm 1911-60	9.6	6.0	13.9	41.9	142.0	172.3	135.6	86.8	58.3	26.6	17.9	10.3	721.1
A	PANIMAVIDA Csb ₁	Breitengrad: 35°45' S	Längstgrad: 71°24' W	Höhe über NN: 197 m										
	Temperatur(°C) 1938-50	20.4	18.9	16.1	12.6	10.2	8.0	7.6	8.3	10.7	13.2	15.7	18.8	13.4
	Niedersch. mm 1938-49	9.6	25.0	23.5	55.1	195.1	193.4	208.9	153.7	82.7	56.5	43.0	18.1	1.064.8
A	LONQUIMAY Cfsb ₁	Breitengrad: 38°26' S	Längstgrad: 71°15' W	Höhe über NN: 900 m										
	Temperatur(°C) 1916-45	15.5	14.1	11.6	8.4	5.0	2.1	1.5	2.9	5.9	8.7	11.3	13.5	8.4
	Niedersch. mm 1919-55	43.8	51.5	96.1	11.6	321.6	343.1	308.7	250.1	164.1	86.8	109.1	66.9	1.953.6
L	TEMUCO Cfsb ₁	Breitengrad: 38°45' S	Längstgrad: 72°35' W	Höhe über NN: 114 m										
	Temperatur(°C) 1911-50	17.0	16.7	14.8	12.1	10.8	8.3	7.9	8.3	9.9	11.9	13.8	15.8	12.0
	Niedersch. mm 1911-55	34.9	40.1	66.0	111.8	219.4	211.7	196.8	162.1	100.9	71.7	72.3	58.5	1.346.4
K	PUERTO DOMINGUEZ Cfsb ₁	Breitengrad: 38°54' S	Längstgrad: 73°14' W	Höhe über NN: 5 m										
	Temperatur(°C) 1913-46	15.0	14.8	13.4	11.5	8.8	8.8	8.5	8.4	9.5	11.0	12.5	14.0	11.4
	Niedersch. mm 1913-49	37.2	40.1	76.8	116.1	235.5	262.1	253.2	188.7	128.5	80.1	78.7	56.3	1.553.9
L	PUERTO MONTT Cfb	Breitengrad: 41°28' S	Längstgrad: 72°56' W	Höhe über NN: 13 m										
	Temperatur(°C) 1911-50	14.9	14.9	13.3	11.3	9.6	8.1	7.7	7.8	9.3	10.7	12.3	14.0	11.2
	Niedersch. mm 1931-60	89.7	89.2	129.5	143.2	228.5	244.1	232.4	199.6	163.4	117.9	107.5	95.4	1.840.5
K	PUNTA CORONA Cfsb ₂	Breitengrad: 41°47' S	Längstgrad: 73°52' W	Höhe über NN: 48 m										
	Temperatur(°C) 1911-50	13.8	13.6	12.6	11.2	9.7	8.7	8.3	8.2	8.7	9.9	11.0	12.6	10.7
	Niedersch. mm 1911-60	94.5	107.9	152.2	213.0	327.9	334.8	322.2	273.1	209.5	128.9	140.2	120.0	2.425.3

A = Andenkordillere; L = Längsttal; K = Küste;

Inneren des Landes einen etwas kontinentaleren Klimacharakter verleiht.

Neben der geographischen Breite ist das Relief der wichtigste Faktor, der die Niederschlagsmenge beeinflusst (36). So sind große Variationen auf relativ kurzen Entfernungen im Lande zu beobachten. Auf der Westseite der Küstenkordillere findet man hohe Niederschläge. Im Lee dieses Gebirges kann man eine bemerkenswerte Verminderung der Niederschläge messen. Denselben Effekt können wir verstärkt an der Andenkordillere beobachten.

Schneefall tritt nur in den Anden und in höheren Lagen der Küstenkordillere auf, mit einer in den Süden tiefer reichenden Schneegrenze.

4.1.2 Geologie

Die heutige Morphologie des Gebietes begann sich gegen Ende des Tertiärs zu entwickeln, und zwar aus einer Peneplain mit ausgedehnter vulkanischer Decke, aus der Inselberge herausragten, und im Westteil mit marinen Sedimenten.

Im Plio-Pleistozän hoben sich (als Folge einer starken Tektonik) die Küsten- und Andenkordillere; zwischen ihnen entstand die Längssenke.

Der Vulkanismus spielte im Laufe dieser Bildung und im Quartär eine wesentliche Rolle. Er gab den heutigen Anden ihre Gestalt; die höchsten Berge sind Vulkankegel. Die Andenkette erniedrigt sich nach Süden: von etwa 6.500 m ü.NN (33° s.Br.) bis etwa 2.500 (42° s.Br.) (87).

In den Küstengebieten gibt es bestimmte Bereiche mit anstehenden Sedimenten marinen Ursprungs aus dem Tertiär, wie auch aus der Trias. Größere Flächen der Küste und Küstenkordillere bestehen aus metamorphen Gesteinen des Präkambiums und Paläozoikums, hauptsächlich kristalline Schiefer wie Glimmerschiefer, Schiefer mit hohen Quarz- und Feldspatanteilen, Chloritschiefer, Amphibole, Gneise

und Phyllite. In den nördlicheren Bereichen der Küstenkordillere finden wir auch andere Gesteine des Paläozoikums, im wesentlichen Granite.

Im Norden großflächig, im Süden auf die Andenkette beschränkt, finden sich marine und kontinentale Sedimente, pyroklastischen und vulkanischen Ursprungs; teilweise mit Gipsschichten aus Jura und Kreide. In den Anden stehen ebenfalls noch an: Granite (aus dem Mesozoikum bzw. Känozoikum) und andesitische Vulkanite (aus dem Pliozän).

Im Quartär haben neben der gegebenen Morphologie des Landes Klima, Tektonik und vulkanische Aktivität die Sedimentation geprägt, aus welcher der größte Teil der Ablagerungen der Längssenke und der östlichen Teile der Küstenkordillere, sowie praktisch alle Flußtäler und Mündungen entstammen. Vom 33^o s.Br. an nach Süden gab es noch stärkeren Vulkanismus. Das Material, andesitische und basaltische Lava, verbreitete sich über ausgedehnte Gebiete.

Im Pleistozän erlebte Chile eine gebietsweise unterschiedliche, nach Süden zunehmende Vereisung mit folgender Gletscherbildung und glazialer Einwirkung auf die Landschaftsmorphologie. Sie beschränkte sich in den nördlicheren Teilen auf die Anden und ging erst vom 33^o s.Br. sich nach Süden hin verstärkend in das Längstal über, das südlich des 35ten Breitengrades von fluvialen, glazifluvialen und fluvioglazialen Absätzen bis über 500 m tief ausgefüllt ist. Diese Schichten begleiten die Flüsse bis an deren Mündung, auch wo sie die Küstenkordillere durchbrechen (6) (87).

4.1.3 Boden

Die Ausdehnung und das wechselnde Relief des Landes gestaltet die Bodenverhältnisse sehr abwechslungsreich (57) (130). Die Niederschläge wechseln stark und so finden wir in unserem Gebiet semiaride bis feuchte Böden.

Podsolierung tritt in dem regenreichen Bereich südlich 39° s.Br. noch kaum auf; erst ganz im Süden unter Extrembedingungen, finden sich in beschränkter Ausdehnung Podsole. Andererseits fehlt im warmen Nordteil wegen des Niederschlagsmangels auch eine Laterisierung (36) (57).

Auf der Basis des Wasserangebots kann man eine Grenze zwischen zwei Gebieten ziehen, nördlich des 37° s.Br. spielt der Niederschlagsmangel eine wichtige Rolle in der Bodengenetik. Südlich des 37° s.Br. ist immer genügend oder reichlich Regen vorhanden. Diese Grenze verläuft jedoch nicht einfach, da reliefbedingte Variationen im Niederschlagsregime und in der Temperatur auftreten (36).

Durch ihre morphologische Gestalt zeigt sich in unserer Landschaft eine aktive Oberflächendynamik: Anthropogener Abtrag, hauptsächlich durch primitive landwirtschaftliche Maßnahmen ausgelöst; fortdauernde vulkanische und seismische Aktivität. Hinzu treten andere Faktoren, z.B. der mesosilikatische und basische Charakter der herrschenden Gesteine, die Jugend der Böden und die Vegetations- bzw. Waldzusammensetzung (hauptsächlich Laubbäume). Alle diese Faktoren beeinflussen die Bodenprozesse in Chile, so daß wir eine Vielzahl von Bodenvergesellschaftungen und -typen antreffen können (36) (22) (130). Zum größten Teil sind es noch relativ junge Böden, bei denen die ererbten Merkmale eine große Rolle spielen (36).

Ganz allgemein läßt sich folgende Veränderung der Bodendecke von Norden nach Süden registrieren: Mit zunehmendem Niederschlag

- sinkt der pH-Wert von 6.0-8.3 bis zu 4.5-6.0 (57)
- steigt der austauschbare Wasserstoff und Aluminium (1)
- steigt der Anteil an organischer Substanz der Böden (1)
- steigt die Fixierungseigenschaft der Böden und ihre Austauschkapazität (1)
- sinkt der Gehalt an aufnehmbarer Phosphorsäure (57).

Zum besseren Verständnis der Standortproblematik sei hier die Bodenvergesellschaftung allgemein dargestellt.

In den küstennahen Gebieten Mittelchiles spielt der ozeanische Einfluß eine wichtige Rolle. Er bringt höhere Feuchte und mildere Temperatur. Die Böden dieses dünnen Küstenstreifens werden allgemein als "Küstenwiesenböden" bezeichnet (in Abbildung 1 = 1). Wegen der besseren Entwicklung der hier wachsenden Gräser (Niederschläge von 500 bis 2.500 mm) sind sie reicher an organischer Substanz (83).

Vom 32°-35° bzw. 36° s.Br. finden wir die als "braune nicht kalkreiche Böden" bezeichnete Bodenvergesellschaftung (in Abbildung 1 = 2), welche sich bis zum Fuß der Anden ausdehnt (83); die Trockenperiode ist lang, der winterliche Niederschlag bringt weniger als 600-700 mm, die Vegetation ist mediterran. In der Küstenkordillere finden wir Verwitterungsböden aus dem anstehenden Grundgestein; wegen des unregelmäßigen Reliefs sind sie vorwiegend flachgründig. In der teils hügeligen teils ebenen Längssenke herrschen meist neutrale fruchtbare braune Böden vor. Da Löß in der Längssenke auf dem ganzen Gebiet eine wichtige Rolle spielt, trägt er sicherlich zur Bildung dieser bei (57). In anderen Bereichen wieder kann relativ niedrige Fruchtbarkeit und Nährstoffmangel (hauptsächlich N und P) auftreten. Als Abwandlung dieser Bodenvergesellschaftung der "braunen nicht kalkreichen Böden" (Längssenke und Küstenkordillere) trifft man undurchlässige Böden und Grundwasserböden, Grumosole (vertisolartige Böden), Rendzinen und alluviale Böden (diese öfters auf Terrassenbildungen) (83).

Im Längstal, wo die Böden hauptsächlich landwirtschaftlich genutzt werden, sowie in Teilen der Küstenkordillere ist der menschliche Einfluß durch die Bodenbewirtschaftung stark. In der Küstenkordillere sind die Böden öfters erodiert oder erosionsgefährdet, hauptsächlich im Bereich der landwirtschaftlich genutzten Flächen (57).

Im Andenvorland und in der Andenkordillere mit höheren Niederschlägen (600-1000 mm) finden wir wieder gesteinsbedingte Verwitterungsböden (57), die im Bereich der Vorkordillere als "braune Waldböden" bezeichnet werden (83)

(in Abb. 1 = 3). Hier wird hauptsächlich extensive Viehwirtschaft betrieben.

Litosole sind im Andengebiet ausgebreitet und dehnen sich über ganz Chile in den Hochlagen aus (in Abb. 1 = 4), auch in höheren Lagen der Küstenkordillere (83).

Im Gebiet der Küstenkordillere und teilweise in der Längssenke im zentralen Bereich Mittelchiles von 35° - 37° bzw. 38° s.Br. treffen wir ein abwechslungsreiches Relief an. Die Niederschläge liegen zwischen 600 und 1300 mm. Hauptsächlich im Winter mit einer längeren Trockenperiode im Sommer. Die natürliche Vegetation ist ein lichter bis dichter Wald aus sommergrünen Laubbaumarten und immergrünen Hartlaubgehölzen. Hier bildet sich ein Uebergang (in Abb. 1 = 5) zwischen "braunen nicht kalkreichen Böden" zu den sich im Süden ausdehnenden "rotbraunen lateritischen Böden" (in Abb. 1 = 6) (83).

Dieses Gebiet ist Schauplatz einer erschreckenden Erosion. Etwa 4.000.000 ha müssen sicher als Erosionsflächen angesprochen werden (57). Andere Autoren geben heute bereits 5.000.000 ha an (114).

Von dem größten Teil dieser Flächen (4.840.650 ha im Gebiet der Küstenkordillere) wurde eine Aufnahme erstellt. Auch bestimmte Teile der Längssenke sind mit eingeschlossen, wobei sich diese Aufnahme auf die am stärksten geschädigten Gebiete beschränkt (33° - $39^{\circ}10'$ s.Br.) (77).

2.855.290 ha oder 59% der aufgenommenen Gesamtfläche zeigen mäßige bis sehr starke Erosion, hauptsächlich in Form von Flächenerosion. Hier sind Böden aus granitischen Gesteinen, aus marinen Sedimenten, aus vulkanischen Aschen und aus Schieferen (Glimmerschiefer) in Mitleidenschaft gezogen.

Um den Prozentsatz des Bodenverlustes zu schätzen, stützen sich die Verfasser auf verschiedene Anhaltspunkte wie z.B. Erniedrigung der Erträge in der Landwirtschaft, die Vegetationsform, Farbwechsel des Bodens, Vorkommen von Steinen und Muttergestein, Dichte der Erosionsrinnen, ihre Form

und Größe und Aktivitätsgrad. Diese Aufnahmedaten werden mit Flächen ungestörter Bodendecke verglichen. Obwohl die Verfasser dieses nicht präzisieren, sind die Prozentangaben des Bodenverlustes höchstwahrscheinlich auf die Oberfläche bezogen.

Als schwache Erosion, die in den 2.855.290 ha nicht berücksichtigt werden, bezeichnet man einen Verlust von 20-40% des Bodens. Mäßige Erosion ist auf den Böden anzusprechen, die zwischen 40-60% Verluste zeigen. Das totale Fehlen des Oberhorizontes ist hier nicht selten. Bei starker Erosion, mit 60-80% Verlust, haben praktisch alle Böden den Oberhorizont verloren. Sehr starke Erosion zeigt sich mit einem Verlust von 80-100%; hier steht der B-Horizont kontinuierlich an und nicht selten der C-Horizont oder das Muttergestein.

Der größte Teil des erodierten Gebietes zeigt mäßige Erosion. Um den 35ten Br. trifft man sogar die starke Erosion häufiger an. Dagegen ist im südlichsten Gebiet schwache Erosion häufiger (um 39° s.Br.). Sehr starke Erosion ist im ganzen Gebiet selten.

Die Voraussetzungen für Erosion sind in dieser Gegend bereits natürlich gegeben. Da ist einmal das hügelige Relief, zum anderen leicht erodierbare Böden, erosionsfördernde Winterregen und Bodenfröste, die den Oberboden lockern (Kammeis). Ausgelöst wird die Erosion dann durch die rücksichtslose Bewirtschaftung. Altbesiedelte, relativ fruchtbare Böden, die durch die Anfang unseres Jahrhunderts stark einsetzende Kolonisation überfordert wurden und werden, sind stark gefährdet. Ueberbesatz, Ueberweidung, Vernichtung der letzten Gehölzreste, Trittschäden und Freilegung des nackten Bodens verursachen dann ihre Abschwemmung (57).

In der Längsssenke sind annähernd ebene Böden anzutreffen. Durch Querriegel wird das Gebiet häufig unterbrochen. So entstehen große Flächen mit Hügelland mit stark wechselnden Formen und Neigungsverhältnissen. Die Bodenarten und

-typen sind wechsellvoll (in Abb. 1 = 7). Von "Regosols" auf Sanden (83), welche ein größeres Gebiet einnehmen, finden sich alle Uebergänge bis zu milden, lößlehmähnlichen wie ausgesprochen schwere und schwierige Böden, vorwiegend Braunerden, Braunlehme sowie auch schwach gebleichte Rotlehme. Die Versauerung und Verminderung des Phosphatangebots ist weiter fortgeschritten als im Norden. In großer Flächenausdehnung sind verfestigte Schichten in wechselnder Tiefe (Tosca) vorhanden, aus meist vulkanischem Material, die ackerbaufindlich sein können (57).

Hier in der Längssenne, vor allem aber in der Vorkordillere und in den Anden, kommen immer verbreiteter Flächen mit vulkanischem Material vor (130) (in Abb. 1 = 8). Als Lockersedimente des jungen Vulkanismus bedecken sie vom 37° bis 42° s.Br. etwa nahezu die gesamte Hochkordillere, die Vorkordillere und ca. 70% des Längstales (22). Ein großer Teil der Böden, die sich hieraus entwickelt haben, bekamen den chilenischen Sammelnamen "Trumao" (Mapuche-sprache: leichte Böden) (22) (57) (83).

Die Niederschläge übersteigen hier 1.000 mm (bis 5.000 mm etwa) mit höheren Werten in den Wintermonaten.

Von den primären vulkanischen Sedimenten (in Abb. 1 = 8₁), die fast nur in den Anden bzw. am Andenfuß zu finden sind, geht es also im Längstal zu alluvialem und lößartig umlagerten Material über. Mächtige Aschenböden finden wir in der Vorkordillere und im Längstal (hauptsächlich Ostseite) (in Abb. 1 = 8₂). Im Längstal finden wir außerdem in Flußtälern und Depressionen verbreitet Stau- und Grundwasserböden, aus vulkanischen Aschen, die auf stark zementierten glazifluvialen Schottern liegen (in Abb. 1 = 8₃). Sie werden als Trumaosumpfböden oder einheimisch "Ñadis" bezeichnet (22) (57) (83). Auf der westlichen Seite des Längstales bzw. auf der Ostseite der Küstenkordillere treten ältere vulkanische Ablagerungen auf (in Abb. 1 = 8₄), manchmal als Rotlehme bezeichnet. Je mehr man sich der Küstenkordillere nähert, umso stärker ist die Mischung von vulkanischen und

nicht vulkanischen Komponenten. In der Küstenkordillere verbreiten sich Glimmerschieferverwitterungsböden, welche hauptsächlich in den niedrigeren Lagen Beimengungen löß-artig umlagerter vulkanische Aschen in fleckenförmiger Ausbildung enthalten können. Oft werden hier die Böden als Lehmböden bezeichnet (in Abb. 1 = 6). Sie sind auch unter der Gruppe der "rotbraunen lateritischen Böden" eingeordnet (22) (83) (111) (130).

Die Aschenböden liegen in verschiedenen Entwicklungsstadien und in verschiedenen Ablagerungsformen vor. Von rezenten Aschenfeldern aus dem vorigen und dem jetzigen Jahrhundert bis zu tiefgründigen Böden mit einem tiefen, humusreichen Oberboden gibt es alle Uebergänge (57). Die eigentlichen "Trumaos" sind andesitische Feinaschen von juvenilem Entwicklungsstadium, Humus- und Allophanreichtum, Feinkörnigkeit und große Durchlässigkeit (22). Alle diese Böden sind bis auf einen häufig beträchtlichen Kalivorrat basenarm und mehr oder minder sauer, wozu die hohen Niederschläge beigetragen haben (57). Sie zeigen viel Gesamt-P, doch die P-Verfügbarkeit ist gering, da sie eine hohe Phosphatfixierungskapazität haben (111).

In den südlicheren und niederschlagsreicheren Teilen des Gebietes können in der Küstenkordillere wie auch in den Anden podsolartige Böden auftreten (in Abb. 1 = 9). Es finden sich hier graue Waldböden, Bergwiesenböden, braune podsolige Böden und Litosole (36).

4.1.4 Vegetation

Das Vegetationsbild Chiles wird natürlich durch das Klima und das Relief bestimmt. Oertliche Unterschiede können durch die Gesteinsverhältnisse hervorgerufen werden (91).

Das gesamte Land wird in drei große phytogeographische Einheiten eingegliedert, die xeromorphe, die mesomorphe und die hydromorphe Zone. Dazu gesellt sich eine vierte, die

andine Zone, die sich durch das Klima (Höhenlage) von den anderen unterscheidet. In Mittelchile sind alle Zonen vertreten. Nur selten tritt jedoch die xeromorphe Zone auf. Diese letztere schließt die ariden und semiariden Gebiete des Nordens ein (36).

Die mesomorphe Zone reicht vom 32° - 33° s.Br. bis zum 37° - 38° s.Br. Sie ist durch periodischen Wassermangel charakterisiert. Von lichten bis dichten Dornbuschformationen, gelegentlich in feuchteren Lagen auch Hartlaubwäldern, wird nach Süden die Vegetation üppiger. In der Küstenkordillere und der Vorkordillere sowie auf den Hängen der Anden bilden sich hier im Süden der mesomorphen Zone geschlossene Wälder aus. Das ganze Gebiet gehört zur Zone der immergrünen Hartlaubgehölze, welche in den südlichen Teilen in den Gürtel der sommergrünen, temperierten Laubwälder übergeht. Hier bilden im allgemeinen laubabwerfende Arten die größten Bäume, eine große Zahl der Bäume und Büsche aber sind lorbeerartig und immergrün. Die ganze mesomorphe Zone wird in den subtropischen Bereich eingliedert (91) (36).

Der mesomorphen Zone folgt die hydromorphe Zone, die bis über unsere Südgrenze reicht. Wassermangel tritt kaum noch auf, die Trockenperiode ist auf einen bis zwei Monate beschränkt und verschwindet allmählich ganz.

Es überwiegt in diesem Gebiet der Wald als Vegetationsform. Der lichte teils unterwuchsarme Wald, der auf den Westhängen und in südlicher Exposition beider Kordilleren üppiger und artenreicher ist, geht in immergrüne Regenwälder über, die zwischen dem 39° und dem 41° s.Br. in der Küstenkordillere ihre größte Ueppigkeit zeigen. Der große Artenreichtum und die Walddichte dieses Gebiets werden durch die seltenen Fröste, die warmen Sommer und gemäßigten Winter, in denen kaum die Vegetationstätigkeit unterbrochen wird, ermöglicht. Lianen, Farne, Epyphiten und Moose können hier gut gedeihen.

Die lufttrockneren Verhältnisse der Anden aber, verbunden mit einer niedrigeren Temperatur, welche sich besonders in den südlichen Bereichen bemerkbar macht, leiten eine Artenverarmung ein. In bestimmten Lagen treten sogar annähernd reine Koniferenwälder auf (36) (91).

In den höheren Lagen der Anden verbreiten sich über der Baumgrenze unter dem Sammelnamen der "andinen xeromorphen Formation" verschiedene Vegetationsformen, die durch niedrige Büsche, Grashorste und Kissenpflanzen in lichter Verbreitung gekennzeichnet sind. Die Temperatur ist hier niedriger; Frost und Schneefall sind häufig. In den südlicheren Teilen kommt diese Formation jedoch nur vereinzelt vor.

In der gesamten mesomorphen und in den nördlichen Teilen der hydromorphen Zone findet sich die höchste Bevölkerungsdichte Chiles. Dies soll auch in der vorspanischen Zeit so gewesen sein. Daher erfolgten hier die stärksten Veränderungen der Vegetationsdecke. Das heutige Vegetationsbild ist durch den Menschen mit Hilfe von Bränden, Beweidung, Holzentnahme und durch vorübergehende oder permanente ackerbauliche Nutzung beeinflusst. Von der ursprünglichen Vegetation sind nur noch beschränkte Reste anzutreffen (91).

Als Folge dieser menschlichen Tätigkeit ist eine Bodenzerstörung aufgetreten, deren Ausmaß in dem Kapitel "Boden" näher erläutert wurde. Hierzu gesellt sich die Einführung von ausländischen Pflanzenarten (92). Einige dieser Arten, hauptsächlich Gräser und Büsche, sind heute verbreitete Unkräuter. Sie können unter Umständen sehr rasch vom Menschen beeinflusste bzw. gestörte Standorte besiedeln. Oft bilden sie mit natürlichen vorkommenden Pflanzenarten neue Pflanzengesellschaften (58).

In letzter Zeit bekommen Baumarten große Wichtigkeit, die hauptsächlich als Reinplantagen, seltener als Mischwald, auf häufig gestörten Standorten angepflanzt werden. Die wichtigsten unter ihnen sind die Pinus radiata-Pflanzungen.

Der menschliche Einfluß wird durch das Bevölkerungswachstum immer intensiver, und so können wir auch außerhalb des genannten Gebietes, hauptsächlich in den südlicheren Bereichen, einen schnellen Wechsel der ursprünglichen Vegetation beobachten. Dies kommt in Form einer Verminderung der Waldausdehnung als Vegetationsform zum Ausdruck (61).

4.1.5 Naturwald

Der Naturwald in Chile, eine früher unerschöpfliche Holzreserve, ist heute gegenüber seiner ursprünglichen Ausdehnung stark verringert.

Nördlich des 37° s.Br. finden sich nur noch Reste der Naturwälder in den Anden und seltener in der Küstenkordillere. Ihre Ausdehnung ist gering und ihre Zugänglichkeit schwer. Diese Wälder sind entweder weitgehend explotiert oder es besteht aus sonstigen Gründen kein wirtschaftliches Interesse an ihnen.

Der wesentliche Teil des Naturwaldes dehnt sich heute südlich des 37° s.Br. aus. Etwa 3.485.000 ha werden hier als wirtschaftlich nutzbare Wälder angesprochen. Wenn wir dieser Fläche noch ca. 820.000 ha von wirtschaftlich nicht nutzbaren Wäldern und Waldresten hinzufügen, so können wir bis etwa zum 43°30' s.Br. einen Naturwald von insgesamt 4.305.000 ha antreffen (133).

Diese Wälder gehen flächen- und vorratsmäßig laufend zurück. 1944 stellte man einen 1%igen Rückgang im Jahr fest (Mission Haig). 1954 erreichte er 2.5% im Jahr (CORFO) und 1957 sogar 3.5% (FAO). Hauptsächlich soll er auf unkontrollierte und kontrollierte Brände, biologischen Ausfall und irrationale Holzexploitation zurückzuführen sein (26).

Bis jetzt gibt es keine konkrete Aussicht, daß der Naturwald verjüngt, eingerichtet und rationell verwaltet werden wird. Forschungen zur Ermöglichung seiner wirtschaftlichen Einrichtungen werden erst seit kurzem unternommen (23) (81), und sind noch in den Anfangsstadien.

In Chile, wie sicherlich auch in anderen Ländern des lateinamerikanischen Bereiches, fehlt oft eine entwickelte Infrastruktur, was hauptsächlich die Zugänglichkeit zu den Naturwaldgebieten erschwert, und was ihre geregelte Bewirtschaftung behindert. Hierzu kommt der Mangel an wirtschaftlichen Forsteinrichtungsmethoden und die oft relativ niedrige Produktivität dieser Wälder.

Eine Alternative zur Bewirtschaftung der Naturwälder stellt die Umwandlung in Plantagen dar. Diese Plantagen sind als forstliche Produktionsstätte zu einer Ergänzung und zum Ersatz des Naturwaldes fähig (100). Sie können eine Entlastung für letztere in der Holznutzung bzw. Holz-exploitation sein (93).

So ist zu erwarten, daß der Naturwald Mittelchiles stärker die Rolle des Sozial- und Schutzwaldes übernehmen wird, die Plantagen dagegen einen großen Teil der Produktion (100). Es gibt eben ausgedehnte Gebiete, die keine andere Lösung zulassen und ermöglichen, als ihre Aufforstung. Hier sind dann die Verhältnisse für eine intensive Forstwirtschaft mit schnellwüchsigen Baumarten gegeben. Sie muß den Naturwald ergänzen bzw. ersetzen, der im allgemeinen lange Begründungszeit und hohe Umtriebszeiten beansprucht.

4.1.6 Potentielle Aufforstungsflächen

Mittelchile besitzt zwischen dem 33° s.Br. und dem 43° s.Br. etwa 20.000.000 ha. Aus einer Aufnahme, die 11.817.710 ha Mittelchiles im Maßstab 1:20.000 umfaßte, und in der die Nutzungsmöglichkeiten der Standorte bestimmt wurde, sollen hier die allgemeinen Ergebnisse wiedergegeben werden.

Aus den Ziffern von Tabelle 21 kann man entnehmen, daß auf der aufgenommenen Fläche - beschränkt auf die Bodenkategorie VII - etwa 42% der Gebiete für forstwirtschaft-

Tab. 21: Einteilung einer großen Fläche Mittelchiles
in ihre potentiellen Nutzungsmöglichkeiten
(nach ALCAYAGA u. CONTRERAS 1966)

Nutzklasse	Nutzklassenfläche (ha)	% der Gesamtfläche der Aufnahme
Landwirtschaftsnutzbares Gebiet - pflügbare u. bedingt pflügbare		
Klassen I bis IV	4.201.300	35.6
Ohne Beschränkungen I und II	762.500	
Mit Beschränkungen III	1.756.300	
IV	1.682.500	
Weiden und Forstwirtschaft		
Klassen V - VII	6.857.000	58.0
Ständige Weiden ohne Begrenzungen V	90.000	
Ständige Weiden mit ein- fachen Schutzmaßnahmen VI	1.834.000	
Ständige Weiden mit inten- siven Schutzmaßnahmen überwiegend Forstwirt- schaft VII	4.933.000	(41.7)
Schutzgebiete VIII	758.000	6.4
Insgesamt	11.817.710	100

liche Zwecke bewirtschaftet werden sollten. In den nicht aufgenommenen Gebieten wird dieser Anteil vermutlich noch höher sein.

Die potentielle Aufforstungsfläche Mittelchiles liegt um 4.850.000 ha (132) (72). Stichprobenartig wurden in verschiedenen Landschaften - um hierüber einen besseren Ueberblick zu bekommen - insgesamt 884.670 ha aufgenommen. Diese Gebiete liegen hauptsächlich in der Küstenkordillere. Zu Forstgebieten wurden 44.2-86.6% dieser Flächen erklärt. Von diesem Prozentsatz sind wiederum 24.4-65.0% als unbedingt aufforstungsbedürftig anzusehen. Diese Flächen liegen meistens brach und unterliegen einer starken Erosion bzw. einem Wertverlust (108).

4.2 Ausländeranbau in Mittelchile

4.2.1 Geschichtliche Entwicklung

Seit 1887 wurden in größerem Maßstab ausländische Baumarten in der Umgebung des 37° s.Br. an der Küste getestet. Unter diesen entwickelte sich Pinus radiata besser als alle anderen. Nach einer Periode von Versuchspflanzungen, begann man seit 1910, sie auf größeren Flächen zu pflanzen (50) (74).

Die folgende Tabelle zeigt uns die Entwicklung der Pflanzungen von Pinus radiata und den Anteil dieser an den gesamten Plantagen bis 1970.

Tab. 22: Entwicklung der Pinus radiata Pflanzungen in Mittelchile (nach ORTIZ, ZANARTU u. YUDELEVICH 1972)

Jahr der Aufnahme	<u>Pinus radiata</u> Plantagen (in ha)	Anteil dieser Flächen an der gesamten Plantagenfläche in %
1944	83.296	58.0
1953-54	186.533	84.3
1963-66	293.642	93.8
1970	300.741	95.0

Andere Baumarten, die in Chile gepflanzt werden, sind:

Eucalyptus globulus, Populus nigra var. italica und Cupressus macrocarpa. Neuerdings bekommt auch Pseudotsuga menziesii eine größere Bedeutung im südlichen Mittelchile.

In Tabelle 23 wird eine Uebersicht über den Stand der Pinus radiata-Pflanzungen in Mittelchile im Jahr 1969 gegeben. Es wird gleichzeitig ein Vergleich zu anderen Faktoren wie Bevölkerung, Oberfläche etc. angestellt. Dabei wird Mittelchile in drei Gebiete aufgeteilt:

Nördliches Mittelchile mit den Provinzen: Aconcagus, Valparaiso, Santiago, O'Higgins, Colchagua, Curico und Talca.

Tab. 23: Pinus radiata D. Don Plantagen in Mittelchile

G e b i e t	nördl.Mchile	zentr.Mchile	südl.Mchile	gesamt Mchile	Chile
1) Breitengrade (s.Br.)	32°-35°30'	35°30'-39°30'	39°30'-42°	32°-42°	17°30'-56°
1) Bevölkerung	5.261.418	2.550.788	765.645	8.577.851	9.880.494
% Gesamt Chile	53.3	25.8	7.7	86.8	100
1) Oberfläche (ha)	6.351.800	8.359.000	4.594.000	19.304.800	74.176.700
% Gesamt Chile	8.6	11.3	6.2	26.1	100
2) Potentielle Auf- forstungsfläche	1.653.323	2.549.802	641.570	4.844.695	-
% der Gebietsoberfläche	26.0	30.5	14.0	25.1	-
% Mittelchiles (gesamt)	8.6	13.2	3.3	25.1	-
2) Plantagen	42.421	277.944	10.420	330.785	-
% der pot.Auff.fläche	2.6	10.9	1.6	6.8	-
2) P.radiata Plantagen	22.921	260.685	10.036	293.642	-
% der pot.Auff.fläche	1.4	10.2	1.6	6.1	-
% Gebietsoberfläche	0.36	3.3	0.21	1.5	-
% ges.P.radiata Fläche	7.7	89.0	3.3	100.0	-
% der Plantagen	53.3	93.8	96.3	88.8	-
2) Wachstumsrate m ³ /ha/Jahr	13(b.28Jahre)	24(b.27Jahre)	25(b.27Jahre)	23	-
3) Aufforstungen 1970-75 von Pinus radiata				mindest. 40.000-50.000 ha/Jahr	
4) Mögliche Fläche 1975 ha ca.	50-90.000	410-450.000	30.000	530.000	idem.
Schätzung der Pinus radiata Fläche in 1980				500.000 - 1.000.000	idem.
% der pot.Aufforstungsfläche				10.3 - 21.0	

1) nach INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR (1970)

2) nach YUDELEVICH et al. (1966); ORTEGA und CAMPOS (1969)

3) nach BOLETIN ESTADISTICO-INSTITUTO FORESTAL; Aufforstungspläne der CORPORACION NAC.FORESTAL

4) nach ZANARTU und URZÚA (1970)

Zentrales Mittelchile mit den Provinzen: Maule, Linares, Ñuble, Concepcion, Arauco, Bio - Bio, Malleco und Cautin. Südliches Mittelchile mit den Provinzen: Valdivia, Osorno und Llanquihue. Hier sollten auch Teile der Provinz Chiloé hinzukommen, sie werden aber für unsere Zwecke weiterhin ausgeschlossen, da hier keine Plantagen von Pinus radiata ausgenommen einige Baumgruppen, vorkommen.

Die Hauptausdehnung der Pinus radiata-Pflanzungen finden wir im zentralen Mittelchile. Aber auch in den nördlicheren und südlicheren Teilen Mittelchiles werden sich die Anbauflächen vergrößern.

Im nördlichen Mittelchile ist die Bevölkerung Chiles am dichtesten; hier findet sich der größte Bedarf an Holzprodukten, wie auch das Bedürfnis einer Schutzfunktion durch den Wald. Große Gebiete mit Erosion lassen keine andere Möglichkeit zu, als sie aufzuforsten.

Im südlichen Mittelchile werden die Plantagen aber sicherlich nicht so eine relativ große Rolle wie im nördlicheren und zentralen Mittelchile spielen. Dieses zeigt uns die geringere potentielle Aufforstungsfläche von nur 14.0% gegenüber 26.0% und 30.5%. Der Naturwald wird hier noch eine wichtige Holzquelle bleiben und zum Aufbau der Holzindustrie beitragen. Trotzdem ist der Anteil von 14.0% an der Fläche nicht geringzuschätzen, und dies um so mehr, als bis jetzt nur 1.6% der möglichen Aufforstungsgebiete, gegenüber 2.6% im nördlichen und 10.9% im zentralen Mittelchile, aufgeforstet wurden.

Im zentralen Mittelchile ist eine Ausdehnung der Plantagenfläche zu erwarten, da sich hier das Schwergewicht der holzverarbeitenden Industrie befindet, hauptsächlich für Papier und Zellulose.

Die potentielle Aufforstungsfläche, wie schon erwähnt, erstreckt sich über das gesamte Mittelchile, über 4.800.000 ha. Auf einem großen Teil dieser Fläche könnte man eine intensive, auf dem restlichen Teil eine extensive Forstwirtschaft

begründen, die sozial und wirtschaftlich gute Möglichkeiten bieten würde. Dazuzurechnen wäre die Mitwirkung der Plantagen als Schutz der Böden wie auch als ein wichtiger Faktor zur Regulierung des Wasserhaushaltes.

Mittelchile ist das zugänglichste Gebiet Chiles. Es zeigt eine bessere Infrastruktur, hauptsächlich in der Längsenke und in der Küstenkordillere. Es leben hier rd. 87% der Gesamtbevölkerung Chiles, die auf nur 26% der Fläche verteilt sind. Extrem ist das nördliche Mittelchile mit ca. 53% der Bevölkerung, verteilt auf 8.6% der Fläche des Landes. Die Bevölkerung, findet sich hauptsächlich wiederum im Längstal und in den Durchbruchstätern der Küstenkordillere (6).

Die Exotenpflanzungen verbreiteten sich 1969 über 330.000 ha. Das sind 6.8% der potentiellen Aufforstungsfläche für Mittelchile. Davon waren etwa 300.000 ha mit Pinus radiata bestockt. Diese Plantagen spielen heute für Chile eine sehr wichtige Rolle. 1969 deckte Pinus radiata 70% des Rundholzaufkommens Chiles (26).

Große Industriezweige entwickelten sich gestützt auf Rohstoffe dieser Kiefer. Dieser Industrialisierungsschwung beschleunigte sich in den letzten Jahren derartig, daß für die Zellulose- und Papiererzeugung für 1975-85 ein Engpaß in der Rohstoffversorgung durch verschiedene Fachleute vorausgesehen wird (26) (107) (134). Der Bedarf dieser Jahre wird nicht zu decken sein, wenn die Aufforstungen nicht ausgedehnt werden.

Um die vorhandene Holzindustrie und -erzeugung zu halten und den Bedarf der neu aufgebauten Unternehmen in den Jahren 1975-85 zu decken, wird eine jährliche Aufforstungsrate - von Pinus radiata - von 56.000 ha benötigt (auf Basis eines Durchschnittszuwachses von $17 \text{ m}^3/\text{ha}/\text{Jahr}$), ohne die möglichen Verluste in dieser Zahl zu berücksichtigen (26). Ähnliche Berechnungen ergeben 60.000 ha im Jahr (74) (134).

Das Landwirtschaftsministerium gibt für die Periode von 1965-70 eine aufgeforstete Fläche für Mittelchile von insgesamt ca. 210.000 ha an, die zu 87% aus Pinus radiata bestehen soll. Für dieselbe Zeitspanne aber werden nur 80.000 ha von anderen Verfassern geschätzt (74). Einheitliche Angaben hierüber scheint es somit nicht zu geben.

Für die dann folgenden Jahre bestehen folgende Daten:

J a h r	Aufforstung in ha/Jahr	Literatur
1971	60.000 ha	(4)
1972	75.000 ha	(5)
1973 (Pläne)	63.000 ha	(5)

Pinus radiata hat in diesen Zahlen mindestens einen Anteil von 80%. Hieraus können wir eine Mindestaufforstung im Jahr von 40.000 bis 50.000 ha für Pinus radiata in den Jahren bis 1975 erwarten. Angaben anderer Verfasser bestätigen diese Zahlen (107).

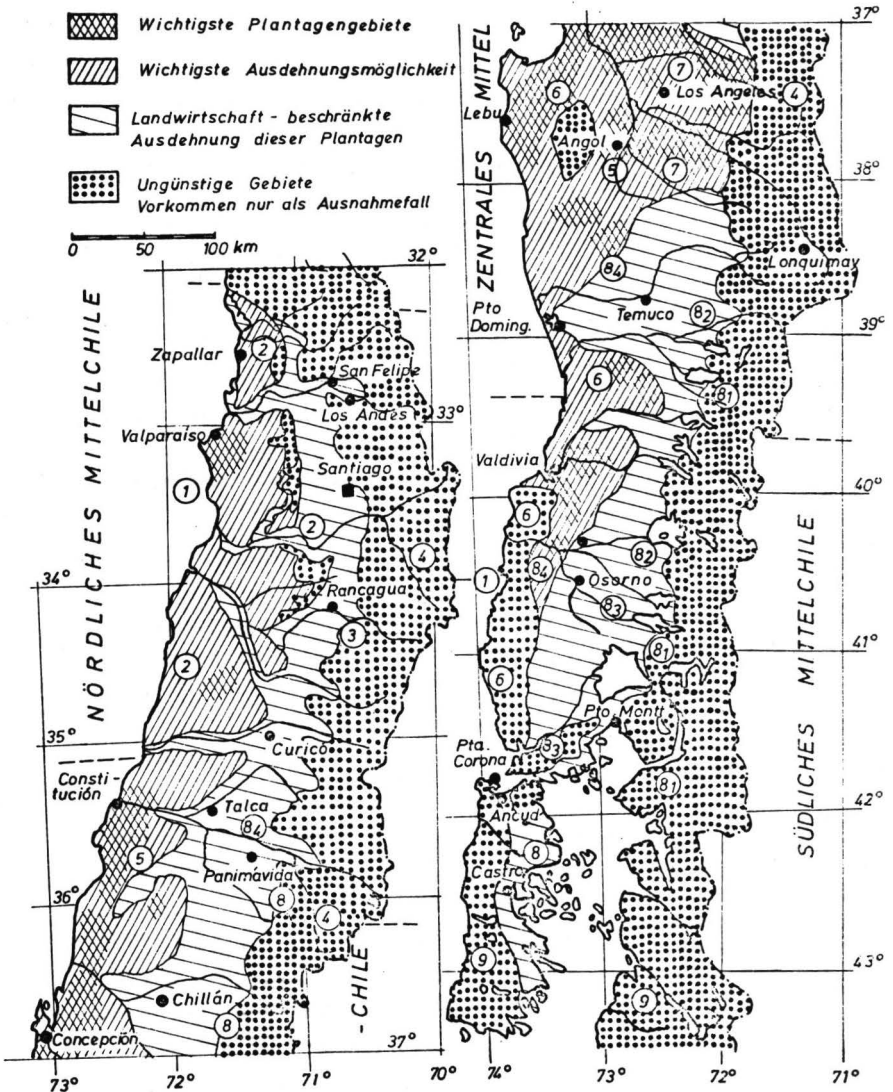
Für 1975 wird eine Fläche von über 500.000 ha aus dieser Kiefernart geschätzt (134). So können wir, wenn die Aufforstungsrate gehalten wird, eine Pinus radiata Fläche von 500.000 bis 1.000.000 ha für 1980 erwarten.

4.2.2 Potentielle Standorte

Die klimatischen und wirtschaftlichen Bedingungen für den Anbau von Pinus radiata sind in Mittelchile hauptsächlich in den küstennahen Gebieten und in der Längssenke zwischen dem 37° und 38° s.Br. gegeben.

In den nördlichen Bereichen wird Küstennähe hauptsächlich wegen der Wasserversorgung und milden Temperaturen nötig sein, in den südlichen die Beschränkung auf die Längssenke wegen der allzu niedrigen Temperaturen und der extremen Feuchte in den Küstengebieten dort bedingt sein. Im Süden sind aber nach wie vor ausgedehnte Flächen durch den Naturwald bedeckt. So kommen im südlichen Mittelchile nur

Abb. Nr. 1 Übersicht über Verbreitung und Ausdehnungsmöglichkeit der
Pinus radiata - Plantagen in Mittelhile



③ = Anhaltspunkte für die Gebietseinordnung der im Kapitel Boden angegebenen Bodenvergesellschaftungen.

noch geschütztere Lagen der Längssenke bzw. der Ostseite der Küstenkordillere in Frage. Undurchlässige Böden mit hoher Feuchte werden hier ihre Verbreitung noch mehr beschränken. Diese Kiefer wird auch vom 36° s.Br. am Fuß der Anden mit Erfolg anzupflanzen sein. Es wird aber voraussichtlich hier ein stärkeres Gewicht auf andere Baumarten, sowohl Exoten wie auch Einheimische, gelegt werden.

In dem gesamten Gebiet wird ihre Ausdehnung auch durch die Konkurrenz der Landwirtschaft in den tieferen Lagen einerseits und durch die Höhe im Gebirge andererseits begrenzt sein, letztere im wesentlichen in den Anden, wo Schneefall, häufiger Frost und niedrige Temperaturen vorherrschen. Diese Grenze wird nach Breitengraden schwanken. Im Norden wird sie wesentlich höher liegen als im Süden.

Anhand dieser Faktoren wurde Abbildung 1 erstellt. Hier sind die möglichen Aufforstungsgebiete und bereits vorhandenen Plantagen mit Pinus radiata kartenmäßig dargestellt. Es wurden folgende Unterlagen angewendet:

1. Bodennutzungskarte Mittelchiles (nach ODEPA) (7)
2. Wirtschaftsgeographische Karte von Chile (nach WEISCHET) (112)
3. Verbreitung der vorhandenen Pinus radiata Plantagen (nach MORALES) (69)
4. Geographische Karte von Chile (nach INST.GEOG.MILTAR) (6)
5. Unterlagen über Erosion (nach INST. de REC. NATURALES) (77)

Zur Darstellung wurden folgende Stufen angewandt:

1. Heutige Flächen der Pinus radiata Plantagen
2. Wichtigste Gebiete worauf die Kiefer als ausgedehnte Plantagen angepflanzt werden kann
3. Gebiete, auf denen sie nur sehr selten als ausgedehnte Plantagen vorkommen wird. Hauptsächlich wird sie hier von der Landwirtschaft und von anderen Baumarten verdrängt.

4. Dem Pinus radiata Anbau widrige Gebiete. Vorkommen nur als Ausnahmefall.

Es kommen für den Anbau in diesen Gebieten hauptsächlich folgende Standorte in Frage:

- a) Verwitterungsböden aus Graniten; diese Böden sind teils tiefgründig, teils mittelgründig, hauptsächlich in der Küstenkordillere.
- b) Verwitterungsböden aus kristallinen Schiefern mit geringer oder fehlender vulkanischer Aschenbeeinflussung. Hier kommen teils tiefgründige, teils mittelgründige Böden vor, hauptsächlich in der Küstenkordillere.
- c) Vulkanische andesitische Rohböden und Ranker. In der Laja-Ebene um den $37^{\circ}30'$ s.Br. in der Längssenke, hauptsächlich Sande. Es herrschen hier heideähnliche Verhältnisse, wo sandige Flächen aus feinem Kies und grau-sandigen Dünen eine Rolle spielen. Es ist ein wichtiges Aufforstungsgebiet.
- d) Böden aus älteren vulkanischen Aschen, die teils durch jüngere vulkanische Aschen überdeckt sind. Derartige Böden finden sich südlich des 35° s.Br. im Ostteil der Küstenkordillere und Längssenke.
- e) Böden aus jüngeren, umlagerten (lößartig oder alluvial) vulkanischen Aschen (feinkörnige andesitische Aschen). Hier kommen Böden südlich vom 36° s.Br. am Fuß der Anden und in der Längssenke in Frage, ebenso südlich vom $38^{\circ}40'$ im Ostteil und Durchbruchstäler der Küstenkordillere.
- f) Böden aus marinen Sedimenten in den Küstengebieten.
- g) Dünen an Küstengebieten, die hauptsächlich als Folge von Erosionsprozessen entstanden sind.
- h) Mit geringerer Verbreitung für die Pinus radiata Aufforstungen, Standorte aus rezenten Aschenauflagen, Schlaken und Laharen in der Nähe der Eruptionszentren.

4.2.3 Schwierigkeiten und Möglichkeiten

Mit Pinus radiata wurde bisher hauptsächlich deswegen aufgeforstet, weil sie einen guten Holzertrag auf Flächen versprach, die landwirtschaftlich nur mit großen Schwierigkeiten und Kosten zu nutzen waren. Auf vielen dieser Standorte sind durch den menschlichen Einfluß folgende Verluste eingetreten.

- a) Die vorhandene Vegetation, hauptsächlich durch Abbrennen.
- b) Die Streu- und Humusschicht, mit dem Abbrennen der Vegetation oder durch später eintretende rasche Mineralisierung.
- c) Der humose Oberhorizont durch Erosion.
- d) Bestandteile des tieferen Mineralbodens durch Erosion.

Der größte Teil des vorhandenen Stickstoffs am Standort geht mit den unter a, b und c genannten Verlusten verloren (30). Auch große Teile des Phosphats und nicht wenige der anderen für das Gedeihen der Lebewesen auf diesen Standorten nötigen Elemente werden erhebliche Verluste verzeichnen müssen. Bei den unter c und d genannten Verlusten können dann neben den chemischen auch noch physikalische Eigenschaften der Standorte verändert werden.

Viele Nutzflächen neigten und neigen zu einem raschen Verfall ihrer anfangs hohen Fruchtbarkeit (92). Diejenigen, die noch als gering gestörte aufgeforstet werden, können sich, wenn keine anderen Schwierigkeiten auftreten, zu guten Beständen entwickeln.

Beobachtungen im zentralen Mittelchile zeigen ein unterschiedliches Verhalten der Pinus radiata. Wo flachgründige, steinige Böden und dazu noch ein undurchlässiger und dichter Untergrund vorkommen, ist eine schlechte Entwicklung der Kiefer zu verzeichnen, da sie, wie bereits erwähnt, mindestens mittelgründige und gut durchlässige Böden zu ihrer ungehemmten Entwicklung braucht.

Ebenso können Nährstoffmängel auftreten. So wurde im zentralen Mittelchile Bormangel auf einigen Standorten festgestellt. Auf der Vorkordillere der Anden, aber auch in der Längssenke und in der Küstenkordillere wurden Symptome dieses Mangels beobachtet. Düngungsversuche haben sich als erfolgreich erwiesen (102).

Andere Mängel kann man im zentralen Mittelchile nur vermuten. Mangel an Magnesium, Kalium, Kalzium, Mangan, Kupfer, Bor und Zink konnte mittels Düngungsversuchen an landwirtschaftlichen Kulturen festgestellt werden (92).

Ein großer Teil der Flächen, die der Aufforstung zur Verfügung stehen, waren unter landwirtschaftlicher Nutzung, oft mit bodenerschöpfenden Kulturen wie z.B. langjährig hintereinanderfolgender Getreideanpflanzung. Selbst wenn keine Erosion eingetreten ist, wird doch der Standort in seiner natürlichen Fruchtbarkeit beeinträchtigt worden sein. Nährstoffmangel, zumindest verminderte Fruchtbarkeit, kann man hier ohne weiteres erwarten.

Wenn Erosion eingetreten ist, werden wir immer mit Verlusten an Fruchtbarkeit rechnen müssen. Die Nährstoffverluste sind absolut am höchsten bei beginnender Erosion. Kolloidale Teile und leicht lösliche Elemente werden als erste abgeschwemmt oder weggeblasen. Es tritt meistens ein rascher Verlust des pflanzenverfügbaren Stickstoffs und des Phosphors in der organischen Substanz ein. Der Menge nach können wir zunächst einen raschen Verlust von Kalium, dann des pflanzenverfügbaren P, des N und schließlich der gesamten organischen Substanz beobachten (70) (77).

Wie im Kapitel Boden schon erwähnt, kann dann durch Ueberbesatz, Ueberweidung und Vernichtung der letzten Gehölze mit hintereinander folgenden Trittschäden und Freilegung des Bodens eine starke Bodenabwaschung verursacht werden, die sich nicht mehr nur auf den humosen Oberboden beschränkt sondern weit in den Verwitterungshorizont verlagern kann. Als Folge können flache Böden mit geringer

Wasserkapazität und Fruchtbarkeit entstehen. Außer bei vielleicht günstigen, lockeren Muttergesteinen sind hier große Mißerfolge der Pinus radiata Aufforstungen zu befürchten.

Speziell im nördlichen und zentralen Mittelchile sind die schwersten Bodenverluste zu finden. Klimafaktoren fördern hier die Erosion und den Verlust der Bodenbestandteile. Hierüber wurde schon ausführlich berichtet (57) (92).

Auf Standorten aus Rohböden und Dünen, muß ebenfalls mit Nährstoffmangel gerechnet werden. Diesen Böden fehlt ja weitgehend von vornherein der humose Oberhorizont, sowie eine entsprechende biologische Aktivität, die die Umsetzungsprozesse fördern könnte.

Ein niedriger Ertrag der Pflanzungen wird auf der sandigen Laja-Ebene heute bereits beobachtet. Bei vielen vulkanischen Sanden, die eigentlich gute Nährstoffreserven haben, ist der Wasserhaushalt wegen des Fehlens feiner Bodenbestandteile und des Humus das Hauptproblem. Dasselbe ist bei den Aufforstungen auf Küstendünen zu beobachten. Trotzdem konnte die Pinus radiata, ohne Vorbehandlung mit Leguminosen oder anderen bodenverbessernden Pflanzenarten, auf vielen Dünen ausreichend gedeihen, zumindest dort, wo genügend Niederschläge zur Verfügung stehen (54).

Der Staat hat eine wesentliche Rolle in der Wirtschaft des Landes übernommen. Die Forstwirtschaft ist innerhalb dieser Wirtschaft ein wichtiger Bestandteil. Daher wird der Staat ein größeres Gewicht bei den Aufforstungen bekommen. Es ist anzunehmen, daß der staatliche Forstdienst auch ausgedehnte gestörte Standorte, die Schutz benötigen, aufforsten wird. Wenn auch hierfür andere Baumarten benutzt werden könnten, wird heute doch noch im wesentlichen auf Pinus radiata zurückgegriffen.

Viele Aufforstungen, die heute noch anfangs kümmern, könnten durch gezielte und wenig aufwendige Meliorationsmaß-

nahmen besser gestellt werden. Neben der Anwendung von Leguminosen kann man auch auf die Düngung zurückgreifen. Hierzu wurden schon einige Düngungsversuche angelegt. Sie könnten hauptsächlich auf sehr armen Standorten eingesetzt werden (84). Auf Standorten mit geringen Schwierigkeiten sollte eine Düngung nicht vorgenommen werden, da Düngemittel in Chile begrenzt zur Verfügung stehen und diese begrenzten Mengen für die landwirtschaftlichen Kulturen benötigt werden.

5. Schlußfolgerungen

Pinus radiata wird in Chile in reinen Beständen auf großen Flächen angepflanzt. Alles deutet darauf hin, daß die Plantagen wesentlich erweitert werden. In Mittelchile werden 1980 schätzungsweise zwischen 500.000 - 1.000.000 ha dieser Kiefer stocken.

Pinus radiata ist eine raschwüchsige, ertragsreiche und leicht zu kultivierende Baumart, was ihre weitere Verbreitung fördert. Der Zwang, bei diesen großflächigen Pflanzungen wirtschaftlich arbeiten zu müssen, stellt uns vor die Notwendigkeit einer eingehenden Aufnahme der Standorte, wo die Kiefer angepflanzt ist und werden soll.

Aus der Literatur können wir entnehmen, daß auf verschiedenen Standorten, auf denen Plantagen stocken, naturbedingte Schwierigkeiten bereits aufgetreten sind. Bei Ausdehnung der Plantagen werden sie auch weiterhin auftreten.

Zusätzlich können Standortstörungen bzw. -veränderungen vorkommen, die auf die bisherige Bewirtschaftung der Böden zurückzuführen sind. Allein in den Küstengebieten Mittelchiles sind 5.000.000 ha von der Erosion betroffen. 60% dieser Böden haben ihren humosen Oberboden teilweise oder völlig verloren, stellenweise ist auch der Unterboden bereits erodiert (77). Derartige und auch andere naturgegebene oder anthropogen bedingte Kulturerschwerungen sollten mit einer Standortskartierung erfaßt werden.

In Mittelchile sind eingehende Studien über die Gebiete mit Erosion durch das INSTITUTO DE RECURSOS NATURALES durchgeführt worden (77). Ebenso existieren Vegetationsaufnahmen und Kartierungen der potentiellen Bodennutzung für einige Gebiete (108) (7) (1). Allgemeine Bodenkartierungen beschränken sich hauptsächlich auf Flächen für die Landwirtschaft; in sonstigen Gebieten sind sie zu grob. Großmaßstäbliche Kartierungen fehlen weitgehend, ebenso detailliertere Angaben über Bodenmerkmale. Vollständigere Unterlagen würden eine gute Hilfe zur Standortswahl bei

großflächigen Aufforstungen geben, einmal um landwirtschaftliche Flächen zu schonen und andererseits um Mißerfolge zu vermeiden.

Aufwendige Studien wurden in Mittelchile, hauptsächlich durch Fachleute des INSTITUTO FORESTAL (72) (132), zur Erfassung der vorhandenen Plantagen und ihrer Erträge durchgeführt. Detailliertere regionale Aufnahmen über Unterschiede der Erträge zwischen den wichtigsten Standorten fehlen aber noch für die meisten Gebiete Chiles. In der Provinz Valdivia wurde z.B. eine solche Studie begonnen (90).

Durch Arbeiten in Australien und Neuseeland wurde auf eine Ertragserniedrigung nach der 1. Umtriebszeit aufmerksam gemacht. Auf der Basis einer Standortsaufnahme der Pinus radiata-Flächen in Chile sollten die wichtigsten Standorte eingehender in dieser Fragestellung verfolgt werden. Nach der Meinung verschiedener Forscher wären hierfür permanente Versuchsflächen, die eine ständige Verfolgung der Bestandsentwicklung hinsichtlich Ertrag ermöglichen würden, eine gute Grundlage. Um den Einfluß anderer Faktoren als der interessierenden auszuschalten, sollten diese Flächen denselben waldbaulichen Behandlungen auf längere Zeit unterliegen.

Solche Flächen, die eigentlich eine bessere Kenntnis der Standortverteilung voraussetzen, fehlen noch weitgehend in Mittelchile.

Je nach Bedarf an Rundholz werden die Pinus radiata-Bestände in einem Alter von 11 bis 35 Jahren genutzt, meistens zwischen 16 und 25 Jahren (107). Ein starker Nährstoffverlust kann dann nach mehreren Umtrieben durch die Holznutzung auf den entsprechenden Standorten entstehen.

Mit Hilfe dieser permanenten Versuchsflächen könnte man das Ausmaß der Nährstoffverluste durch die dauernden, periodischen Holznutzungen erfassen. Auch die Einwirkung

von Kahlschlag, Erntemethode sowie die Wirkung verschiedener waldbaulicher Maßnahmen könnte hier untersucht werden.

Aus den bisherigen Versuchsarbeiten kann geschlossen werden, daß die Kiefernplantagen keinen negativen Einfluß auf die klimatischen Standortsfaktoren haben. Im Gegenteil: vielerorts könnte die Anpflanzung in dieser Hinsicht vorteilhaft sein, so z.B. auf den von der Erosion befallenen Standorten Mittelchiles (54) (82) (92) (130).

In niederschlagsarmen Gebieten aber entsteht die Frage nach der möglichen Einwirkung der Kiefernplantagen durch ihren relativen hohen Wasserverbrauch auf die Wassereinzugsgebiete. Eingehende Studien sollten hier durchgeführt werden, ehe eine Aussage gemacht werden kann. Bislang fehlen in Mittelchile Untersuchungen auf diesem Sektor.

Die permanenten Versuchsflächen wären auch als Forschungsplätze geeignet, um die Nährstoffdynamik der Bestände auf den verschiedenen Standortstypen zu verfolgen. Dies gilt sowohl für diejenigen mit geringer Fruchtbarkeit, als auch für die ungestörten relativ fruchtbaren Standorte. Neben der Verfolgung der Nährstoffexporte durch die Holzernte wie auch des Einflusses der verschiedenen waldbaulichen Behandlungen sollte die Auswirkung der Reinplantagen auf die Bodenvegetation und die Beschaffenheit der organischen Substanz auf und im Boden untersucht werden. Dies ist eine der wichtigsten Fragestellungen zur Erhaltung der Standortsgüte und eines geregelten Nährstoffhaushaltes (32).

Zur vorläufigen Aufnahme des Ernährungszustandes ist die Anwendung schnellerer Verfahren, wie die der Nadelanalysen oder bestimmter Bodenanalysen auf den verschiedenen Standorten unterschiedlicher Ertragsleistung nötig. Sie geben uns die Möglichkeit den Ernährungsstand der Pinus radiata im Zusammenhang mit den Bodeneigenschaften ihrer Standorte mit geringem Aufwand und in relativ kurzer Zeit in großflächigen Aufforstungen aufzunehmen. Hierfür wurden schon Studien in südlich Mittelchile begonnen.

Da aber weitgehende Versuche über die Nährstoffproblematik der Pinus radiata in Chile noch fehlen, müssen wir, solange nicht eigene Ergebnisse zur Verfügung stehen, weiterhin auf Arbeiten aus anderen Ländern zurückgreifen. Diese können uns eine Uebersicht über die Fragestellungen geben und uns bei der Vermeidung von Fehlentscheidungen helfen.

Diese Unterlagen, die hauptsächlich für diese Baumart in Australien und Neuseeland erarbeitet wurden, sind für uns, da wir ähnliche Verhältnisse wie diese Länder haben, ein guter Ausgangspunkt.

Sie können uns z.B. bei ungünstiger Bestandesentwicklung auf armen Standorten Aussagen über mögliche Meliorationsmaßnahmen machen. Hierbei sind Schnellverfahren der Aufnahme des Ernährungszustandes wichtig, um das Absterben bzw. Kümmern von Pflanzungen rechtzeitig durch Melioration zu vermeiden.

Interessante Ergebnisse von Versuchen über Düngung, Bodenbearbeitungsmethoden und Anpflanzung von günstigen Begleitpflanzen sind in den genannten und anderen Ländern vorhanden. Auch in Chile wurden in dieser Richtung Versuche auf einigen Standorten begonnen (84).

Derartige Versuche müssen weitergeführt werden mit dem Ziel, für verschiedene Standorte einfache und erfolgversprechende Meliorationsmaßnahmen zur Erhaltung und Steigerung der Bodenkraft zu entwickeln. Nur dann wird es gelingen, die Bestände auf allen Böden langfristig auf einem hohen Ertragsniveau zu halten.

6. Literaturverzeichnis

1. ALCAYAGA, S. und CONTRERAS, H., 1966: "Suelos" Geografía Económica de Chile, Primer Apéndice (55-61). Corporación de Fomento de la Producción
2. ANONYMUS, 1951/52: "Use of fertilizers in plantations of Pinus radiata." Annual reports No. 50 (12). Forestry Commission, Tasmania
3. ANONYMUS, 1968: "Rates of litter fall in pine and eucalypt forests" Annual report (24). Forestry and Timber Bureaus, Canberra, Australia
4. ANONYMUS 1971/72: "Boletines estadísticos. Año I Nos. 3,4,5,9 y 10. Instituto Forestal
5. ANONYMUS 1971/72: "Aufforstungspläne für die Jahre 1972 und 1973" Corporación Nacional de Reforestación, Departamento de Reforestación, Santiago - Chile
6. ANONYMUS 1970: "Atlas de la República de Chile" Instituto Geográfico Militar, 2ª Edición, Santiago - Chile
7. ANONYMUS 1968: "Unidades de uso agrícola de los suelos de Chile entre las provincias de Aconcagua y Chiloé" Plan de desarrollo agropecuario 1965-1980, Oficina de Planificación Agrícola, Ministerio de Agricultura, Santiago - Chile
8. ANONYMUS 1970: "Statistics of Forest and Forest Industries of New Zealand" Information Series N° 33, 6.edition. New Zealand Forest Service, Wellington
9. ANONYMUS 1954: "General survey of soils of North Island" N.Z. Soil Bureau Bull. 5, N.Z. Dept.Sci.Ind.Res.
10. ANONYMUS 1966: "Wood: World trends and prospects" UNASYLVA Vol. 20 (1-2), 80-81 (International Review of Forestry and Forest Industries) (136 p.)
11. APPLETON, E.J. and SLOW, L.J., 1966: "Nutritional disorders and fertilizer trials in Pinus radiata stands in Waimea County, Nelson". N.Z.J. Forestry 11 (2), (185-201)
12. ARNTZ, J., DELMASTRO, R. und SCHLATTER, J., 1969: "Influencia de un rodal der Pinus radiata D.Don. sobre algunos factores ecológicos en comparación al campo abierto" Tesis Ing.For. Valdivia, Universidad Austral de Chile, Fac. de Ing. For. (209 p)

13. ASKEW, H.O., 1937: "The chemical composition of Pinus radiata needles" New Zealand J. Sci. Tech 18 (651-55). In STONE, E.L. 1968
14. ATKINSON, I.A.E., 1959: "Soils and the growth of Pinus radiata at Cornwallis, Auckland." N.Z.J. Sci. 2(4), (443-72)
15. BALLARD, R., 1970: "Apreliminary investigation of phosphate status on Riverhead forest soils". N.Z.J. Sci. 13 (2), (312-22)
16. BALLARD, R., 1970: "The phosphate status of the soils of Riverhead forest in relation to growth of Radiata Pine" N.Z.J. For. 15(1), (88-99)
17. BARRET, W.H.G. and GARBOSKY, A.J., 1960: "Efectos del suelo en el crecimiento de Pinus radiata en el norte de la provincia de Buenos Aires" Rev. Invest. for. 2(1) (67-88), Buenos Aires
18. BOND, R.D., 1960: "The occurrence of microbial filaments in soils and their effect on some soil properties" C.S.I.R.O. (Aust.) Divn. Soils. Divn. Report 10/60 (pp. 9) In HAMILTON, C.D. 1965
19. BOWEN, G.D., 1970: "Effects of soil temperature on root growth and on phosphate uptake along Pinus radiata roots." Aust. J. Soil Res. 8(1) (31-42)
20. BROCKWELL, J. und LUDBROOK, W.V., 1962: "The response to phosphates of Pinus grown on infertile soils in New South Wales 2. Pinus radiata in the Southern Tablelands". Divisional Report, Division of Plant Industry, C.S.I.R.O., Canberra No. 22 (pp. 14)
21. BUCH, M.W.v., 1968: "Análisis de la producción del Pinus radiata D. Don, en algunos localidades del norte de España y del sur de Chile. I. Los factores climáticos y localidad de los rodales". Comm. Inst. For. Invest. Exp., Madrid (for.) No. 34 (pp. 13)
22. BUCH, M.W.v., 1970: "Der Einfluß vulkanischer Eruptionen und Erdbeben auf die Böden Südchiles". Z.deutsch.geol.Ges. Jg. 1969, Bd. 121 (225-52)
23. BURSCHEL, P., MARTINEZ, O., MÜLLER-USING, B. et al., 1970: "Fundamentos ecológicos básicos de regeneración natural para la planificación del aprovechamiento sostenido de bosques de coigüe (Nothofagus dombeyi (MIRB) (OERST.) y rauli (Nothofagus alpina (Poepp et. ENDD) KRASSER). Informe Preliminar. Inst. de Silvicultura y Ref. Universidad Austral de Chile

24. CARVALLO, G., 1965: "Agricultura" Geografía Económica de Chile. Texto refundido (453-507). Corporación de Fomento de la Producción
25. CHONCHOL, J., 1970: "Discurso del Ministro de Agricultura" In Actas VI Jornadas Forestales. Asoc. Chil. Ing. Forestales (19-22). Santiago-Chile
26. CONTRERAS, A. und SEVE, J., 1970: "Perspectivas de la actividad forestal dentro del desarrollo de la economía nacional". In Actas VI Jornadas Forestales. Asoc. Chil. Ing. Forestales, (53-67). Santiago-Chile
27. CORTES, M., 1969: "Crecimiento de diferentes clases de edades de Pinus radiata D. Don, en el transcurso de un año". Tesis Ing. For., Universidad Austral de Chile, Fac. Ing. Forestal, Valdivia - Chile
28. DEANMEAD, O.T., 1969: "Comparative micrometeorology of a wheat field and a forest of Pinus radiata". Agric. Met. Aust. 6(5) (357-71)
29. DEETLEFS, P.P. DuT., and DUMONT, M., 1963: "The early response of Pinus radiata to fertilizer treatment". Busb. Suid. Afr. No. 3 (101-19)
30. ELLENBERG, H., 1963: "Stickstoff als Standortsfaktor". Ber. Dtsch. Bot. Ges. 77 (3) (82-92)
31. ELLIOT, H.J., 1970: "The role of millipeds in the decomposition of Pinus radiata litter in the Australian Capital Territory". Aust. For. Res. 4(3) (3-10)
32. FLORENCE, R.G., 1967: "Factors that may have a bearing upon the decline of productivity under forest monoculture". Aust. For. 31(1) (50-71)
33. FORREST, W.G. und OVINGTON, J.D., 1970: "Organic matter changes in an age series of Pinus radiata plantations in Australia". J. appl. Ecol. 7(1) (177-286)
34. FORREST, W., 1973: "Biological and economic production in radiata pine plantations". J. appl. Ecol. 10(1) (259-67)
35. FUENZALIDA, P.H., 1966: "Climatología" In Geografía Económica de Chile. Primer Apéndice (31-44). Corporación de Fomento de la Producción
36. FUENZALIDA, V.H., 1965: "Situación, Configuración, Superficie y Límites." "Orografía". "Clima". "Suelos". "Biogeografía". In Geografía Económica de Chile. Texto Refundido. Corporación de Fomento de la Producción (1-5; 6-33; 98-152; 200-27; 228-67).

37. GADGIL, R. und GADGIL, P.D., 1971: "Mycorrhiza and litter decomposition" Nature, London 233 (5315), (133)
38. GADGIL, R.L., 1971: "The nutritional role of Lupinus arboreus in coastal sand dune forestry. I. The potential influence of undamaged lupin plants in nitrogen uptake by Pinus radiata. The potential influence of damaged lupin plants in nitrogen uptake by Pinus radiata (II)". Plant u. Soil, 34 (2/3), (357-67; 575-93)
39. GENTLE, W., HUMPHREYS, F.R. and LAMBERT, M.J., 1965: "An examination of a Pinus radiata phosphate fertilizer trial fifteen years after treatment." For.Sci. 11(3) (315-24)
40. GREEN, R.G., 1957: "Pinus radiata in Great Britain". Austr.For. 21(2) (66-9)
41. HALL, M.J. und RAUPACH, M., 1963: "Foliage analysis and growth response in Pinus radiata D. Don showing potassium deficiencies in eastern Victoria." APPITA, Melbourne 17(3) (76-84)
42. HAMILTON, C.D., 1965: "Changes in the soil under Pinus radiata". Aust. For. 29(4) (275-89)
43. HINDS, H.V., 1955: "The growth of Pinus radiata in unthinned stands". N.Z.J.For. 7(2) (63-70)
44. HOLMES, J.W. and COLVILLE, J.S., 1968: "On the water balance of grassland and forest". Trans. 9th Int. Congr. Soil. Sci., Adelaide Vol. 1 (39-46)
45. HOMEN, T., 1897: "D. Tagl. Wärmeumsatz im Boden u.d. Wärmestrahle zw. Himmel und Erde". Leipzig. In ARNTZ, J. et al. 1969
46. HUGHES, J.F., 1949: "The influence of forests in climate and water supply". Forestry Abstr. 11 (145-53; 283-92)
47. HUMPHREYS, F.R., 1964: "The nutrient status of pine plantations in central New South Wales". APPITA, Melbourne. 18(3) (111-21)
48. HUSEN, Ch. v., 1967: "Klimagliederung in Chile auf der Basis von Häufigkeitsverteilungen der Niederschlagssummen". Freiburger Geographische Hefte, Heft 4
49. JACKSON, D.S., 1969: "Evaluation of site factors for Pinus radiata". Report of Forest Research Institute, New Zealand For. Serv. (28-30)

50. JUNGE, A., 1953: "Historia del pino insigne en Chile y el premio Arturo Junge Sahr". Chile Maderero, Año III, No. 10
51. KAUFMANN, G., 1928: "Ansiedlungen und Volksdichte in Chile". Diss. Universität Heidelberg. Philosophische Fakultät
52. KEEVES, A., 1966: "Some evidence of loss of productivity with successive rotations of Pinus radiata in the south-east of South Australia." Aust. For. 30(1) (51-63)
53. KELLER, C., 1956: "Revolución en la Agricultura". Santiago. In LAUER, W. 1961
54. KING, R.C. and KINDEL, K.K., 1969: "One step control of coastal sand dunes in Chile". J.For. 67 (11) (810-2)
55. KITTREDGE, J., 1962: "La influencia de los montes sobre el clima y otros factores ambientales" In - La influencia de los montes - FAO (89-149)
56. KITTREDGE, J., 1948: "Forest Influences" Mc Graw-Hill Book Company, N.Y. Toronto, London (349 pp.)
57. KLAPP, E., 1956: "Futterbau und Futterwirtschaft in Chile zwischen dem 30. und dem 42. °s.Br." Forschungen in Chile. Bonner Geographische Abhandlungen, Heft 7 (87-137)
58. KUNKEL, G., 1958: "Ueber südchilenische Erosionsgemeinschaften und einige ihrer Lebensbedingungen". Biologisches Zentralblatt, Leipzig (278-300)
59. LANGE, P., 1969: "A Manganese deficiency in Pinus radiata at Klein Goura, Knysa". Bosb.Suid. Afr. (10) (47-59, 61)
60. LAUER, W., 1961/62: "Chile, Geographische Probleme eines Lateinamerikanischen Entwicklungslandes". Sitzungsberichte der Gesellschaft zur Beförderung der gesamten Naturwissenschaften zu Marburg, 83/84 Bd., H. 1-2 u.1, (107-39)
61. LAUER, W., 1961: "Wandlungen im Landschaftsbild des südchilenischen Seengebietes seit Ende der spanischen Kolonialzeit". Schriften des Geographischen Instituts der Universität Kiel, Bd. XX (227-73)
62. LEVY, J.W. und SUTHERLAND, C.F., 1954: "The soil problems in reforestation in Northland". Abstr. from Proceedings of the 1st. Conference, New Zealand Society of Soil Science, Auckland (3-4)

63. LEWIS, N.B. und HARDING, J.H., 1963: "Soil factors in relation to pine growth in South Australia". Aust.For. 27(1) (27-34)
64. LINDSAY, A.D., 1937: "Monterey pine (Pinus radiata D. DON) in its native habitat". Canberra, Forestry and Timber Bureau. Bulletin No. 10, 57 pp. In SCOTT, C.W. 1961
65. MARCOS DE LANUZA, J., 1966: "Nutrición hidropónica con microelementos. I, Manganeso, boro y molibdeno en Pinus radiata". Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias, Madrid
66. MEAD, D.J., 1968: "A growth study in an serially topdressed Pinus radiata stand at Riverhead Forest. N.Z.J. For. 13(2) (229-38)
67. MEJSTRIK, V., 1971: "The classification and frequency of ectotrophic mycorrhizas in Pinus radiata D. Don in New Zealand" Plant u. Soil, 34 (3) (753-6)
68. MILLET, M.R.O., 1944: "Evaporation and rainfall inside and outside a forest" Canberra, Commonwealth Forestry Bureau. Leaflet 57, 16 p. In KITTREDGE, J. 1962
69. MORALES, E., 1968: "Situación actual de la industria y demanda futura de productos forestales". Informe Técnico No. 29, Instituto Forestal, Santiago - Chile
70. MUTSCHER, H., 1967: "Bodenerhaltung" - Hochschulstudium der Landwirtschaften. Tropische und subtropische Landwirtschaft. Im Offsetdruck hergestellt beim V.E.B. Reprocolor, Werk III, Leipzig (III 18/6)
71. ORMAN, H.R. and WILL, G.M., 1960: "The nutrient content of Pinus radiata trees." N.Z.J. Sci. 3(3) (510-22)
72. ORTEGA, J. und CAMPOS, D., 1969: "Inventario de las plantaciones forestales de la provincia de Coquimbo a Talca y de Valdivia a Llanquihue". Informe Técnico No. 30. Instituto Forestal, Santiago - Chile
73. ORTIZ, M. und YUDELEVICH, M., 1969: "Situación plantaciones forestales en algunos países de América del Sur". In Actas V Jornadas Forestales. Asoc. Chile. de Ing. For. (91-96)
74. ORTIZ, M., ZAÑARTU, E., YUDELEVICH, M., 1972: "La contribución de las plantaciones de pino (Pinus radiata D. Don) en el desarrollo de las industrias forestales de Chile". Séptimo Congreso Forestal Mundial. Buenos Aires (Argentina). 4-18 Octubre. 7 CFM/C:VII/26 (8)

75. OVINGTON, J.D., FORREST, W.G. und ARMSTRONG, J.E., 1967: "Tree biomass estimation". Symposium on Primary Productivity and Mineral Cycling in Natural Ecosystems (4-31). Maine. In FORREST, W.G. und OVINGTON, J.D. 1970
76. PATERSON, D.N., 1967: "Volume and value yields from East African exotic softwood crops in high-lands sites and a fresh approach to East African silviculture". E.A.A.F.R.O. For. tech. Note E.Afr.Agric.For.Res. Organ. No. 19 (pp. 22)
77. PERALTA, M. et al., 1965: "Evaluación de la erosión Cordillera de la Costa entre Valparaíso y Cautín" Instituto de Investigación de Recursos Naturales (IREN), Informe No. 3
78. PLATA, G.A., GUITIAN, F.O., 1966: "Transformaciones experimentadas en el suelo por la acción del fuego". An.Edafol. Agrobiol. 25 (57-68)
79. RAUPACH, M., BOARDMAN, R. und CLARKE, A.R.D., 1969: "Growth rates of Pinus radiata D. Don, in relation to foliar levels of nitrogen and phosphorus for plantations in the south east of South Australia." Soil Publication, Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, Australia No. 26, (pp. 28)
80. RECARTE, H., 1973: "Development of Forestry in Chile and the role of Pinus radiata". Journal of Forestry, Vol. 71, 7 (407-11)
81. REINHOLD, F.K., 1968: "Conversion of the Valdivian forest into economic forests". Maderero, 24, 25 (11-12; 14-15)
82. ROBERTS, R.C., 1957: "Observaciones hechas comparando agujas de pino Monterey, hojas de eucalypto y pastos con respecto a la estabilización de suelos erosionados a lo largo de la costa de Chile". Bosq. Maderas, Chile 1(1) (36)
83. ROBERTS, R.C. und DIAZ, C.V., 1959/60: "Los grandes grupos de suelos en Chile". Ministerio de Agricultura, Agricultura Técnica, Años XIX y XX (7-37)
84. ROCUANT, L., 1969: "Aplicación de fertilizantes a plantaciones forestales". In Actas V Jornadas Forestales (54-58). Asoc. Chil. Ing. Forestales, Los Angeles - Chile
85. ROWE, P.B., 1955: "Effects of the forest floor on disposition of rainfall in Pinus radiata." J.For. 53(5) (342-8)

86. RUITER, J.H., 1969: "Suspected copper deficiency in Radiata Pine". Plant u. Soil 31(1) (197-200)
87. RUIZ, C., CORVALAN, J. und AGUIRRE, L., 1965: "Geologia" In Geografía Económica de Chile. Texto refundido. Corporación de Fomento de la Producción (35-97) Santiago - Chile
88. SACHORI, A.Y. und MICHAELI, A., 1965: "Water yield of forest, maquis and grass covers in semi-arid regions: a literatur review" In Methodology of plant eco-physiology". Proceedings of the Montpellier Symposium. Arid Zone Research, UNESCO Paris Nr. 25
89. SCHEFFER, G. und SCHACHTSCHABEL, P., 1970: "Lehrbuch der Bodenkunde". Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart 7. Aufl. (pp. 448)
90. SCHMALTZ, J., 1973: "Das Wachstum von Pinus radiata in Südchile". Forstarchiv, 44. Jg., H. 6 (123-28)
91. SCHMITHÜSEN, J., 1956: "Die räumliche Ordnung der chilenischen Vegetation". Forschungen in Chile, Bonner Geographische Abhandlungen 17 (1-86)
92. SCHWABE, G.H., 1956: "Die ökologischen Jahreszeiten in Mininco, Chile". Forschungen in Chile, Bonner Geographische Abhandlungen 17 (139-82)
93. SCOTT, C.W., 1961: "Pino insigne". FAO Rom (340 pp.)
94. SHREVE, F., 1927: "The vegetation of coastal mountain range". Ecology 8:27, 398. In SCOTT, C.W. 1961
95. STOATE, T.N., 1950: "Nutrition of the pine". Forestry and Timber Bureau (Australia). Bull. 30. In STONE, E.L. 1968
96. STONE, E.L.: "Microelement nutrition of forest trees: a review". In Forest Fertilization (theory and practice). Paper, Symposium on Forest Fertilization, Florida (132-75)
97. STONE, E.L. und WILL, G.M., 1963: "Nitrogen deficiency of second generation Radiata Pine in New Zealand". In Forest soil relationships in North America. Oregon State University Press, Corvallis, Oregon (117-39)
98. STONE, E.L. und WILL, G.M., 1965: "Boron deficiency in Pinus radiata and Pinus pinaster". For.Sci. 11(4) (425-33)
99. STYLES, J.H., 1967: "Descomposition of Pinus radiata litter on the forest floor. Part 2. Changes in microfauna population". N.Z.J.Sci. 10 (4) (1045-60)

100. SUSAETA, E., 1966: "La alternative entre bosques naturales y plantaciones." Escuela de Ing. For., Fac. de Agron. Universidad de Chile. Boletín técnico No. 12 (18 p.)
101. TILLER, K.G., 1957: "Some pine-soil relationships in the Mt. Burr forest area, South Australia". Australian Forestry 21(2) (97-103)
102. TOLLENAAR, H., 1969: "Boron deficiency in pine plantations in the central zone of Chile". Agricultura técnica, 29(2) (85-8). Santiago-Chile
103. THOMPSON, A.P., 1966: "II. The future status of P. radiata in New Zealand Forestry". Item 1 in F.R.I. Symposium No. 6. The improvement of Pinus radiata - N.Z.For.Serv.For.Res.Inst. Rotorua (2-3)
104. THORNTON, R.H., COWIE, J.D., and McDONALD, D.C., 1956: "Mycelial aggregation of sandy soil under Pinus radiata". Nature, London, 177 (231-32). In HAMILTON, C.D., 1965
105. ULRICH, B., 1972: "Ein standörtliches Entscheidungsmodell für die Planung der Phosphatdüngung von Waldbeständen". In Die Phosphorsäure Band 29, 213 (220-36)
106. ULRICH, B. und WACHTER, H., 1971: "Bodenkundliche Gesichtspunkte zur Frage der Bodenbearbeitung im Wald". Allg. Forst- u. Jagdztg. 142, 11 (257-65)
107. URZÚA, J.D., 1971: "El abastecimiento de materia prima para la industria de celulosa y papel en Chile". In Actas VII Jornadas Forestales, Asoc.Chil.Ing. Forestales, (9 pp.). Santiago-Chile
108. VALENZUELA, H. et.al., 1967: "Determinación de prioridades en áreas de reforestación". Instituto de Investigaciones de Recursos Naturales (IREN). Sección Forestal. Informe No. 16 (15 pp.). Santiago - Chile
109. VUCETISCH, C.G. und WESTON, G.C., 1954: "The growth of exotic forest trees on certain soils at Tairua forest, Coromandel". Abstr. from Proceedings of the 1st. Conference, New Zealand Society of Soil Science, Auckland (5-6)
110. WARING, H.D., 1969: "The role of nitrogen in the maintenance of productivity in conifer plantations". Commonw. For. Rev. 48(3) (226-37)

111. WEINBERGER, P., 1971: "Charakteristische Eigenschaften und die Fruchtbarkeit südchilenischer Graslandböden auf vulkanischen Aschen". Der Tropenlandwirt 72 (51-71)
112. WEISCHET, W., 1970: "Chile: Seine länderkundliche Individualität und Struktur". Wissenschaftliche Länderkunden, Wiss. Buchgesellschaft, Darmstadt. Band 2/3, Kartenteil
113. WHYTE, A.G.D., WILL, G.M. und MEAD, D.J., 1968: "Nutritional disorders of Pinus radiata in Nelson". Report of Forest Research Institute. N.Z.For.Serv. (25-26)
114. WIEBECKE, C. und HARTWIG, F., 1967: "Aufforstungsplanung und Raumordnung in Chile". Reinbek Forstarchiv 38 (11/12) (273-7)
115. WILL, G.M., 1955: "Increased phosphorus uptake by radiata pine in Riverhead forest following superphosphate applications". N.Z.J.For., 10, 1 (33-41)
116. WILL, G.M., 1957: "Variations in the mineral content of Radiata Pine needles with age and position in tree crown". Res. Note. N.Z. For. Serv. No. 11 (7 pp.)
117. WILL, G.M., 1959: "Soil moisture and soil temperature studies under Radiata Pine". Whakarewarewa Forest. Repr. from N.Z.J. Agric. Res. 2(1) (184-93)
118. WILL, G.M., 1959: "Nutrient return in litter and rainfall under some exotic conifer stands in New Zealand". N.Z.J. Agr. Res. 2(4) (719-34)
119. WILL, G.M., 1961: "Magnesium deficiency in pine seedlings growing in pumice soil nurseries". N.Z.J. Agr. Res. 4(1/2) (151-60)
120. WILL, G.M., 1961: "The mineral requirements of radiata pine seedlings". N.Z.J. Agr. Res. 4(3/4) (309-27)
121. WILL, G.M., 1962: "Soil moisture and temperature studies under Radiata Pine, Kaingaroa State Forest, 1956-8". N.Z.J. Agr. Res. 5(1/2) (111-20)
122. WILL, G.M., 1964: "Dry matter production and nutrient uptake by Pinus radiata in New Zealand". Commonw. For. Rev. 43 (1) (57-70)
123. WILL, G.M., 1966: "Magnesium deficiency: the cause of spring needle-tip chlorosis in young Pine on pumice soils". N.Z.J. For. 11(1) (88-94)

124. WILL, G.M., 1966: "Root growth and dry-matter production in a high-producing stand of Pinus radiata." N.Z. For. Res. Note No. 44 (15 pp.)
125. WILL, G.M., 1967: "Decomposition of Pinus radiata litter in the forest floor. Part 1. Changes in dry matter and nutrient content". N.Z.J. Sci. 10(4) (1030-44)
126. WILL, G.M., 1968: "Some aspects of organic matter formation and decomposition in pumice soils growing Pinus radiata forest." Trans. 9th. Int. Congr. Soil Sci. 3 (237-46)
127. WILL, G.M., 1968: "The uptake, cycling and removal of mineral nutrients by crops of Pinus radiata". Proc. N.Z. Ecol. Soc. No. 15 (20-4)
128. WILL, G.M. and STONE, E.L., 1962: "Pumice soils as a medium for tree growth. 1. Moisture storage capacity." N.Z.J. For. 12(2) (189-99)
129. WITTICH, W., 1951: "Der Einfluß der Streunutzung auf den Boden (Untersuchungen an diluvialen Sandböden)". Forstwiss. Cbl. 70,2 (65-92)
130. WRIGHT, A.C.S., 1960: "Observaciones sobre los suelos de la zona central de Chile". Ministerio de Agricultura, Agricultura Técnica, Años XIX y XX, 1959-60 (65-95) Santiago - Chile
131. WRIGHT, J.P., 1967: "The variation in log quality in Pinus radiata D. Don on a range of sites". Bull. For. Comm. Vict. Nr. 19 (28 pp.)
132. YUDELEVICH, M. et al., 1966: "Inventario de las plantaciones forestales de la zona Centro-Sur de Chile". Inst. For., Informe Técnico No. 24. Santiago - Chile
133. YUDELEVICH, M. et al., 1967: "Clasificación preliminar del bosque nativo de Chile". Inst. Forestal. Inf. Técnico Nr. 27. Santiago - Chile
134. ZANARTU, E. und URZÚA, J.D., 1970: "Análisis teórico del desarrollo forestal industrial a corto plazo". In Actas VI Jornadas Forestales. Asoc. Chil. Ing. For. Santiago - Chile (99-109)
135. ZÖTTL, H.W. und VELASCO, F., 1966: "Nutrient status and growth of different plantations of the genus Pinus in Spain". An. Edafol. Agrobil. 25(5/6) (249-68)

J. E. Schlatter

**VERÄNDERUNGEN IN DEN PARAMETERN DES NÄHRSTOFF-
HAUSHALTES EINES FICHTENBESTANDES EIN JAHR NACH
EINER MINERALDÜNGUNG**

**Göttinger Bodenkundliche Berichte 31, 91 - 220
(1974)**

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	Seite
1. Einleitung	94
2. Versuchsanlage, Methodik und Oekosystem- beschreibung	97
2.1 Versuchsflächenauswahl	97
2.2 Bestand	97
2.3 Boden	104
2.3.1 Standorts- und Profilbeschreibung	104
2.3.2 Bodenprobenahme	107
2.3.3 Bestimmungsgrößen und Analysenverfahren	108
2.3.4 Beschreibung des Ausgangszustandes des Bodens	111
2.4 Düngung	123
2.5 Methodik der Flüsse-Messung	124
2.5.1 Bioelementinput durch Niederschläge	124
2.5.2 Bioelementfluß Kronendurchlaß	125
2.5.3 Bioelementfluß Nadelfall	126
2.5.4 Bioelementoutput durch Sickerwasser unter der Wurzelschicht	127
3. Versuchsergebnisse	129
3.1 Niederschlagsverhältnisse in der Versuchszeit	129
3.2 Bioelementinput Niederschlag und Bioelement- fluß Kronendurchlaß	132
3.2.1 Bioelementkonzentration im Nieder- schlagswasser	132
3.2.2 Bioelementtransport mit dem Nieder- schlagswasser	135
3.2.3 Düngungseffekt	141
3.3 Bioelementfluß Nadelfall	141
3.3.1 Streumengen	141
3.3.2 Bioelementgehalt in der Nadelstreu	143
3.3.3 Bioelementtransport mit dem Nadelfall	146
3.3.4 Düngungseffekt	146

3.4 Bioelementoutput mit dem Sickerwasser	150
3.4.1 Wasserspannungsverlauf im Boden	150
3.4.2 Bioelementkonzentration und -mengen im Sickerwasser; Juni 1972	154
3.5 Inventur der Bodendecke 1 Jahr nach Versuchsanlage	158
3.5.1 Probenahme, Bestimmungsgrößen, Analysenverfahren und Auswertung	158
3.5.2 Versuchsfremde Veränderungen in der Bodendecke im Vergleich zur Ausgangs- inventur	159
3.5.3 Durch die Düngung bewirkte Veränderun- gen in der Bodendecke	166
3.5.4 Nadelanalyse	179
4. Ein Laborversuch zur Düngerauswaschung aus der Humusschicht	181
4.1 Problemstellung	181
4.2 Material und Methodik	181
4.3 Bestimmungsgrößen und Analysenverfahren	184
4.4 Ergebnisse	185
5. Diskussion	203
6. Literatur	211

Anhang I und Anhang II

1. Einleitung

Große Teile der heutigen Waldfläche in Mitteleuropa sind mit Fichte, Picea abies L. Karst, bestockt (ANONYMUS 1973), größtenteils in Form von Reinbeständen. Die Fichte ist eine relativ ertragsreiche Baumart, so daß sie auch auf Standorten angepflanzt wird, wo sie naturgemäß nicht vorkommt, aber wirtschaftlich oft eine günstigere Nutzungsform darstellt.

Düngungsmaßnahmen in Fichtenbeständen wurden in den letzten Jahrzehnten entwickelt und ihre Einwirkung auf Standort und Bestand analysiert und diskutiert (WITTICH 1961, 1964). Noch sind aber Fragen zu bearbeiten, wie z.B. aus GUSSONE et al. (1972) und ULRICH (1972b) zu entnehmen ist, dabei auch die, die sich mit den Veränderungen befassen, die durch eine Düngung im Nährstoffhaushalt eines Fichtenbestandes verursacht werden.

In dieser Arbeit sollen einige der Veränderungen im Nährstoffhaushalt eines Fichtenbestandes im Baumbolzalter im Laufe des ersten Jahres nach einer Mineraldüngung mit Stickstoff, Phosphor, Kalium und Calcium untersucht bzw. Parameter des gesamten Nährstoffkreislaufes dieses Ökosystems verfolgt werden.

Es interessiert uns: wie sich die Bioelementvorräte in der Bodendecke (Auflagehumus und Mineralboden) und im Bestand mit der Düngung verändern,

welche Änderungen im ersten Jahr nach der Düngung im Nährstoffkreislauf festzustellen sind,

welche Mengen der gegebenen Bioelemente den Hauptwurzelraum im Boden als Bestandteile des Sickerwassers verlassen, und

wie schnell diese Verluste aus dem Ökosystem eintreten.

Speziell geprüft wurde der Transport der Nährstoffe von oberflächlich ausgebrachten Düngemitteln in Abhängigkeit

von der Niederschlagsmenge, der entscheidend ist für das Einschleusen einer Düngung in den Nährstoffkreislauf.

Abbildung 1 stellt das Modell unseres Oekosystems dar. Die in ihm berücksichtigten Kompartimente und Flüsse wurden voll umrandet und unterstrichen, die nicht berücksichtigten gestrichelt umrandet.

Das Oekosystem wurde in folgende größere Kompartimente aufgeteilt: Bestand, Auflagehumus und Mineralboden.

Andere Kompartimente waren nicht vorhanden (z.B. Bodenvegetation) oder sie wurden wegen des Aufwands nicht berücksichtigt (z.B. Edaphon).

Die Dynamik des Oekosystems wird durch die Masse- und Energieflüsse dargestellt, die einerseits in das Oekosystem ein- oder austreten, andererseits intern zwischen Kompartimenten verlaufen (MAYER 1971; ULRICH und MAYER 1973).

Als das Oekosystem verändernde Flüsse wurden die Niederschläge - Input - und das unterhalb der Wurzelschicht austretende Sickerwasser - Output - betrachtet. Die Flüsse des internen Umsatzes wurden durch den Kronendurchlaß, den Nadelfall und die Perkolation aus dem Auflagehumus dargestellt.

Ausgangs- und Endzustand des Oekosystems wurden durch Inventuren festgestellt (die letzte beschränkte sich wegen des kurzen Zeitraumes auf die Bodendecke) und damit die absoluten Veränderungen nach der Meßzeit ermittelt.

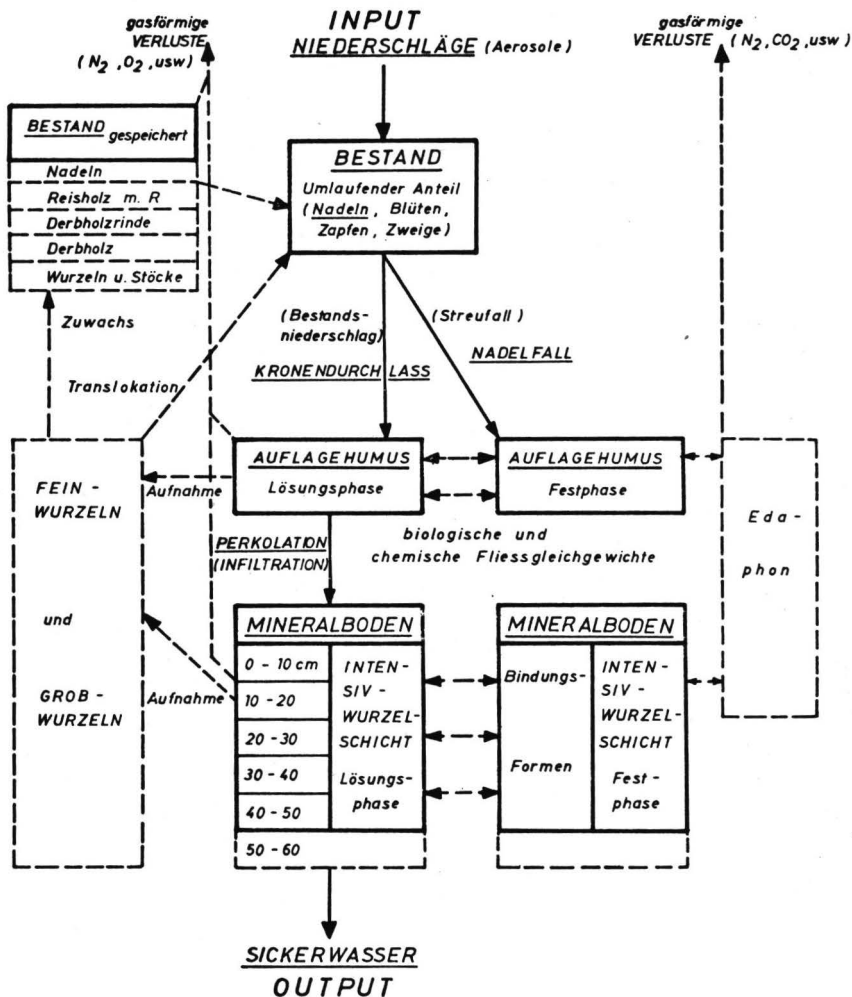


Abb.1 KOMPARTIMENT - MODELL

FICHTENREINBESTAND

2. Versuchsanlage, Methodik und Oekosystembeschreibung

2.1 Versuchsflächenauswahl

Für die Versuchsanlage wurde ein gleichaltriger und möglichst gleichmäßig erwachsener Fichtenbestand im Baumholzalter auf einheitlichem Standort gesucht.

Es wurde ein aus Pflanzung entstandener Fichtenbestand, 39 bzw. 41 jährig (bei Berücksichtigung einer 4jährigen Baumschulzeit: 43 bzw. 45 Jahre), in der Nähe von Ebergötzen ausgewählt.

In diesem Bestand erfolgte eine Bodenkartierung (Pürckhauer-Schlagbohrer). Entscheidend für die Ausscheidung von Versuchsparzellen war die Mächtigkeit der auf dem Standort vorhandenen Löß-Buntsandsteinfließerde (0.5 - ca. 1.0 m mächtig), die mindestens 50 cm betragen sollte. Es wurden 4 Parzellen angelegt, s. Abb. 2.

Drei der Parzellen wurden mit Sicherheitsstreifen von 5 m Breite auf 50 x 35 m Größe festgesetzt, die 4. Parzelle wegen der örtlichen Gegebenheiten auf 43.75 x 40 m. Die Fläche jeder Parzelle war einschließlich Sicherheitsstreifen 0.175 ha, die eigentliche Versuchsfläche 0.100 ha groß.

2.2 Bestand

Auf den angelegten Parzellen wurde eine Bestandesinventur durchgeführt, die zur Ermittlung der Biomasse aus der Primärproduktion diene. Es wurden nur die oberirdischen Teile berücksichtigt. Für die Wurzelmasse wurden Angaben anderer Versuche auf vergleichbaren Standorten verwertet.

Im Bestand war keine Bodenvegetation vorhanden. Einzelne Lärchen (*Larix* sp.) und Birken (*Betula* sp.) wie auch

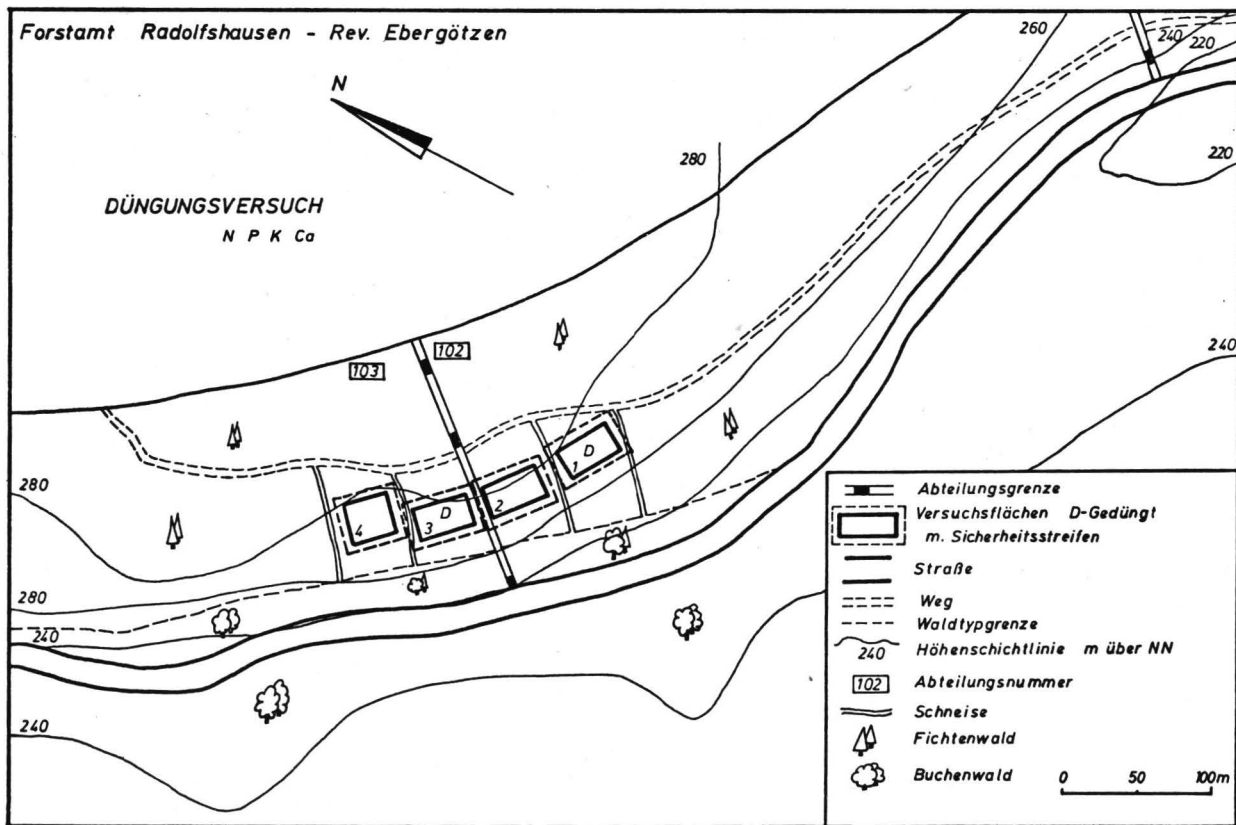


Abb. 2 : Plan der Versuchsflächen und Umgebung

Buchen (*Fagus silvatica*) wurden in der Inventur mitberücksichtigt, ihr Anteil am gesamten Bestand war geringer als 1%.

Auf jeder der 4 Parzellen des Versuches wurde die Brusthöhendurchmesser-Verteilung bestimmt. Alle Bäume wurden mit einem Oelfarbe-Kreuz bei 1.3 m BHD markiert und nummeriert, so daß spätere Zuwachsmessungen und Vergleiche durchgeführt werden können. Der Durchmesser wurde durch Ueberkreuzkluppen mit einer Metallkluppe (Meßgenauigkeit 1 mm) ermittelt.

In jeder Parzelle sind ca. 15 Höhenmessungen durchgeführt worden, die dann jede Durchmesserklasse in etwa vertreten sollten. Die Höhenmessung erfolgte mit einem "Blume-Leiß" Höhenmesser.

Die Verarbeitung der Daten richtete sich nach der Methode von SCHOBER und SEIBT (1971).

Für jede Parzelle wurden die Meßergebnisse in Durchmesserklassen (Klassengröße 1 cm) geordnet und aus diesen die Stammzahlverteilungskurven erstellt, s. Abb. 3
(N = Stammzahl, $d_{1.3}$ = Brusthöhendurchmesser).

Für die Durchmesserklassen wurden die Kreisflächen errechnet, deren Summe, geteilt durch die Stammzahl (je Parzelle), ergab die mittlere Kreisfläche des Einzelstammes. Aus dieser wurde der Durchmesser des Kreisflächenmittelstammes (d_g) der Parzelle bestimmt.

Aus den Höhenmessungen wurden individuelle Bestandeshöhenkurven nach dem Rechenprogramm von SCHMIDT (1967) errechnet^{*)}. Aus 6 Kurven nach verschiedenen mathematischen Rechenverfahren (Formeln) wurde die Kurve - Petterson Exp. 3.00 - ausgewählt, da sie sich am besten der Durch-

*) Für die Ueberlassung des Rechenprogramms sei Herrn Forstassessor C.-G.Fhr. von Hahn gedankt.

messerverteilung des Bestandes anpaßte. Diese Kurven sind auf Abb. 4 zu sehen (h = Höhe in m; n = Zahl der gemessenen Höhen; s = ger. Streuung der Messungen; r = Korrelationskoeffizient).

$$\text{PETERSON - Gleichung: } h = \frac{d}{(a + b + d)^n} + 1.3 \text{ (SCHMIDT 1966).}$$

Mit dem mittleren Durchmesser wurde aus dieser Höhenkurve die mittlere Höhe für jede Parzelle bestimmt.

Aus Durchmesserklassen, Höhenkurve und Stammzahl wurde mit den Tafeln von GRUNDNER und SCHWAPPACH (1954) die Derbyholz- und Baumholzmasse errechnet (Massentafelverfahren). Die Ertragsklasse wurde nach den Tafeln von WIEDEMANN und SCHÖBER (1957) bestimmt.

Die aus der Inventur erfaßten und zusätzlich errechneten Daten sind in Tabelle 1 getrennt für die 4 Parzellen zusammengestellt.

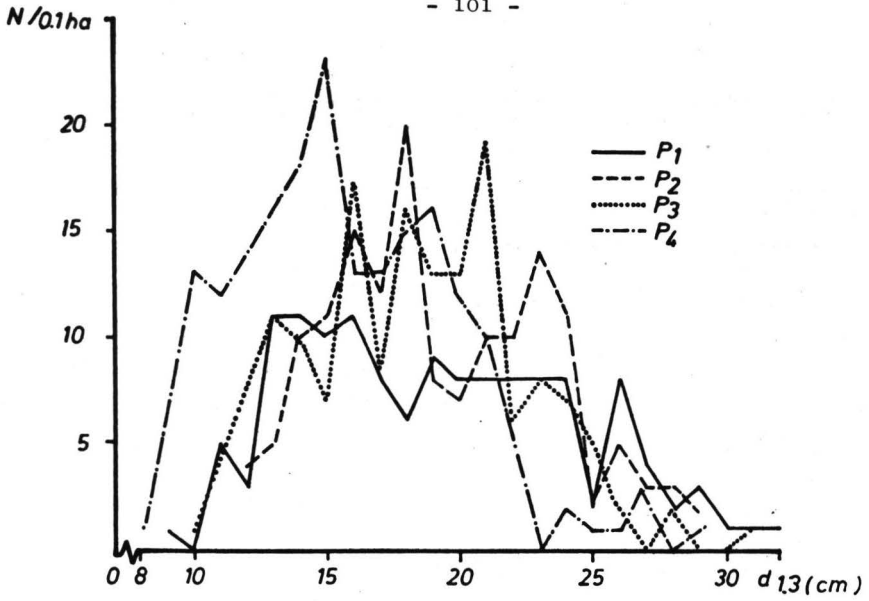


Abb. 3 : Stammzahlverteilungskurven

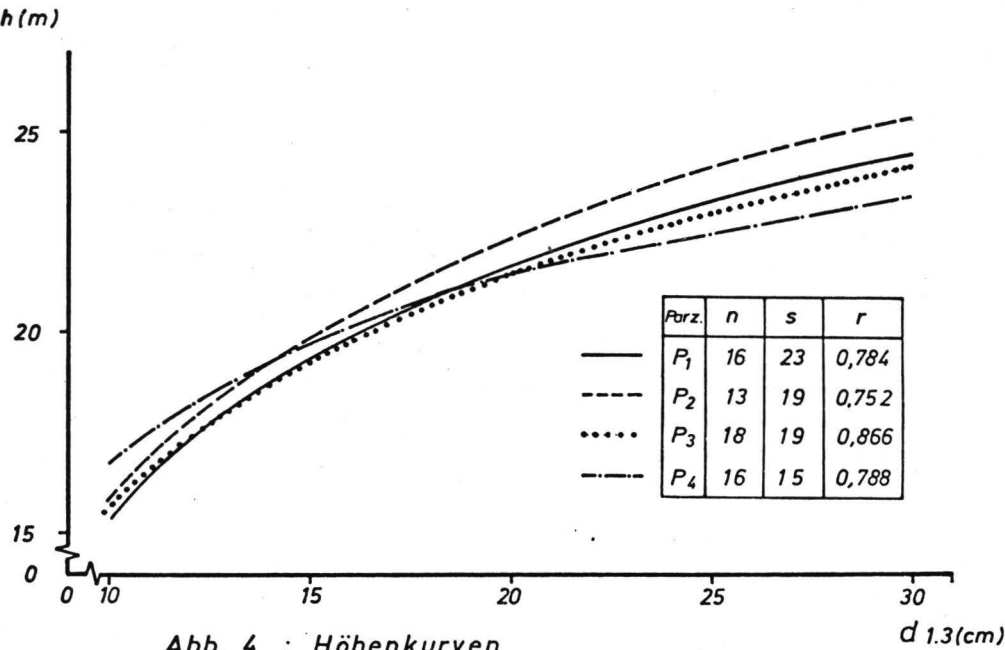


Abb. 4 : Höhenkurven

Tabelle 1: Wichtigste Angaben des Fichtenreinbestandes auf den Versuchsflächen

Variable	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	$\bar{x}$	Ertrags- tafel
Alter (Jahre)	45	45	43	43	-	45
Bäume N/ha	1370	1520	1580	1926	1599	1330
Durchmesser VK%	26.0	21.0	22.0	25.0		
+) dg	19.8	19.7	18.7	16.3	18.6	19.0
s	5.1	4.1	4.1	4.1		
Kreisfläche m ² /ha	42.2	46.5	43.5	40.5	43.2	38.7
Höhe (m) ++)	21.6	22.3	21.0	20.3	21.3	21.5
Ertragsklasse	0.4	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4
Derbholz (fm/ha)	475	538	440.5	383	459	431
Baumholz fm/ha	594	631	572	505	576	-
Leistungsklasse (fm/ha) DGZ 45-43	10.5	12.0	10.2	9.0	10.2	9.6
Folgende Angaben in Trockenmasse t/ha:						
1) Derbholz	179	203	167	144	173	-
2) Baumholz	232	246	223	197	224	-
Wurzeln u. Stöcke (24% Baumh.)	56	59	53	47	54	-
Gesamtbiomasse	288	305	276	244	278	-

+) Durchmesser als Durchschnitt des Kreisflächenmittelstammes (dg)

++) Höhe: Höhe des dg (Höhenkurven); 1) Raumdichte: 0.377 kg/m³
2) Raumdichte: 0.39 kg/m³

Die gesonderten Ertragstafelwerte in Tab. 1 (in der 6. Säule zum Vergleich aufgeführt) sind aus den Tafeln von WIEDEMANN und SCHÖBER (1957) für Fichte mäßiger Durchforstung berechnet worden.

Aus der Tabelle geht hervor, daß zwischen den Parzellen teils erhebliche Schwankungen bestehen, wie z.B. in der Zahl der Bäume je ha und in den absoluten Vorräten an Biomasse. Man muß hierbei aber berücksichtigen, daß P_3 und P_4 zwei Jahre jünger sind. Der Bestand zeigt in den Versuchsparzellen eine vergleichbare Zuwachsleistung besonders im Höhenzuwachs. Die Zuwachsdaten weisen auf sehr gute Wuchsbedingungen hin.

Der Bestockungsgrad ist gegenüber den Ertragsstafelwerten sehr hoch. Baumzahl und Kreisflächenwerte lassen auf einen wenig durchforsteten Bestand schließen. Daraus kann gefolgert werden, daß im Laufe der Meßzeit (da in dieser keine Veränderungen im Bestand unternommen wurden) eine starke Konkurrenz zwischen den einzelnen Bäumen bestand.

Anhand der Biomassewerte und der Bioelementmengenangaben aus Fichtenbeständen des Sollings (PAVLOV 1972), wurden die Nährstoffvorräte im Bestand geschätzt (nach einer Tabelle, die für Durchmesserklassen von 1 cm jeweils den Nährstoffvorrat pro Baum angibt). Die Ergebnisse sind in Tabelle 2 zusammengestellt.

Bei gleichem Ausgangsgestein und Bodentyp ist die Versuchsfäche im Vergleich zum Solling trockener, wärmer und tonärmer.

Tab. 2: Bioelementvorräte im Fichtenbestand (Stand 1971)
auf den Versuchsflächen - Ebergötzen
(Gerechnet anhand der Werte in Tabelle 11 von PAVLOV 1971)

Parzelle	Trockenmasse kg/ha ohne Wurzeln	Bioelemente in kg/ha				
		N	P	K	Ca	Mg
P ₁	231.700	562	75	427	324	64
P ₂	246.300	606	83	462	354	73
P ₃	222.200	568	78	430	325	70
P ₄	197.000	474	70	359	284	65
Durchschnitt	224.300	553	77	420	322	68

2.3 Boden

2.3.1 Standorts- und Profilbeschreibung

Nach ANONYMUS (1954) liegt der Versuch auf einem "lehnen, steilen Sonnenhang auf mittlerem Buntsandstein". Unter dieser Gruppe wird er in die folgende Beschreibung eingeordnet: "Unter- u. Mittelhanglagen mit mäßig frischem, meist mittelgründigen, anlehmigen bis lehmigen Sandböden". Als Bodentyp wurden "podsolige Braunerden", als Humusform "Moder" angesprochen.

Nach der eigenen Bodenkartierung befindet sich auf den Versuchsflächen eine 0.5 bis ca. 1.0 m mächtige Löß-Buntsandsteinfließerde über mittlerem Buntsandstein. Eine eingehendere Beschreibung ist in Abb. 5 (Profil zwischen Parzelle 1 und 2) und Abb. 6 (Profil zwischen Parzellen 3 und 4) gegeben.

Institut für Bodenkunde und Waldernährung
 der Universität Göttingen

Standortsaufnahmeblatt
 Top. Karte 1: 25.000 Nr. _____
 Forstkreis: **Radolfshausen Ebergötzen** Abt.: 102 u. 103

Rechts-
nach-

Name: Schlatter

Datum: 1971

LM-Nr.: _____

KLIMA	Hebe	Vegetationszeit	Niederschlagssumme	Jahr	Vegetationszeit	mittlere Temperatur	Vegetationszeit	Wuchshöhe	Wuchsbereich
	275 mm	1.05 - 30.09	677 mm	319 mm	8,5 °C	14,0 - 14,2 °C		Südwestsächsisches Bergland	Eichsfeld

BESTAND	Baumarten und Anteile	Alter	Erntegasse	Leistungsgasse	Derbstreuverr.
	Picea abies > 99 % Larix sp. = 1 %	45	0,2 - 0,4 Eke	12 (100 Jahre)	506 m

FLORA Keine Bodenvegetation

RELIEF

Ebene	Plateau	Tal	Talung	Talboden	Talstufe	Talflank	Talrand	Hang	in °	0 - 2	2 - 5	5 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 45	> 45
Häng	Terrasse	Rechen	Stufe	Myrde	Planne	Delle	Quellmulde	Bezeichnung	in %	0 - 3	3 - 8	8 - 17	17 - 30	30 - 50	50 - 100	> 100
X																

EXPOSITION

N	NNO	NO	ONO	O	OSO	SO	SNO	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW

**AUF-
LAGE-
HUMUS**

Horizont	Mächtigkeit	Material	Gefüge	Durchwurzelung	HUMUS- FORM
L	0,5-20	Fi-Streu	X	X	
F	0,5-20	3,0 - 4,5	X	X	
H	0,5-20		X	X	

**MINE-
RAL-
BODEN**

Geo- logie	Boden- art	Skelett- raum %	Farbe Munsell	Horiz- ont	Tiefe cm	Ab- grenzung	Humus %	Gefüge	Lage- rungs- dichte	Durch- wurzelung	Carbonat- gehalt	Sonstiges	Vol.-%	Wasser- gehalt	nutzbare Wasserkap.	TRG
Abgrenzung der geol. Karten	S1/S15 uS15/sL uL/IL=U U10/U15 IF=U1/T	< 1 1-10 10-30 30-75 > 75	4,5 1,0 2,5 3,5 X, G	B (h, h, h) C (h, r, c) P G (h, r) R	0 5 32 65 100	~ grade ~ wellig ~ zungen- förmig ~ unreg. ~ Über- gangszone	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 27 28 29 30 31 32 33 34 35 36 37 38 39 40 41 42 43 44 45 46 47 48 49 50 51 52 53 54 55 56 57 58 59 60 61 62 63 64 65 66 67 68 69 70 71 72 73 74 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 88 89 90 91 92 93 94 95 96 97 98 99 100	1-2 2-5 5-10 10-20 20-30 30-40 40-50 50-60 60-70 70-80 80-90 90-100 100-110 110-120 120-130 130-140 140-150 150-160 160-170 170-180 180-190 190-200 200-210 210-220 220-230 230-240 240-250 250-260 260-270 270-280 280-290 290-300 300-310 310-320 320-330 330-340 340-350 350-360 360-370 370-380 380-390 390-400 400-410 410-420 420-430 430-440 440-450 450-460 460-470 470-480 480-490 490-500 500-510 510-520 520-530 530-540 540-550 550-560 560-570 570-580 580-590 590-600 600-610 610-620 620-630 630-640 640-650 650-660 660-670 670-680 680-690 690-700 700-710 710-720 720-730 730-740 740-750 750-760 760-770 770-780 780-790 790-800 800-810 810-820 820-830 830-840 840-850 850-860 860-870							

Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität Göttingen				Standortsaufnahmeblatt				Top.Karte 1: 25.000 Nr.				Rechts- westl.		Nech- westl.	
Name: Schlatter								Datum: 1971				Lfd.Nr.			
KLIMA		Hehe 270 mNH		Vegetationszeit 105 - 30 09		Niederschlagssumme Jahr 677 mm		mittlere Temperatur Jahr 9,5 °C		Vegetationszeit 140-14,2 °C		Wuchsgelände Süd-niedersächsisches Pergland		Wuchsbezirk Eichsfeld	
BESTAND		Baumarten und Anteile Picea abies = 99% Larix sp. < 1%		Alter 43		Ertragsklasse 0,2 - 0,4 Eke		Lebensklasse 12 (100 Jahre)		Durchmesser 4,16 cm					
FLORA Keine Bodenvegetation															
RELIEF															
Ebene		Plateau		Tal		Talsenke		Talsenke		Talsenke		Talsenke		Talsenke	
Hang		Tafel		Rücken		Kuppe		Mulde		Panne		Delle		Senke	
X															
EXPOSITION															
N		NNW		NO		ONO		O		OSO		SO		SSO	
S		SSW		SW		WSW		W		WNW		NNW			
AUF- LAGE- HUMUS															
Horiz- zant		Mäch- keit cm		Material z.B. Fi - Streu Grauwacke		Gefüge z.B. Fi - Streu Grauwacke		Durchwurzelung z.B. Fi - Streu Grauwacke		Humus- FORM		Typ. Mull		Typ. Moder	
L		0,5-2,0		Fi - Streu		X		X		X		X		X	
F		0,5-2,0		3,0 - 4,5		X		X		X		X		X	
H		0,5-2,0				X		X		X		X		X	
MINE- RAL- BODEN															
Geo- logie		Boden- art		Skelett- raum %		Farbe Munsell oder Beschreibung		Horiz- zant		Tiefe cm		Humus %		Gefüge	
Abkürzungen der geol. Karten		S/TS / IS uS/TS / uL uL/TS / uL U/HU / uL IT / uL / T		< 1 1-10 10-30 > 30		A (h, e, s) B (r, s, h) C (r, s) D (e, r) E (s, w) F (e, r) G (e, r) H (e, r) I (e, r) J (e, r) K (e, r) L (e, r) M (e, r) N (e, r) O (e, r) P (e, r) Q (e, r) R (e, r) S (e, r) T (e, r) U (e, r) V (e, r) W (e, r) X (e, r) Y (e, r) Z (e, r)		A (h, e, s) B (r, s, h) C (r, s) D (e, r) E (s, w) F (e, r) G (e, r) H (e, r) I (e, r) J (e, r) K (e, r) L (e, r) M (e, r) N (e, r) O (e, r) P (e, r) Q (e, r) R (e, r) S (e, r) T (e, r) U (e, r) V (e, r) W (e, r) X (e, r) Y (e, r) Z (e, r)		A (h, e, s) B (r, s, h) C (r, s) D (e, r) E (s, w) F (e, r) G (e, r) H (e, r) I (e, r) J (e, r) K (e, r) L (e, r) M (e, r) N (e, r) O (e, r) P (e, r) Q (e, r) R (e, r) S (e, r) T (e, r) U (e, r) V (e, r) W (e, r) X (e, r) Y (e, r) Z (e, r)		A (h, e, s) B (r, s, h) C (r, s) D (e, r) E (s, w) F (e, r) G (e, r) H (e, r) I (e, r) J (e, r) K (e, r) L (e, r) M (e, r) N (e, r) O (e, r) P (e, r) Q (e, r) R (e, r) S (e, r) T (e, r) U (e, r) V (e, r) W (e, r) X (e, r) Y (e, r) Z (e, r)		A (h, e, s) B (r, s, h) C (r, s) D (e, r) E (s, w) F (e, r) G (e, r) H (e, r) I (e, r) J (e, r) K (e, r) L (e, r) M (e, r) N (e, r) O (e, r) P (e, r) Q (e, r) R (e, r) S (e, r) T (e, r) U (e, r) V (e, r) W (e, r) X (e, r) Y (e, r) Z (e, r)	
AN- SPRACHE		sU		x" g"		75 YR 3/2		h		0		h		Ko	
		sU		x" g"		75 YR 5/4		h'		33		h'		s. Po	
		sU		x' g'		II BrSw		h''		50		h''		Po -	
		uL		x' g'		5YR 4/6		Sw		62		Sw		- PI	
		sL		x' g'		25 YR 3/6		III Sd				4		1-2	
		Bunt- sandstein (sm.)													
GESAMT- BEUR- TEILUNG															
Ausgangsgestein		Löss - Buntsandstein Fließerde													
Humusform		typischer Moder										Bodenart s U			
Podsoligkeit		schwach		massig		stark		Podsolierung		schwach		massig		stark	
Bodenbildungsprozess		Humusbildung		Entstehung		Gefügebildung		Verwitterung		Podsolierung		Podsolierung		Verwitterung	
		X		X		X		X		X		X		X	
Bodentyp		Pseudogley - Braunerde										Gründigkeit in cm			
												< 15 15-30 30-60 60-100 > 100			
Entwicklungstiefe		sehr gering gering mittel groß sehr groß										Ausprägungsgrad			
												gering mittel stark			
Grundwasserstand dm unter Flur		≤ 0-2		2-4 4-8		8-13 13-20		20-30 30-40		> 40		pH		Stauwasser	
		maximal		minimale		frisch		beimt		frisch		sehr frisch		stark	
Wasserhaushalt		X		X		X		X		X		X		X	
N - Versorgung		X										die Beurteilung richtet sich nach Humusgehalt und C/N-Verhältnis (Humusform)			
P - Versorgung		X										nach Ausgangsgestein, Reliefposition, Erosion bzw. Sedimentation			
K - Versorgung		X										nach Tonmineral (Mittl.) und Tongehalt			
Ca - Versorgung		X										nach pH			
Sonstiges		z.B. Bodenbearbeitung Melioration Wildweide ?													

Abb.6 Standortsaufnahme P 3-4

2.3.2 Bodenprobenahme

Vom Auflagehumus wurden 2 Mischproben je Versuchsparzelle entnommen, die aus 4 verschiedenen, auf den Parzellen systematisch verteilten Probeentnahmen (ca. 0.1 m^2) gebildet wurden (Abb. 7). Aus ihnen wurden kleinere Mengen wie üblich getrocknet und bis zur Analyse gelagert.

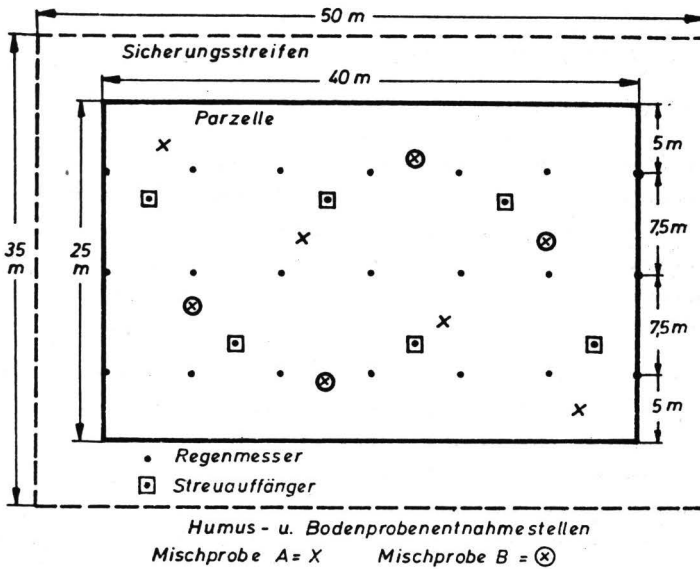


Abb. 7: Plan einer Parzelle

An den Entnahmestellen von Auflagehumus wurden anschließend volumetrische Bodenproben von je 10 cm Mächtigkeit bis in eine Tiefe von 50 cm durch Bohrer (ATANASIU et al. 1961) entnommen. Wie beim Auflagehumus wurden die Stichproben für jede 10 cm Schicht zu zwei Mischproben vereinigt.

Aus den Bodeneinschlägen wurden aus jedem Horizont folgende Proben entnommen: Für die pH-Bestimmung 5 Stechzylinderproben (ca. 250 cm³), ferner Proben für die Bestimmung der Bodenart und für die Fe-Dithionit-Extraktion. Außerdem wurden für die Trockengewichtsbestimmung als Basis für die Nährstoffvorratsberechnung in beiden Profilen je 3 Zylinderproben pro 10 cm Schicht (bis 50 cm Tiefe) entnommen.

2.3.3 Bestimmungsgrößen und Analysenverfahren

2.3.3.1 Auflagehumus

Nach trockener Veraschung von 2 g Trockensubstanz (bei 500-600°C) wurde der Aschenanteil und nach Aufnahme des Glührückstandes in HCl Si gravimetrisch und in der Analysenlösung nach den im Institut üblichen Methoden (FASSBENDER 1972) P, Na, K, Ca, Mg, Fe, Al und Mn bestimmt.

% Asche: Gewichtsbestimmung nach Veraschung (500-600°C)
organische Substanz: berechnet aus dem Glühverlust

C : berechnet aus o.S. (/ 1.724)

N : Gesamt - N nach Kjeldahl

C/N : aus C und N Bestimmungen berechnet

Si : Wurde beim Abrauchen des Glührückstandes mit HCl ausgeschieden und nach dem Filtrieren gravimetrisch bestimmt.

In der Aschenlösung wurden bestimmt:

P : mit der Molybdänblaumethode

Na, K und Mn : durch Atomabsorption

Ca und Mg: durch Atomabsorption, mit Lanthanoxidzusatz zur Ausschaltung von Störungen anderer Elemente (z.B. P u. Al)

Fe : durch kolorimetrische Bestimmung mit α - α' Dipyridil, nach BARON (1954).

Al : durch kolorimetrische Bestimmung mit Aluminon,
nach HSU (1963).

pH_{CaCl₂} : 10 cc Humus + 25 ml 0.01 m CaCl₂-Lösung
Verhältnis 1:2.5).

2.3.3.2 Mineralboden

Bestimmung von Bodenart, Fe-oxid, Porengrößenverteilung und spez. Gewicht

An den Bodenproben wurde bestimmt:

Textur: Pipettmethode, einschließlich Abschlamm- und
Siebverfahren

Fe - oxid : Dithionitlösliches Eisenoxid nach JACKSON (1956)
Porengrößenverteilung bzw. Wasserbindung: Die entnommenen
Proben wurden feldfeucht gewogen, dann mit Wasser aufge-
sättigt. Bis zu einer Wasserbindung von 1/3 atm. wurde die
Bestimmung im Unterdruckverfahren mittels hängender Wasser-
säule durchgeführt, bis 15 atm. die Werte in der Druck-
apparatur ermittelt.

Spezifisches Gewicht: Ermittlung mit der Kolbenpyknometer-
methode nach BLAKE (1965).

Bestimmung von Phosphat, C, N, pH_{CaCl₂} -----2-----

Gesamt-Phosphat wurde durch Säureaufschluß des Bodens nach
ULRICH, HEMPLER und BENZLER (1960) bestimmt. Die Frak-
tionierung in P_{Al}, P_{Fe}, P_{Ca}, P_{occl.} und P_{org.} erfolgte
nach CHANG und JACKSON (1957) modifiziert nach KHANNA
und ULRICH (1967).

In sauren Böden entspricht die schwefelsäurelösliche
Fraktion (P_{Ca}) nicht den Ca-Phosphaten, sondern säure-
löslichen okkludierten Phosphaten.

pH : in 0.01 CaCl₂, Verhältnis Boden:Lösung - 1:2.5

C : durch Verbrennung im WÖSTHOFF

N : Gesamt-N nach Kjeldahlaufschluß kolorimetrisch bestimmt.

Bestimmungen in der Gleichgewichtsbodenlösung

Die Gleichgewichtsbodenlösung wurde nach ULRICH (1966) gewonnen und untersucht. Sie wurde als Extrakt eines wassergesättigten oder -übersättigten Bodens nach einer Kontaktzeit von 24 Stunden gewonnen. Nach Möglichkeit wurde vom feldfeuchten Boden ausgegangen.

In der Lösung wurden folgende Bestimmungen durchgeführt:

pH : direkte Messung

Gesamt $\text{NH}_4\text{-N}$ ($\text{NH}_4\text{-N}$ und Norg.): nach Kjeldahlaufschluß der Lösung (Fixierung des NO_3 durch Selen), kolorimetrisch.

Na, K, Mg, Ca, Fe, Al und P: wie unter Aschenlösung beschrieben.

$\text{SO}_4\text{-S}$: mit Kationenaustauscher vorbehandelt und nach Zugabe von BaCl_2 durch potentiometrische Titration.

Cl : potentiometrische Titration mit AgNO_3

Bestimmung der effektiven und totalen Austauschkapazität

Zur Bestimmung der effektiven Austauschkapazität im Boden wurde nach ULRICH (1966) verfahren. Nach der Bodendurchwaschung mit 100 ml 1 n NH_4Cl , wurde im Eluat pH bestimmt und nach Eindampfen der Lösung und Abrauchen der Rückstand mit HCl aufgenommen und filtriert. Am Filtrat wurden wie bei der Aschenlösung beschrieben Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe und Al bestimmt.

Für die Bestimmung der totalen Austauschkapazität wurde nach MEHLICH (1942) verfahren.

Anmerkung: Für die Verrechnung der Feld- und Labordaten wie auch für die statistische Auswertung siehe Anhang I.

2.3.4 Beschreibung des Ausgangszustandes des Bodens

2.3.4.1 Volumendiagramm und Wasserspannung

Die allgemeinen Merkmale des Bodens werden aus Abb. 5 und 6 sowie den Volumendiagrammen (Abb. 8) und Wasserspannungskurven (Abb. 9) ersichtlich. Die textuellen Horizontunterschiede erklären sich aus verschiedenen Fließerdeüberdeckungen aus Löß- und Buntsandsteinmaterial.

Beide Profile befinden sich auf demselben Ausgangsmaterial aus mittlerem Buntsandstein (in Profil 1-2 entsprechend Schicht IV, im Diagramm nicht dargestellt und bei etwa 1.0-1.1 m, im Profil 3-4 entsprechend Schicht III).

Der Hauptunterschied zwischen beiden Profilen liegt in der Mächtigkeit der Fließerdedecken und Hangsedimente; die Lage in einer Hangdelle führte in Profil 1-2 zu einer stärkeren Akkumulation. Die Schichten II (Profil 3-4) und III (Profil 1-2) lassen sich textuell vergleichen. Schicht II (Profil 1-2) dagegen scheint im Profil 3-4 völlig zu fehlen.

Der Schluffanteil wächst nach oben hin und deutet auf die Abnahme der Buntsandsteinbeimengung, was gleichermaßen im Dithioniteisen zum Ausdruck kommt.

Beide Profile zeigen ein hohes Gesamtporenvolumen (45-47%) in den ersten 30-35 cm. Hier ist der Grobporenanteil (ca. 30%) relativ hoch, wie es bei sandigen Böden der Fall ist (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1970).

Das Gesamtporenvolumen, im wesentlichen der Grobporenanteil, verringert sich im Profil nach unten (etwa 10%), während der Tongehalt ansteigt. Die Beziehung ist jedoch nicht sehr eng. Vielmehr spielt eine zunehmende Verdichtung des Gefüges eine wichtige Rolle.

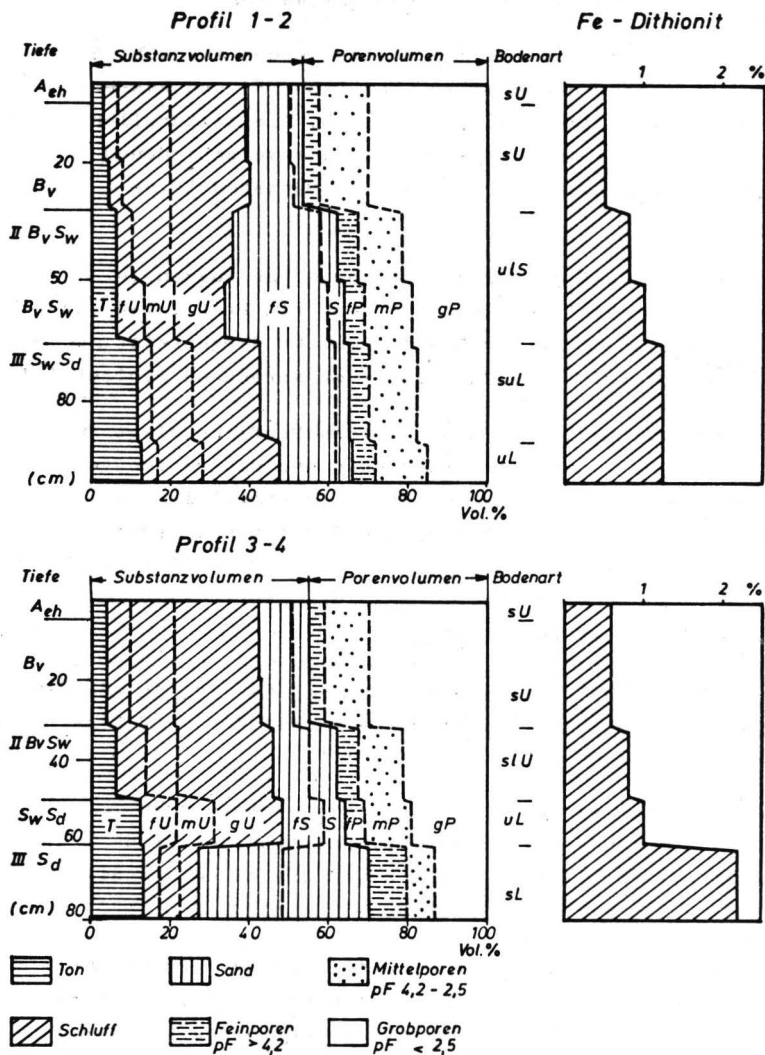


Abb. 8 : Volumendiagramm und Fe - Dithionit

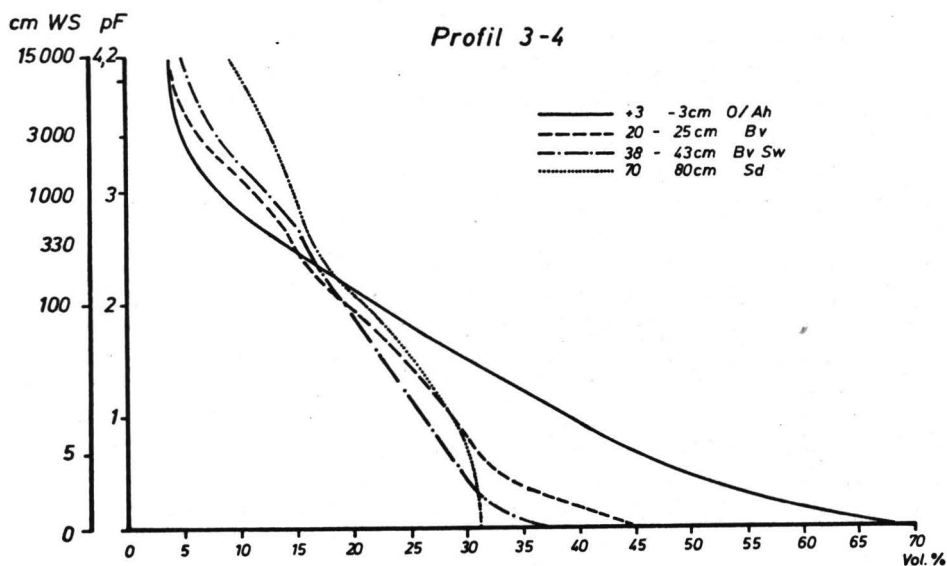
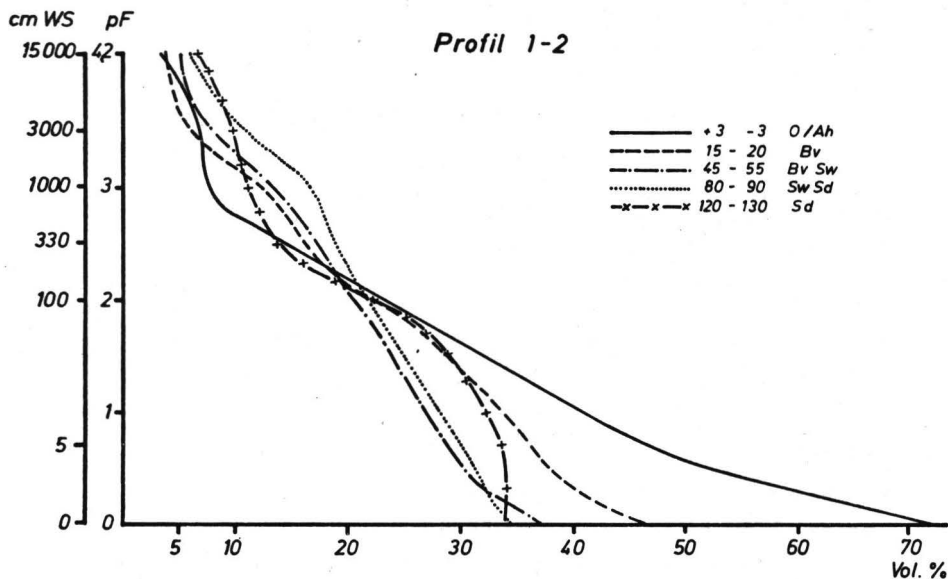


Abb. 9: Wasserspannungskurven

Eine Erniedrigung der Grobporen auf 13%, der Mittelporen auf 8% und die Erhöhung des Anteils der feinen Poren auf ca. 10% im unterliegenden Buntsandstein verringert anscheinend die vertikale Wasserdurchlässigkeit, was zu einer gewissen Wasserstauung führt (Fleckung der darüberliegenden Schichten). Da das Gelände eine Neigung von 10-12° aufweist, spielt dann auch Hangwasser eine Rolle im Wasserhaushalt des Bodens.

Beide Profile zeigen die Variation des Bodens auf den Versuchsflächen an; die Mächtigkeit des Solums schwankt zwischen 50 bis ca. 100 cm.

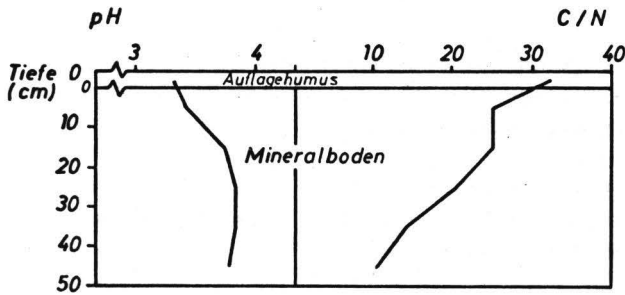
2.3.4.2 pH, C, N und C/N - Verhältnis (Abb. 10, 11)

Der Boden ist stark sauer mit maximalen pH (CaCl_2)-Werten ab 20 cm Tiefe von knapp 4. Der pH-Wert für den Auflagehumus stimmt mit den Werten von CERNEY (1968), ULRICH und KEUFFEL (1970) und ULRICH, AHRENS und ULRICH (1971) überein.

Unter Abb. 10 und 11 sind die Mittelwerte der entsprechenden Variablen eingetragen, außerdem die Signifikanz der Unterschiede zwischen den Bodenschichten (F-Tiefe), der Variationskoeffizient (%) der Streuung zwischen den Parzellen (Parzellenunterschiede) und der innerhalb der Parzellen (= Probenahmefehler).

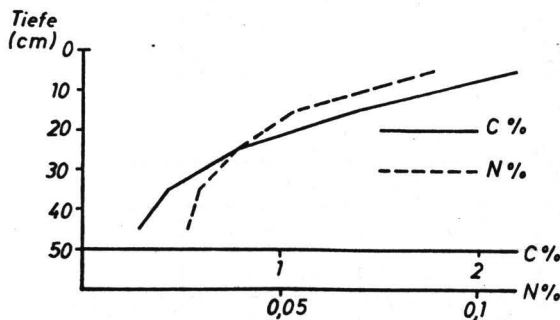
Das C/N-Verhältnis verengt sich von 32.6 im Auflagehumus auf 10.6 in 40-50 cm Tiefe. Sowohl für pH wie für C/N sind die Änderungen mit der Profiltiefe signifikant. Dasselbe gilt für die Tiefenfunktionen von C und N (Auswertung siehe Anhang I).

Bezogen auf die org. Substanz der Trockenmasse beträgt der Gehalt an Gesamt-N im Auflagehumus 1.84-2.02%. Dieser Wert zeigt nach WITTICH (1961) und WEHRMANN (1963)



VA 1	Auflagehumus			VA 2	Mineralboden		
VARIABLE	$\bar{x}..$	VK Parzell.	VK Fehler	$\bar{x}...$	VK Parzell.	VK Fehler	F-Test Tiefe
pH	3,37	2,2	0,6	3,73	1,3	0,7	***
C/N	32,6	4,6	6,3	19,2	10,4	12,3	***

Abb. 10 pH und C/N-Verhältniss im Auflagehumus und Mineralboden, Ausgangszustand.



VA 1	Auflagehumus			VA 2	Mineralboden		
VARIABLE	$\bar{x}..$	VK Parz.	VK Fehler	$\bar{x}...$	VK Parz.	VK Fehler	F-Test Tiefe
C %	23,5	16,8	15,5	1,03	11,8	20,0	***
N %	0,72	15,5	18,1	0,05	10,1	11,5	***

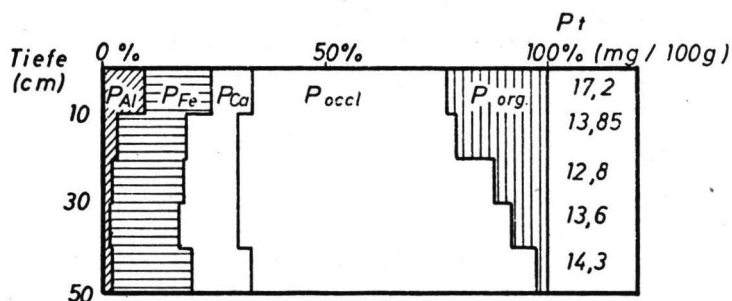
Abb. 11 Kohlenstoff und Stickstoff (in % der T.S.) im Auflagehumus und Mineralboden, Ausgangszustand.

eine schwache Stickstoffversorgung an. Auch das weite C/N-Verhältnis liegt nach GUSSONE (1964) an der Grenze einer mangelhaften N-Versorgung.

Der Grund für die niedrigen Gehalte von C und N im Auflagehumus ist hauptsächlich in der Probenahme zu suchen, was später erläutert wird.

2.3.4.3 Gesamt-Phosphat und Phosphatformen (Abb. 12)

Der Phosphatgehalt nimmt als Folge der biogenen Phosphatakkumulation im Oberboden (ULRICH und KHANNA 1969) mit zunehmender Profiltiefe ab. Der Boden ist insgesamt als phosphatarm anzusprechen (ULRICH 1972a).



	P_{Al}	P_{Fe}	P_{Ca}	P_{occl}	P_{org}	P_t
$\bar{x} \dots$ (mg/100g)	.56	2,3	1,7	7,9	1,9	14,4
VK Parz.	47,0	—	7,5	—	39,6	5,2
VK Fehler	74,7	24,8	10,1	8,7	46,7	5,5
F-Tiefe	***	n.s.	n.s.	***	***	***
VA 2						

P_{Ca} = säurelösliches
 P_{occl}

P im Auflagehumus	$\bar{x} \dots$ (mg/100g)	65,0
VA 1	VK Parzelle	9,0
	VK Fehler	12,5

Abb. 12 Anteile der P-Bindungsformen am Gesamtphosphat und ihre Tiefenverteilung; Ausgangszustand; Mineralboden u. Auflagehumus.

Der größte Anteil liegt als occludiertes Phosphat vor. Dieser Anteil nimmt noch erheblich in Richtung Profiltiefe zu, was geringfügig auch für das säurelösliche $P_{occl.}(P_{Ca})$ und P_{Fe} zutrifft, wogegen sich der Anteil an P_{Al} und $P_{org.}$ verringert.

In den ersten 10-20 cm wird die Höhe des P-Gehaltes vom organisch gebundenen Phosphat stark beeinflusst. Im Auflagehumus beträgt der Gesamtphosphatgehalt 65 mg/100 g Trockensubstanz, dem 14 mg/100 g als Durchschnitt im Mineralboden gegenüberstehen.

Die Gehaltsänderungen der verschiedenen Phosphatformen und des Gesamtphosphats mit der Bodentiefe sind signifikant außer für P_{Fe} (Auswertung siehe Anhang I).

Ist der Variationskoeffizient für Parzellenunterschiede nicht angegeben, beruht das darauf, daß die Varianz innerhalb der Parzellen größer ist als zwischen den Parzellen, was durch eine zu kleine Anzahl von Mischproben verursacht wird.

2.3.4.4 Bioelementgehalt im Auflagehumus (Tab. 3)

Der Aschenanteil des Auflagehumus ist sehr hoch. Durch den unscharfen Uebergang zur oberen humushaltigen Mineralbodenschicht wurden bei der Probenahme Teile dieser einbezogen, was auch aus der Bioelementzusammensetzung (hoher Fe- und Al-, sehr hoher Si-Gehalt) zu schließen ist.

Tab. 3: Bioelementgehalt im Auflagehumus

Einheit	% T.S.		mg/g Trockensubstanz						
Variable	Asche	Si	Na	K	Ca	Mg	Fe	Mn	Al
$\bar{x}..$	62.0	28.0	.205	.81	1.94	.57	5.7	.61	3.7
VK % Parzellen	10.1	7.1	9.6	6.4	13.7	14.7	8.5	23.3	12.0
VK % Fehler	11.2	12.5	8.4	8.2	25.0	10.4	7.9	15.5	7.2

2.3.4.5 Bioelementgehalt im Mineralboden

Gleichgewichtsbodenlösung (Abb. 13)

Abbildung 13 zeigt die Bioelemente als Anteil der Summe der Kationen (SUKAT) in der Gleichgewichtsbodenlösung, außerdem ist die SUKAT in uval/l angegeben.

Nach anfänglicher Abnahme ist die SUKAT in 10-20 cm Tiefe am niedrigsten und steigt in Richtung Profiltiefe erheblich an. Die gleiche Tendenz zeigt auch die Summe der Anionen (SUAN), sie ist insgesamt aber etwas geringer.

Während in Richtung Profiltiefe die Anteile an $\text{NH}_4\text{-N}$, H, K und Fe erheblich abnehmen, zeigen Na, Ca, Mg und Al einen deutlichen Anstieg, wobei Al den größten Anteil bis 40 cm Tiefe einnimmt. Werden die absoluten Mengen berücksichtigt, bleibt dieser Trend erhalten mit Ausnahme von K, dessen Konzentration ab 30 cm wieder ansteigt.

Die Konzentration an N ($\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{N}_{\text{org.}}$) verringert sich deutlich mit der Profiltiefe ($\text{NO}_3\text{-N}$ ist nur in kaum meßbaren Konzentrationen vorhanden). $\text{SO}_4\text{-S}$ steigt stark an, Cl bleibt bis 40 cm annähernd konstant.

Die Konzentrationsunterschiede innerhalb der verschiedenen Tiefen sind bei $\text{NH}_4\text{-N}$, Na, K, Ca, Mg, Fe und $\text{SO}_4\text{-S}$ signifikant.

Austauschkapazität (Abb. 14).

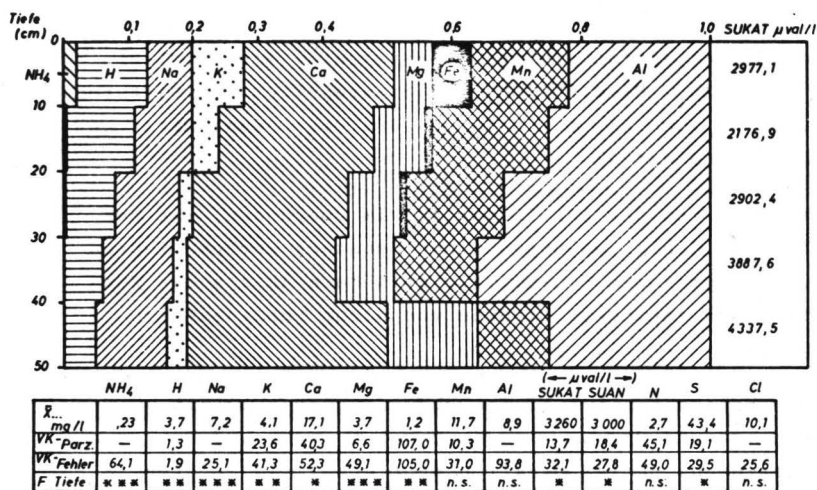


Abb. 13 Anteil der einzelnen Kationen in der Gleichgewichtsbodenlösung.

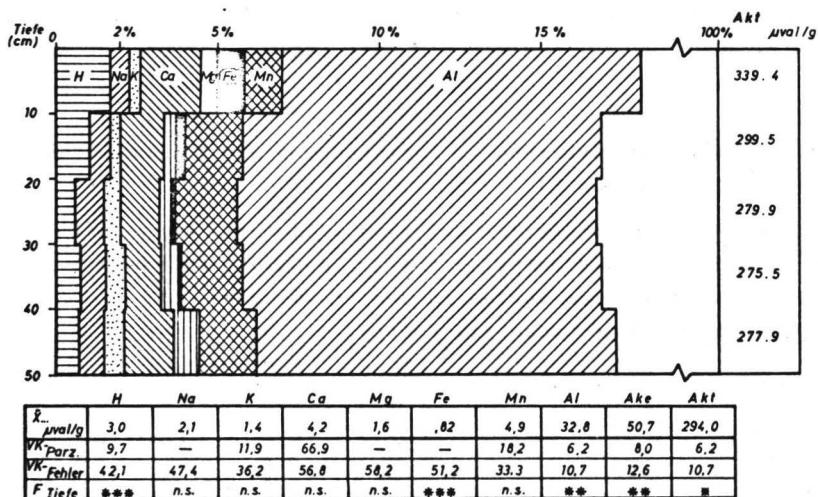


Abb. 14 Anteil der einzelnen Kationen und der effektiven Austauschkapazität an der totalen Austauschkapazität.

Die totale Austauschkapazität (AK_t) nimmt in den ersten 20 cm merklich ab und bleibt dann konstant.

In diesen stark sauren Böden hat die effektive Austauschkapazität (AK_e) eine größere Aussagekraft. Sie erreicht 16-18% der AK_t . Nach ULRICH (1966) entspricht die Differenz zwischen AK_e und AK_t dem beim pH-Wert des Bodens nicht austauschbaren H und Al.

Etwas höher ist der Anteil der AK_e im Oberboden, was auf den höheren Gehalt an organischer Substanz zurückzuführen ist. Die organische Substanz zeigt höhere AK als die Tonfraktion und geringere Bindung von nicht austauschbaren Al-Ionen.

Von den Kationen nimmt Al den überragendsten Anteil an der AK_e ein, Ca und Mg, wie in der Regel auch Na und K, einen sehr geringen. Mn ist merklich vertreten, was in stark sauren Böden zu erwarten ist (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1970). H und Fe, bis 40 cm auch Ca, nehmen mit der Profiltiefe ab, Na, K und Mn zu. Die Unterschiede zwischen den Tiefen sind bei AK_t , AK_e und den Gehalten von H, Fe und Al signifikant.

2.3.4.6 Bioelementvorräte im Auflagehumus und Mineralboden (Tab. 4 und 5)

Wie bei den Bioelementgehalten schon erläutert, wurde bei der Probenahme etwas Material vom A_{eh} Horizont miteinbezogen, was zu höheren Werten in der Trockenmasse und hauptsächlich im Aschenanteil führte.

Tab. 4: Bioelementvorräte im Auflagehumus; Ausgangszustand (VA 1)

Variable (t/ha)	T.Masse	Asche	org.Subs.	C	Si
$\bar{x}..$	101.0	64.6	36.3	22.7	2.91
VK % Parzellen	13.8	19.1	5.3	8.5	16.4
VK % Fehler	22.0	33.6	7.1	6.2	34.3

Bioelement (kg/ha)

	N	P	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
$\bar{x}..$	696	63.3	21.0	83.0	184.5	60	61	591	385
VK % Parzellen	4.0	7.5	23.6	22.4	9.3	25.4	30.6	20.8	23.9
VK % Fehler	8.3	9.4	21.2	23.3	13.0	30.1	21.3	28.1	27.9

In Tabelle 5 sind die Bioelementvorräte im Mineralboden zusammengestellt. Bei allen Elementen außer Na, Ca, Mg, Mn, Al und bei der AK_e sind die festgestellten Unterschiede innerhalb der Tiefen signifikant.

Tab. 5: Bioelementvorräte im Mineralboden;
Ausgangszustand (VA 2)

Element	Gesamt- vorrat 0_50 cm	in Einheit	VK% Parzellen	VK% Fehler	F-Test Tiefe
C	60.23	t/ha	15.2	19.3	***
N	2.9	t/ha	14.9	11.2	***
P _t	916	kg/ha	9.3	5.8	*
P _{Al}	33	kg/ha	48.5	71.7	**
P _{Fe}	148	kg/ha	8.2	24.5	*
P _{Ca}	110	kg/ha	10.8	10.6	***
P _{occl.}	512	kg/ha	6.2	8.7	***
P _{org.}	114	kg/ha	46.1	50.2	*
H	17.8	kg/ha	-	40.2	***
Na	318	kg/ha	-	48.5	n.s.
K	356	kg/ha	18.3	37.7	*
Ca	528	kg/ha	45.5	63.1	n.s.
Mg	125	kg/ha	-	61.7	n.s.
Fe	126	kg/ha	9.7	50.7	**
Mn	880	kg/ha	20.7	34.1	n.s.
Al	1.880	kg/ha	12.2	11.6	n.s.
AK _e	323	kval/ha	13.1	13.4	n.s.

2.4 Düngung

Nach der Bestands- und Bodeninventur erfolgte auf zwei der 4 Parzellen eine Düngung, die beiden anderen dienten als Nullparzellen zum Vergleich (vgl. Abb. 2).

Zur Düngung wurden Stickstoff, Kali, Phosphor und Calcium gegeben. Folgende Düngemittel wurden angewandt:

Düngemittel	Elementgehalt in %	Düngermenge kg/ha	Nährstoffmenge kg/ha
Kalkammonsalpeter ($\text{NH}_4\text{NO}_3 + \text{CaCO}_3$)	23 % N 1/2 Salpeter-N 1/2 Ammon - N	870	200
Rhenaniaphosphat $3(2\text{CaO} \cdot \text{Na}_2\text{O} \cdot \text{P}_2\text{O}_5)$ + $2(\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2)$	26-28 % P_2O_5 zitratlöslich	750	200 - P_2O_5
40 er Kali ($\text{KCl} + \text{MgSO}_4$ + $\text{H}_2\text{O} + \text{NaCl}$)	mindestens 40 % K_2O	406	160 - K_2O
Hüttenkalk	45.0 % CaO	2120	955 - CaO

Stickstoff- und Kalidünger wurden im frühen Frühjahr gestreut (30.-31. März), Kali einen Tag nach der Stickstoffausbringung. Erst nach genügendem Niederschlag wurden dann die Calcium- und Phosphatdünger gegeben (2. Juni).

Das Ausstreuen erfolgte von Hand. Der Sicherheitsstreifen wurde mitgedüngt, um Randwirkungen auf die eigentliche Parzelle auszuschließen.

Die Bioelementzufuhr mit allen Düngemitteln betrug:

Element	N	P	K	Ca
kg/ha	200	ca. 100	ca. 150	ca. 1015
		(ca. 225 P_2O_5)	(ca. 180 K_2O)	(ca. 1415 CaO)

Außer den oben angegebenen Mengen wurden mit den Düngemitteln Si, Mg, Al, Na, SO_4 und Spurenelemente zugeführt.

2.5 Methodik der Flüsse-Messung

2.5.1 Bioelementinput durch Niederschläge

Die Freilandniederschläge stellen einen Input in das Ökosystem dar.

Die Messungen erfolgten mit 6 Regenmessern (Hellmann) auf einer naheliegenden Freifläche (etwa 500 m Entfernung).

3 Paare von Regenmessern wurden etwa 30 m voneinander getrennt aufgestellt; Höhe über dem Boden ca. 1.0 m. Die Auffangfläche jedes Regenmessers war 127.7 cm^2 groß.

Jeweils 1 Regenmesser von jedem Paar wurde für die Niederschlagsmessung, der andere zum Sammeln des Materials für die Wasseranalyse benutzt. Alle Wasserproben wurden zu einer Mischprobe für jeden Monat vereinigt.

Zur Feststellung der Unterschiede zwischen den Regenmessern wurden die Messungen vom Mai 1972 ausgewertet:

Regenmesser	Durchschnitt				Regenmesser VK %
Niederschlag(mm)	66.7	66.1	68.7	67.2	3.0

Die Auffangfläche der Regenmesser wurde jeden Monat mit destilliertem Wasser gewaschen, um Verfälschungen durch Staubansammlung zu vermeiden. Die Messung und Probenahme erfolgte 1-2 Mal in der Woche. Bei jeder Messung wurde die Auffangflasche mit der Niederschlagsprobe entnommen und durch eine andere ersetzt. Dieser kurzfristige Wechsel verhinderte Algenbildung.

Im Winter wurden die Regenmesser durch Plastikeimer, halb im Boden eingegraben, ersetzt, sie sollten als Schneeauffänger dienen (Auffangfläche: ca. 400 cm^2).

Die Monatsmischproben wurden bis zur chemischen Analyse eingefroren.

Von den monatlichen Mischproben der Freilandniederschläge wurden folgende Bioelemente analysiert (Methoden wie bei der Analyse der Gleichgewichtsbodenlösung):

pH : direkt im Niederschlagswasser

$\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe, Al, P, $\text{SO}_4\text{-S}$ und Cl.

Außerdem Gesamt-N (alle N-Formen).

2.5.2 Bioelementfluß_Kronendurchlaß

Die Niederschläge werden größtenteils durch das Kronendach aufgehalten. Sie kommen dann hauptsächlich als Kronentraufe auf den Bestandesboden; ein geringerer Teil als freier Niederschlag. Beide bilden den Kronendurchlaß. Ein weiterer Teil wird als Stammablauf den Boden erreichen, und mit dem Kronendurchlaß den Bestandesniederschlag bilden (MITSCHERLICH 1971). Im Wasserhaushalt der Fichte ist der Stammablauf aber nach NIHLGÅRD (1969), WEIHE (1970), und MITSCHERLICH (1971) wenig bedeutend und wurde in unseren Messungen nicht berücksichtigt.

Für die Kronendurchlaßmessungen wurden 21 Regenmesser (Kunststoffregenmesser; Auffangfläche: 50 cm^2) auf jeder Parzelle in 3 Reihen zu je 7, in gleichem Abstand systematisch über die Fläche verteilt aufgestellt (Abb. 7).

Messung und Leerung der Regenmesser erfolgte 1-2 mal wöchentlich gleichzeitig mit der Messung des Freilandniederschlags. Das Niederschlagswasser der Regenmesser innerhalb einer Parzelle wurde ebenfalls zu einer Mischprobe für jeden Monat vereinigt.

Die Regenmesser wurden jeden 2. Monat mit destilliertem Wasser ausgewaschen. Im Winter wurden 4 Plastikeimer je

Parzelle gleichmäßig und systematisch über die Fläche verteilt; sie dienten zur Schneemessung (Auffangfläche: ca. 400 cm²).

Die Mischproben des Niederschlagswassers wurden bis zur Analyse eingefroren.

Im Kronendurchlaß wurden dieselben Bioelemente nach den Methoden wie im Freilandniederschlag untersucht. Zur weiteren Auswertung siehe Anhang I. Die Varianzanalyse der Niederschlagsmenge (Mai 1972) ergab keine signifikanten Unterschiede zwischen den Parzellen.

2.5.3 Bioelementfluß Nadelfall

Der Streufall ist ein wichtiger Bioelementfluß innerhalb eines Bestandes, mit ihm und der Kronentraufe kehren vom Bestand aufgenommene Bioelemente zum Boden zurück.

Zu seiner Messung wurden je Parzelle 6 Streufänge, systematisch über die Fläche verteilt, aufgestellt. Ihre Auffangfläche war 0.245 - 0.25 m² groß. Sie wurden einmal pro Monat entleert, nicht berücksichtigt wurden Aeste und Zweige (da für Düngerwirkung im ersten Jahr nicht aussagekräftig).

Die Biomasse von jedem Streufang wurde getrocknet (80°C bis zu 48 Stunden) und gewogen. Danach wurden die 3 Proben jeder Meßreihe zu einer Mischprobe vereinigt. 2 Proben je Parzelle kamen somit zur chemischen Analyse.

An jeder Mischprobe wurden die gleichen Bestimmungen wie beim Auflagehumus durchgeführt. Für ihre weitere Auswertung siehe Anhang I. Die Unterschiede zwischen den Parzellen in der Streumenge waren nicht signifikant (Oktober 1971).

2.5.4 Bioelementoutput durch Sickerwasser unter der Wurzelschicht

Einerseits werden Bioelemente mit den Niederschlägen dem Oekosystem zugeführt, andererseits mit dem Sickerwasser aus dem Wurzelraum ausgewaschen. Beide Flüsse geben einen Einblick in die absoluten Bioelementveränderungen des Oekosystems.

Als wichtigste Wurzelschicht wurde die 60 cm mächtige Löß-Buntsandsteinfließerde festgestellt. Beobachtungen zeigten, daß nur vereinzelt tiefer im Buntsandstein Wurzeln vorkamen.

Als Sickerwasser wird das bei 60 cm austretende Wasser angesprochen. In dieser Tiefe wurden Unterdrucklysimeter, wie sie MAYER (1971) beschrieben hat, eingebaut; insgesamt 6, davon 3 in einer gedüngten und 3 in einer ungedüngten Parzelle. Je 3 wurden von einer Grube ausgehend waagrecht in das Profil unter unberührten Boden hangaufwärts eingebaut. Nach der Einbringung der Platten wurden die Gruben zugeschüttet.

Jede Platte war mittels einer PVC-Schlauchleitung mit einer 3 Liter Saugflasche verbunden. Die 3 Flaschen jeder Parzelle waren gemeinsam an einen Unterdruckregler angeschlossen und verbunden mit einem Unterdruckkessel, dessen Unterdruck sobald erforderlich mit einem tragbaren Vakuumgerät neu erzeugt werden konnte.

Der Unterdruck an den Reglern wurde nach den folgenden Ansätzen eingestellt (nach MAYER 1971):

- Saugspannungsmittelwert der 2 Tensiometer, die unmittelbar an den Unterdrucklysimetern eingebracht wurden (60 cm Tiefe), (Wechselnde Werte).
- Höhenverschiedenheit zwischen den Platten und dem Wasserspiegel der Auffangflaschen (konstanter Wert).

- Plattenwiderstand (konstanter Wert).

Die Saugspannung wurde 1-2 mal wöchentlich kontrolliert und nach den Tensiometern neu eingestellt. Ueber weitere Meßmethodik und ihre Genauigkeit siehe MAYER (1971).

Die ganze Lysimeteranlage wurde erst am Vegetationsende 1971 fertig gebaut, also verspätet eingesetzt.

Alle Platten wurden vor ihrer Einbauung mit vorbereiteter Lösung gereinigt. Auf der Düngungsparzelle funktionierte nur 1 Lysimeter, der die Wasserproben zur Analyse lieferte, 2 waren undicht. Auf der ungedüngten Parzelle funktionierten alle 3 Platten, die jeweils anfallenden 3 Wasserproben (monatl. Mischproben) wurden analysiert.

Für das Sickerwasser wurden dieselben Bestimmungsgrößen und Analysenverfahren wie beim Niederschlag (Gesamt-N) und der Gleichgewichtsbodenlösung angewandt.

Der Wasserspannungsverlauf im Boden im Laufe der Versuchszeit wurde außerdem mit zwei Reihen von je 15 Tensiometern in Parzelle 2 verfolgt. In jeder Reihe wurde jede Tiefe (30, 60 und 90 cm) 5 Mal wiederholt. Ihre Mittelwerte wurden dann verwendet.

3. Versuchsergebnisse

3.1 Niederschläge in der Versuchszeit

Die im Laufe des Versuches gemessenen Niederschlagsmengen können aus Abb. 15 entnommen werden. Diese Daten wurden durch die Niederschlagsdaten des benachbarten Orts Ebergötzen (Radolfshausen: 197 m ü.NN, Jahresdurchschnitt und Versuchszeitraum) ergänzt.

Die Differenz zwischen den Werten auf der Versuchsfläche und denen in Radolfshausen im Monat Juni 1971 ist darauf zurückzuführen, daß auf der Versuchsfläche, wie aus der Abbildung hervorgeht, Mainniederschläge in den Monat Juni einbezogen wurden, für April waren nur Werte im Bestand gemessen worden.

In den ersten 5 Monaten des Jahres 1971 sind in der Versuchsumgebung (Radolfshausen) geringere Niederschlagsmengen als in einem normalen Jahr gefallen, wie aus Tab. 6 ersichtlich ist.

Tab. 6: Niederschlagsmengen (mm) in Januar 1971 - Juni 1971

Monat (71)	Niederschläge Radolfshausen	normales Jahr	Diff.	Versuchsfläche Freild. Bestand	
Januar	31.2	54.0	-22.8	-	-
Februar	30.7	43.0	-12.3	-	-
März	11.4	43.0	-31.6	-	-
April	35.7	53.0	-17.3	-	27.2
Mai	37.4	53.0	-15.6	ca. 5.0	ca.1.5
Juni	113.7	61.0	+52.7	141.5	79.1
Summe	260.1	307.0	-46.9	-	-

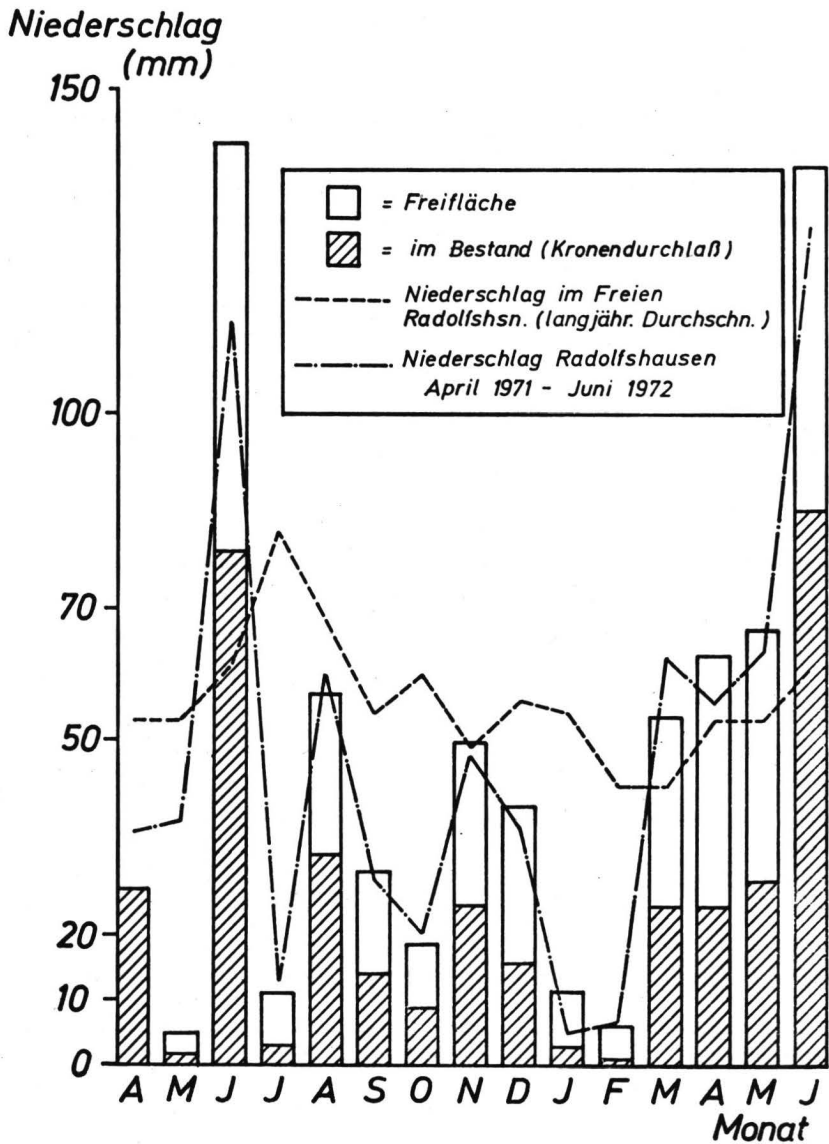


Abb. 15 Niederschlagsverhältnisse in der Versuchszeit

Obwohl der Monat Juni erheblich über der Norm lag, konnte das vorherige Defizit nicht gedeckt werden. Die folgenden Monate des Jahres zeigen ein noch stärkeres Wasserdefizit, hauptsächlich Juli, September, Oktober und Dezember. Auch der August war trockener und nur der November zeigte einen Wert, der sich dem normalen Durchschnitt näherte. Das Ausmaß der von der Norm abweichenden Verhältnisse im Meßzeitraum zeigt die folgende Tabelle.

Tab. 7: Niederschläge des Versuchszeitraumes im Vergleich zu einem normalen Jahr (in mm)

Zeitraum	Radolfs- hausen- Norm.	Radolfs- hausen- Versuchsz.	Diff.	Versuchsfl. (Freifläche)
1971	677	465	-212	466 *
April 71 - Dez. 71	537	392	-145	388 *
Jan. 72 - Juni 72	307	327	+ 20	340
Jan. 71 - Juni 72	984	792	-192	806 *
April 71 - Juni 72	844	719	-125	728 *

* Die Monatswerte, die für die Versuchsfläche fehlten, wurden mit denen des Meßortes Radolfshausen vervollständigt.

Zu dem Niederschlagsdefizit tragen auch die Monate Januar und Februar 1972 bei. März, April, Mai und besonders Juni 1972 zeigen einen Niederschlagsüberschuß.

Im Jahr 1971 betrug das Defizit gegenüber einem normalen Jahr etwa 31%, im Laufe des ganzen Versuches aber (insgesamt 15 Monatenach der ersten Düngung) nur 15%; wird der vorangegangene Mangel von Januar 1971 ab mitberücksichtigt, ca. 20%.

Der Kronendurchlaß im Fichtenbestand ist gegenüber den Freilandniederschlägen stark verringert, im Durchschnitt in den 12 gemessenen Monaten von Juli 71 - Juni 72 auf 48.6%. Die Niederschlagsinterzeption erreichte somit 51.4%

(280 mm), und einschließlich April und Mai, also für die 15 Monate nach der Düngung, etwa 49%.

3.2 Bioelementinput Niederschlag und Bioelementfluß Kronendurchlaß

3.2.1 Bioelementkonzentration im Niederschlagswasser

In Abbildung 16a und 16b sind pH-Wert und Bioelementkonzentrationen im Kronendurchlaß und im Freilandniederschlag im Verlauf der Meßzeit graphisch dargestellt. Im Januar 1972 fielen nur geringe Niederschlagsmengen, so daß Untersuchungen im Kronendurchlaß nicht durchgeführt werden konnten.

Der pH-Wert zeigt in beiden Meßreihen zeitliche Schwankungen. Im Freilandniederschlag betrug das Mittel etwa 4.5 (der Septemberwert, der offensichtlich herausfällt, wird noch erörtert). Höhe und jahreszeitliche Schwankungen entsprechen den von MAYER (1971) im Solling ermittelten Werten. Im Kronendurchlaß stieg der pH-Wert nie über 4.0 und betrug im Mittel etwa 3.3 (siehe auch ULRICH et al. 1973). Das ist hauptsächlich auf die hohe Sulfationenkonzentration zurückzuführen. Nach ULRICH (1968b, 1972c u. d) haben Fichtenbestände eine Filterfunktion gegenüber Aerosolen und Gasen aus der Umweltbelastung durch Industrie und Haushalt besonders für S, was zu stärkerer Anreicherung im Kronendurchlaß als im Freilandniederschlag führt.

Während des ganzen Jahres ist die Konzentration der Elemente im Kronendurchlaß höher; lediglich im September 1971 ist sie bei $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{N}_{\text{org.}}$, der Summe beider, sowie bei P niedriger als im Freilandniederschlag, bei dem organisches Material (Vogelkot und Insekten) angereichert war, worauf die genannten Elemente und ein Anstieg bei K hindeuten.

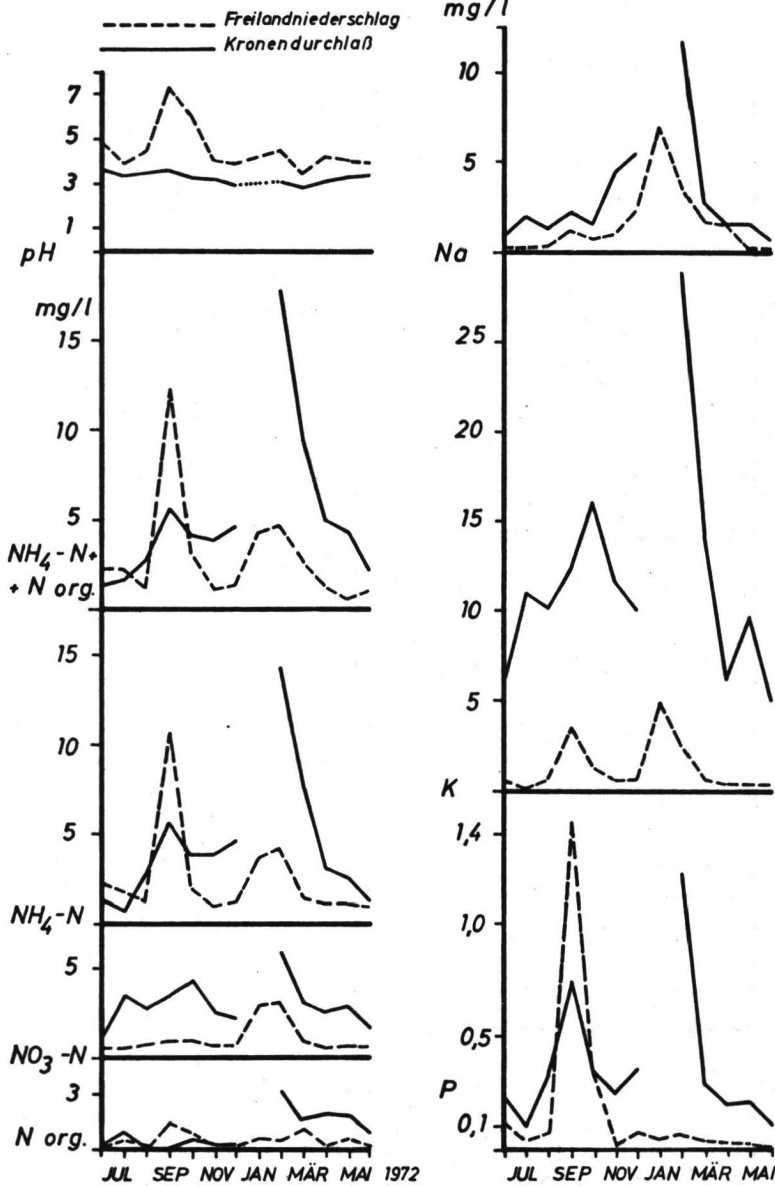


Abb. 16 a Zeitlicher Verlauf des pH und Konzentration einiger Bioelemente im Freilandniederschlag u. Kronendurchlaß.

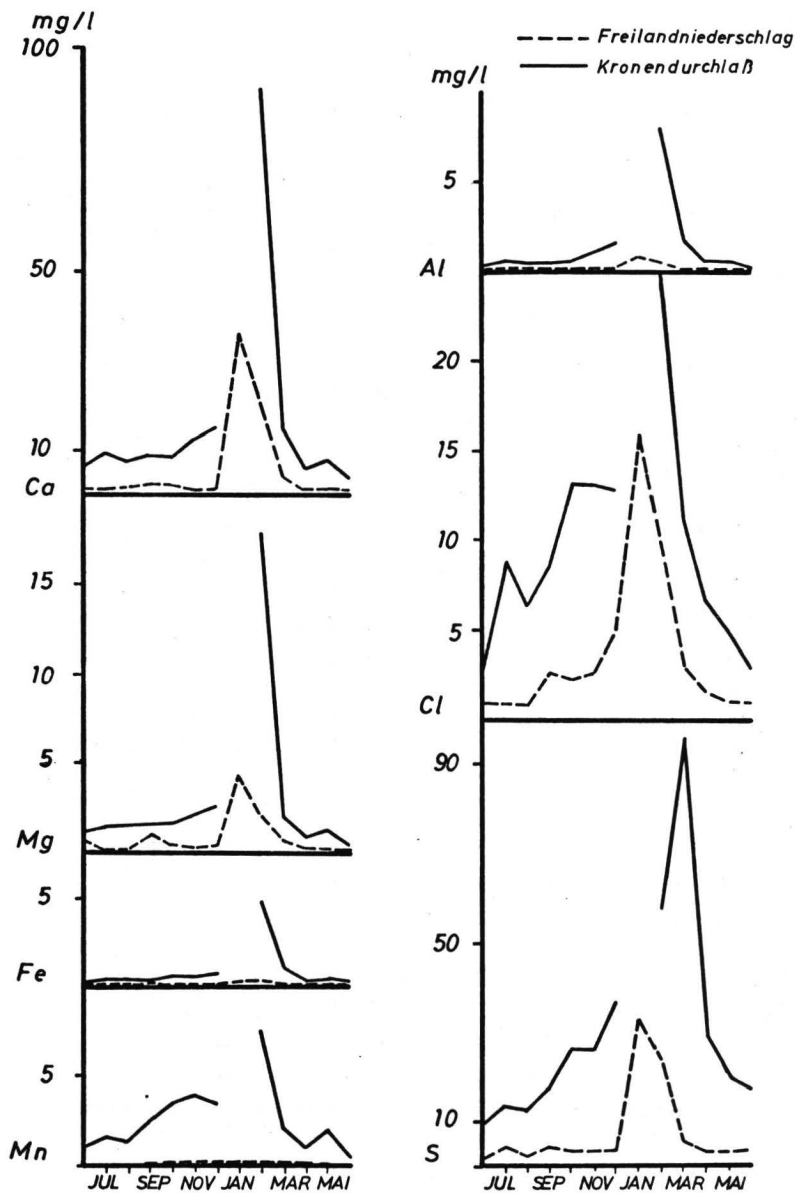


Abb. 16 b Zeitlicher Verlauf der Konzentration einiger Bioelemente im Freilandniederschlag und Kronendurchlaß.

Die höhere Bioelementkonzentration im Kronendurchlaß ist teils durch die Interzeption, hauptsächlich aber durch die Kronenauswaschung, wobei durch den Bestand aufgenommene und dann ausgewaschene, wie auch aus der Umwelt gefilterte Elemente, die Konzentration im Kronendurchlaß erhöhen (ULRICH 1968b).

Die Konzentration im Niederschlag, hauptsächlich im Bestand, war dann sehr hoch, wenn die Niederschlagsmengen gering waren, bei gleichzeitig hoher Interzeption. Ueber den Zusammenhang zwischen Konzentration im Kronendurchlaß und Niederschlagshöhe gibt MAYER (1971) Korrelationswerte für die Summe der Kationen, Summe der Anionen wie auch für den Gesamt-N an.

Die Anreicherung im Kronendurchlaß ist bei den Elementen verschieden, z.B. bei Kalium hoch, bei Na gering. Im Solling waren die genannten Korrelationsergebnisse für K signifikant, für Na nicht (MAYER 1971), darauf wird bei den Bioelementvorräten noch eingegangen.

Die höheren Werte im Januar und Februar, sind teils durch die geringeren Niederschlagsmengen (in Form von Schnee) bedingt, außerdem durch die in der Heizperiode höhere SO_2 -Konzentration in der Luft (ULRICH et al. 1973).

3.2.2 Bioelementtransport mit dem Niederschlagswasser

Tabelle 8 zeigt die Bioelementmengen, die dem Oekosystem durch die Niederschläge (Freifläche) im Laufe der Meßzeit zugeführt wurden. Die Bioelementsumme wurde einmal mit und einmal ohne Juni 1971 (ein Jahr) angegeben, um einen Vergleich mit dem Nadelfall zu ermöglichen (der im Juni 71 nicht gemessen wurde), außerdem noch ohne Januar 72, in dem im Kronendurchlaß Elementkonzentrationen nicht bestimmt werden konnten.

Für September wurden die Werte für K, $\text{NH}_4\text{-N}$, Ges.-N und P (anhand der Werte in Oktober und Dezember) neu geschätzt. Die Werte für Monat Januar müssen mit Vorsicht betrachtet werden, sie können überhöht sein (Verschmutzungen).

Sowohl in der Niederschlagsmenge als auch in den Bioelementvorräten gab es starke Schwankungen zwischen den verschiedenen Monaten. Wie schon erläutert, war der hohe pH-Wert in September durch organisches Material verursacht worden. Der niedrigste pH-Wert kam im März vor, was mit relativ hohen S-Mengen koinzidierte.

In Tabelle 9 sind die Bioelementmengen im Kronendurchlaß als Durchschnitt der 4 Versuchsparzellen angegeben (ohne Januar 1972).

Wie bei den Freilandniederschlägen zeigt der März den niedrigsten pH-Wert und die höchsten S-Mengen. Obwohl im März und April die Niederschlagshöhe nahezu gleich war, ergaben sich große Unterschiede in den Bioelementmengen. Da im Januar und Februar sehr wenig Niederschläge fielen, ist es wahrscheinlich, daß die in diesem Zeitraum im Bestand ausgefilterte Aerosole und Gase im März mit den ersten stärkeren Niederschlägen ausgewaschen wurden. Im Vergleich mit dem Monat November zeigte März höhere Mengen an Wasserstoffionen, S und N ($\text{NH}_4\text{-N}$). Der Grund dafür kann ebenfalls, wie schon erläutert, die höhere Luftverunreinigung durch den Hausbrand im Winter sein.

Die Unterschiede in der Regenmenge sowie bei allen Bioelementvorräten zwischen den Monaten sind signifikant (Anhang I - VA 3).

In Abbildung 17 sind die Summen (in kg/ha) der im gedüngten und ungedüngten Bestand gemessenen Bioelementmengen graphisch dargestellt, zusätzlich sind die der Freilandniederschläge eingezeichnet.

Tab. 8: Bioelementinput mit den Niederschlägen (Freifläche)

Einheit	mm	Bioelemente in kg/ha														
Monat	Nieder- schlag	pH	H	Na	K	NH ₄ -N	NO ₃ -N	G.-N	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Cl	S	P
Juni 71	141.5	4.8	.02	.311	.708	3.13	.81	3.94	2.26	.98	.085	.00	.128	1.30	2.04	.174
Juli	11.2	3.9	.014	.019	.011	.19	.06	.31	.16	.02	.006	.00	.011	.10	.47	.004
Aug.	56.9	4.5	.021	.154	.342	.68	.4	1.08	1.14	.12	.055	.006	.063	.444	1.35	.038
Sept.	29.9	7.3	.00	.359	(1.018) .24	(3.21) .46	.3	(3.94) .9	.75	.3	.043	.012	.027	.763	1.32	(.433) .045
Okt.	18.7	6.0	.00	.144	.243	.41	.19	.77	.43	.08	.01	.021	.013	.424	.69	.062
Nov.	49.6	4.1	.04	.511	.248	.55	.32	.87	.59	.11	.059	.05	.094	1.33	1.62	.007
Dez.	39.8	3.9	.046	.935	.239	.51	.31	.82	.56	.17	.043	.048	.084	1.97	1.47	.028
Jan. 72	11.5	4.2	.008	.8	.564	.43	.35	.85	4.14	.51	.04	.023	.094	1.84	3.8	.004 ¹³⁷
Febr.	6.1	4.6	.002	.209	.148	.26	.19	.48	1.23	.13	.023	.006	.034	.58	1.51	.005 ¹
März	53.3	3.5	.175	.88	.267	.82	.53	1.95	2.29	.36	.092	.00	.101	1.52	2.8	.015
April	63.1	4.2	.041	.909	.158	.76	.41	1.25	.95	.16	.054	.063	.101	1.03	2.2	.013
Mai	67.2	4.0	.069	.155	.168	.81	.52	.94	1.07	.13	.073	.00	.081	.712	2.4	.012
Juni	138.4	3.9	.17	.194	.346	1.38	.9	2.46	1.8	.22	.159	.00	.138	1.37	5.5	.011
Insgesamt	687.2	-	.61	5.58	(4.46) 3.68	(13.13) 11.38	5.3	(19.65) 16.6	17.38	3.3	.74	.228	.877	13.4	27.2	(.94) .552
- Juni 71	545.7	-	.59	5.27	(3.75) 2.97	(10.0) 7.25	4.5	(15.72) 12.72	15.11	2.32	.66	.228	.749	12.09	25.2	(.766) .378
- Jan. 72	675.7	-	.6	4.78	(3.9) 3.1	(12.7) 10.95	5.0	(18.8) 15.75	13.24	2.8	.7	.205	.783	11.6	23.4	(.94) .55

() = durch Vogelkot erhöhte Werte

Tab. 9: Bioelementmengen im Bioelementfluß - Kronendurchlaß; Durchschnitt der 4 Versuchspartzellen

Einheit		mm	Bioelemente in kg/ha													
Monat	Nieder- schlag	pH	H	Na	K	NH ₄ -N	NO ₃ -N	G.-N.	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Cl	S	P
Juni 71	79.1	3.6	.2	.664	4.49	1.05	.94	2.04	4.97	.93	.154	.8	.75	2.32	7.41	.169
Juli	3.1	3.4	.015	.059	.34	.02	.11	.16	.29	.04	.013	.05	.05	.27	.41	.003
Aug.	32.2	3.5	.111	.416	3.27	.89	.89	1.78	2.38	.49	.133	.42	.40	2.01	4.07	.105
Sept.	14.1	3.6	.039	.313	1.73	.78	.49	1.27	1.23	.22	.049	.36	.2	1.21	2.41	.103
Okt.	8.8	3.3	.052	.141	1.41	.33	.37	.74	.75	.15	.052	.31	.14	1.15	2.28	.03
Nov.	25.0	3.2	.161	1.087	2.89	.94	.64	1.6	3.1	.54	.144	.99	.78	3.26	6.45	.061
Dez.	15.7	2.9	.197	.862	1.57	.71	.34	1.06	2.38	.41	.115	.56	.79	2.01	5.72	.055
Jan. 72	ca. 3.0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Febr.	.95	3.1	.009	.108	.27	.14	.06	.22	.85	.17	.045	.07	.23	.25	.634	.011
März	24.5	2.8	.397	.663	3.44	1.88	.79	3.07	3.68	.48	.251	.51	1.33	2.76	23.24	.069
April	24.3	3.1	.187	.378	1.54	.78	.62	1.81	1.39	.22	.096	.25	.44	1.59	7.01	.046
Mai	28.5	3.3	.146	.425	2.7	.72	.8	2.03	2.22	.37	.131	.58	.54	1.33	5.62	.055
Juni	85.6	3.4	.355	.518	4.2	1.17	1.39	3.28	3.2	.45	.253	.45	.69	2.55	9.1	.088
Insgesamt	344.6	-	1.87	5.63	27.8	9.4	7.4	19.1	26.4	4.5	1.44	5.35	6.33	20.7	74.35	.8
- Juni 71	265.6	-	1.67	4.97	23.35	8.35	6.4	17.0	21.5	3.55	1.28	4.55	5.89	18.4	66.9	.63

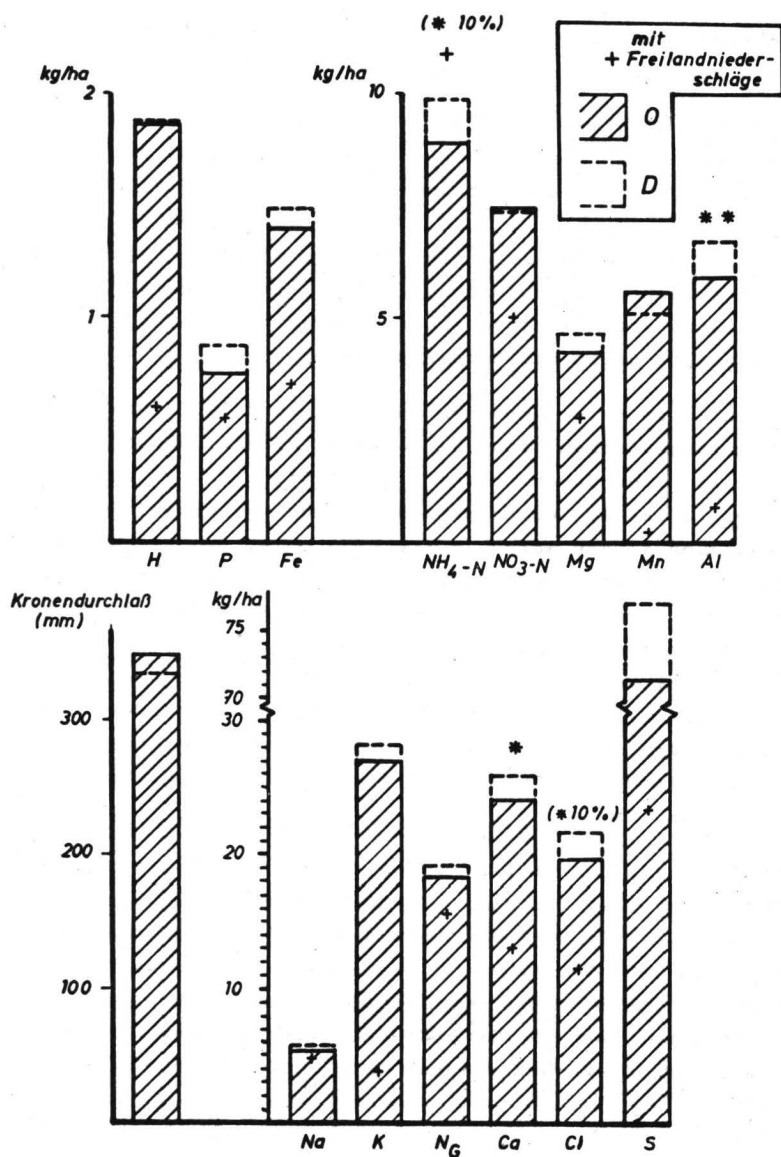


Abb. 17 Bioelementmengen - Kronendurchlaß
O = ungedüngte Parzellen, D = gedüngte Parzellen

Alle Bioelementmengen, außer bei $\text{NH}_4\text{-N}$, zeigten im Bestand höhere Werte als im Freilandniederschlag.

Werden die Bioelementmengen vom Kronendurchlaß auf die der Freilandniederschläge (Tabellen 8 und 9) bezogen, ergibt sich für die Kronenauswaschung der Elemente die abnehmende Reihenfolge: Mn, Al, K, S, H, Fe, Ca, Cl, Mg, $\text{NO}_3\text{-N}$, P, Gesamt-N und Na. Bei letzterem besteht praktisch kein Unterschied zwischen Kronendurchlaß und Freilandniederschlägen. $\text{NH}_4\text{-N}$ zeigt sogar geringere Werte unter dem Bestand, was auf Aufnahme durch die Nadeln hinweist.

Bei ähnlichen Untersuchungen in Neuseeland (auf Böden aus vulkanischen Aschen) fand WILL (1959) höhere K- und P-Mengen im Kronendurchlaß von Pinus radiata und Pseudotsuga menziesii, was er der Kronenauswaschung zuschrieb. Die ausgewaschenen Mengen waren im Kronendurchlaß im Sommer und hauptsächlich im Herbst höher als im Winter und Frühling, was er mit intensiverem pflanzlichen Stoffwechsel im Sommer und absterbenden Nadeln im Herbst erklärte. Bei Ca waren die Mengen im Kronendurchlaß nur wenig höher als im Freilandniederschlag, Na war dagegen hauptsächlich Bestandteil der Niederschläge, obwohl es Anzeichen gab, daß die Auswaschung wiederum vom Nährstoffangebot des Standorts abhängig sein konnte.

Auch MAYER (1971) gab bei Buchen im Solling höhere Mengen im Kronendurchlaß als im Freilandniederschlag an, K und Mn zeigten ebenfalls im Verhältnis die größten Anreicherungen, Al dagegen eine Verminderung. S zeigt gegenüber den Sollingwerten für Buche in unserem Fichtenbestand eine stärkere Anreicherung, was auf die stärkere Filterwirkung dieser Baumart für SO_2 zurückzuführen ist (ULRICH 1968 b).

3.2.3 Düngungseffekt (Abb. 17)

(Für die Auswertung siehe Anhang I - VA 3)

Der Konzentrationsunterschied zwischen gedüngten und ungedüngten Parzellen ist nur bei Mn signifikant (5%) und ist teils auf vorhandene Parzellenunterschiede zurückzuführen, ein Düngungseffekt ist nicht auszuschließen. Der durch die Kalkung erhöhte pH-Wert im Auflagehumus verringerte wahrscheinlich die Mn-Mobilität (siehe Boden).

Zwischen den Monaten zeigen sich signifikante Konzentrationsunterschiede bei allen Bioelementen und dem pH. Ueber diese starken Schwankungen zwischen den Monaten bei entsprechenden Untersuchungen im Solling berichtete auch MAYER (1971). Die Interaktion ist nicht signifikant.

Die gedüngten Flächen zeigen einen etwas verringerten Kronendurchlaß (nicht signifikant), alle Bioelementmengen mit Ausnahme von Mn dagegen einen Anstieg, der aber nur bei Al und Ca signifikant ist (Abb. 17). Eine gering gesicherte Zunahme (10%) zeigt auch Cl, außerdem $\text{NH}_4\text{-N}$, dessen Vorräte jedoch trotz Zunahme geringer bleiben als im Freilandniederschlag.

3.3 Bioelementfluß Nadelfall

3.3.1 Streumengen

In Abbildung 18 sind die Mengen des Nadelfalls und die absolute Streuung zwischen den 4 Parzellen für die Monate im Zeitraum Juni 1971 - Juni 1972 dargestellt. Wie erwähnt wurden nur Nadeln und Feinteile berücksichtigt. Diese bilden nach DIETRICH (1965) für 66-81 Jahre alte Bestände (Erzgebirge; auf verschiedenen Standorten, II-IV Bonität) zwischen 74.5-95.7% der gesamten Streu (der Rest sind Zweige).

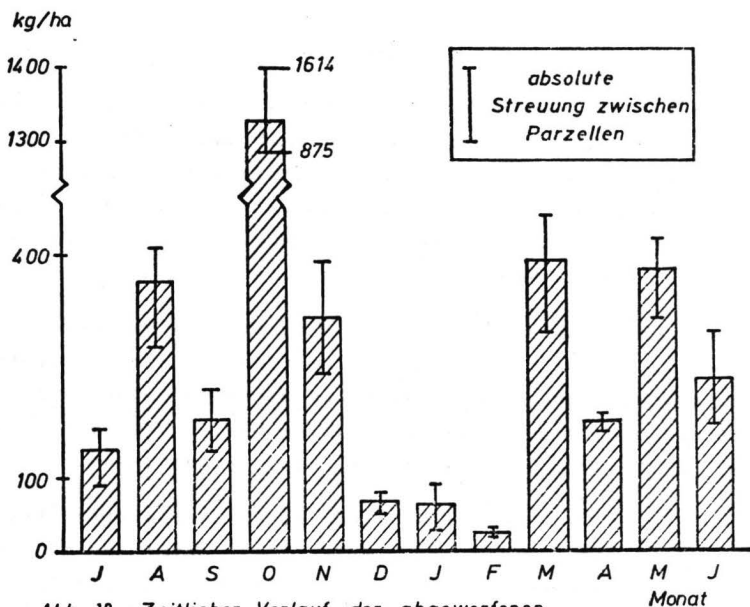


Abb. 18 Zeitlicher Verlauf der abgeworfenen
Nadelmasse - Fichtenreinbestand

In unserem Untersuchungsjahr fielen insgesamt (aufgerundet) 3.660 kg/ha. Dieser Wert ist, da Zweiganteile nicht einbezogen sind (bei allerdings auch besserer Bonität) höher als die Werte, die von DIETRICH (1965), bzw. für ungedüngte Flächen im Schwarzwald von HAUSSER und WITTICH (1969) angegeben wurden. Sie liegen allerdings im Schwankungsbereich der gedüngten Parzellen letzterer.

Die Streumengen zeigten im Verlauf des Jahres eine unregelmäßige Verteilung. Die weitaus höchsten fielen im Oktober, dann im August und November, sowie im März und Mai, also im Herbst und Frühling. Am geringsten waren sie im Winter.

Die Verteilung des Streufalls im Laufe des Jahres stimmte mit dem Trend der Untersuchungen der genannten Verfasser überein. Nach DIETRICH ist es ein typischer Verlauf mit

Maxima im Frühling parallel zur Entwicklung junger Triebe (höherer Anteil grüner Nadeln) und im Herbst bei beginnender Vegetationsruhe mit Abwurf von alten, braunen Nadeln. Außerdem ist die Streufallmenge noch witterungsbedingt. Den Zusammenhang zwischen dem Jahresrhythmus des Streufalls, hauptsächlich des Nadelfalls, und dem Vegetationsrhythmus kann man auch aus den Untersuchungen von WILL (1959) in Neuseeland für Pinus radiata, Pinus nigra, Pseudotsuga menziesii und Larix decidua entnehmen, allerdings durch die geringere Ausprägung der Jahreszeiten für die immergrünen Koniferen etwas gemildert.

3.3.2 Bioelementgehalt in der Nadelstreu

In Abbildung 19a und b sind Asche- und Bioelementgehalt der Streu in % der Trockensubstanz im Laufe der Meßzeit dargestellt. Alle Variablen zeigen im Verlauf des Jahres große Schwankungen. Die zeitlichen Gehaltsunterschiede von Ca, Mn, Mg und Si stimmen in der Tendenz mit denen der Asche überein, bei N und P verlaufen sie entgegengesetzt, d.h. den höchsten Aschewerten stehen geringe N- und P-Gehalte gegenüber, was mit den Befunden von DIETRICH (1965) und HAUSSER und WITTICH (1969) übereinstimmt. Letztere stellten bei älteren Nadeln einen niedrigeren N- und P-Gehalt fest. Der höhere Anteil älterer Nadeln in der Herbststreu verursacht also eine Erniedrigung der N- und P-Gehalte gegenüber Monaten, bei denen ein höherer Anteil grüner, jüngerer Nadeln am Streufall beteiligt ist.

Insgesamt lagen die Bioelementgehalte der Nadelstreu im Bereich der Werte, die für die Bestände im Erzgebirge und Schwarzwald angegeben wurden. Bemerkenswert höher gegenüber den Angaben bei HAUSSER und WITTICH (1969) liegen in unserem Versuch Asche- und teils auch Si-Gehalt. Bei Na sind die Werte für November 1971 und Juni 1972 sehr hoch. Bei Fe ist der Verlauf ähnlich wie bei N und P, niedrigste Gehalte

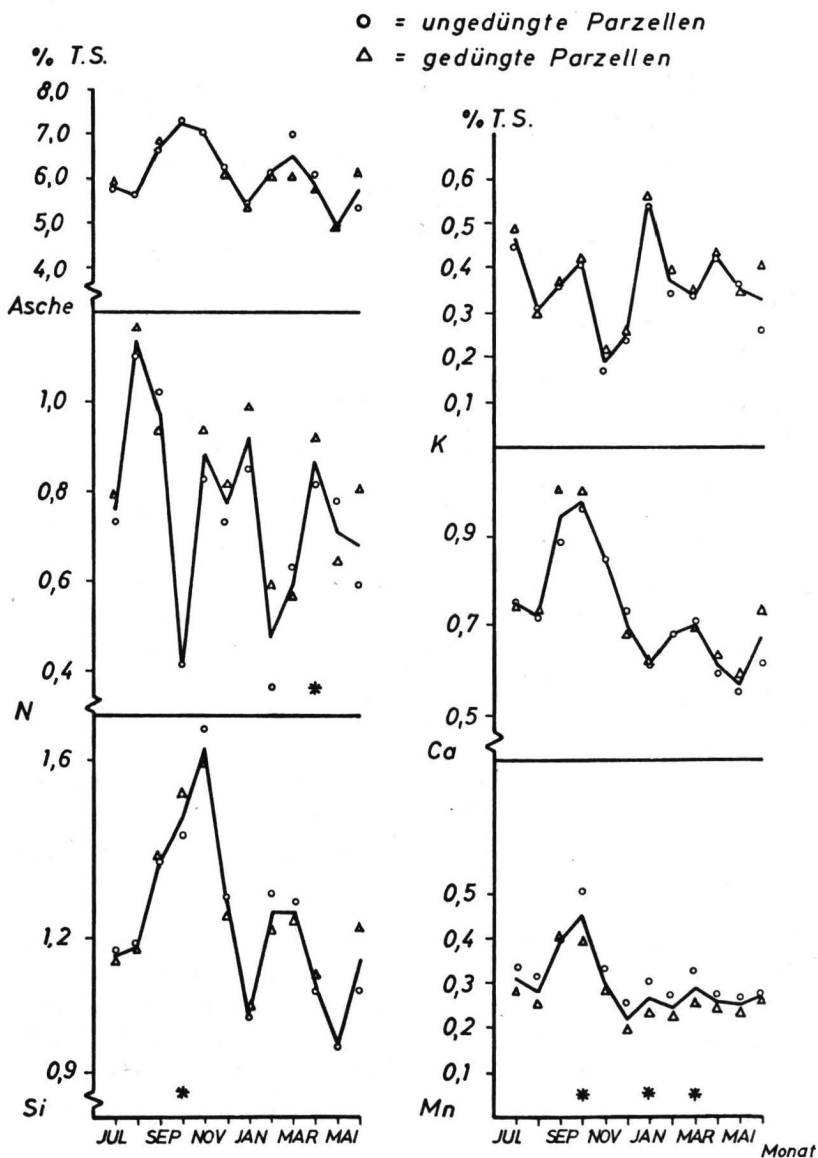


Abb. 19a Zeitlicher Verlauf des Asche- u. Bioelementgehaltes in der abgeworfenen Nadelmasse.

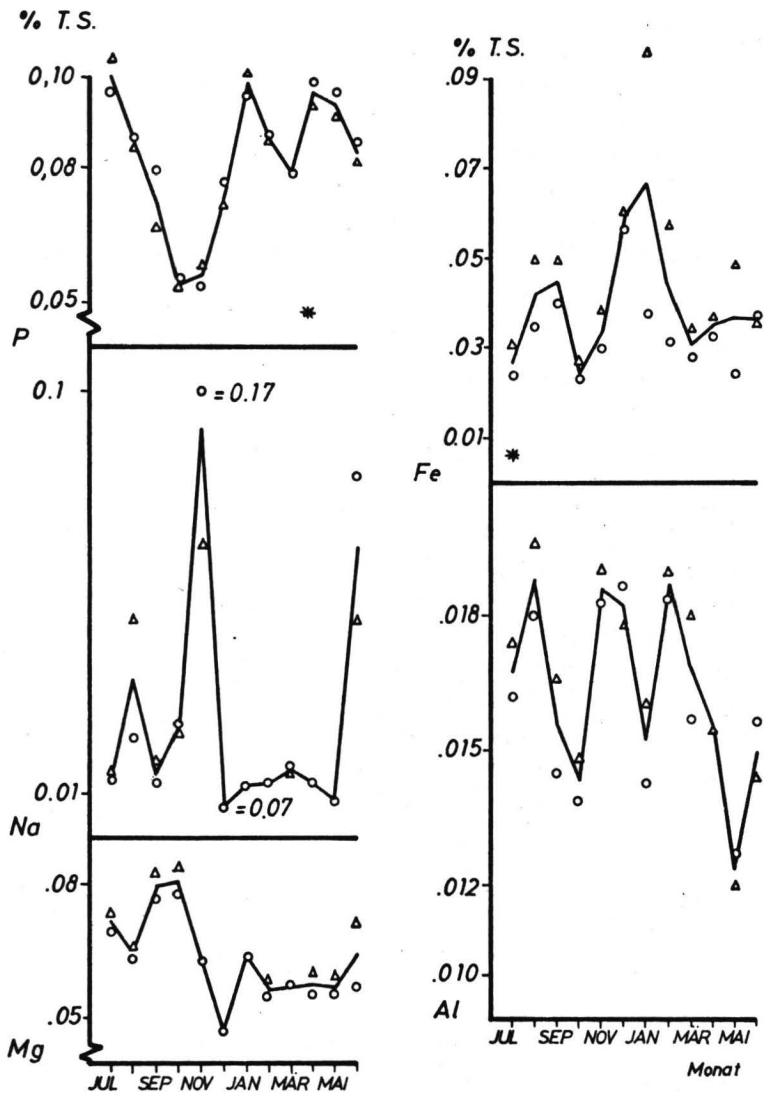


Abb. 19 b Zeitlicher Verlauf des Bioelementgehaltes in der abgeworfenen Nadelmasse.

fallen mit höchsten Aschewerten zusammen und umgekehrt. Die Al-Werte zeigen bis zum Winter 71/72 etwa denselben Verlauf wie N und Fe und entgegengesetzten wie die Asche. Umgekehrt ist dies der Fall von diesem Zeitraum an bis Versuchsende, wo auch der Gehalt in den ungedüngten Parzellen höher wird als in den Düngungsparzellen.

3.3.3 Bioelementtransport im Nadelfall

In Tabelle 10 sind die monatlichen Streu- und Bioelementmengen zusammengestellt. Sowohl bei den Streumengen als auch bei den Bioelementgehalten wurden in der Meßzeit teils erhebliche monatliche Schwankungen beobachtet. Nach der Verrechnung ergaben sich diese auch für die Bioelementmengen, waren aber geringer.

Insgesamt liegen die Bioelementmengen im Bereich der von DIETRICH (1965) für Nadeln und Streufall angegeben wurde, N im unteren, K im mittleren, P und Ca im oberen Bereich, während die Mg-Mengen darüber lagen. Gegenüber den an ungedüngten Flächen im Schwarzwald von HAUSSER und WITTICH (1969) ermittelten Werten liegen die Mengen in der Nadelstreu bei N darunter, bei P in derselben Höhe und bei K und Ca darüber, gegenüber den ungedüngten Flächen liegt Ca noch innerhalb der angegebenen Bereiche.

3.3.4 Düngungseffekt

(Für die statistische Auswertung siehe Anhang I - VA 2).

In der Abbildung 19a und b sind auch die Bioelementgehalte für gedüngt und ungedüngt gesondert angegeben. Bei K, N, Mg, Fe und Al liegen die Werte in den gedüngten Parzellen in fast allen Monaten höher, bei Mn niedriger als in den ungedüngten Parzellen.

Tabelle 10: Bioelementmengen im Bioelementfluß - Nadelfall; Durchschnitt der
4 Versuchsparzellen (kg/ha)

Monat	Strau- menge	Asche	N	P	Si	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
Juli 71	137.7	8.0	1.06	0.14	1.6	0.02	0.64	1.02	0.1	0.42	0.04	0.02
Aug.	363.7	20.6	3.95	0.31	4.29	0.12	1.09	2.62	0.24	1.05	0.15	0.07
Sept.	176.9	11.84	1.74	0.13	2.43	0.03	0.64	1.68	0.14	0.71	0.08	0.03
Okt.	1330.7	96.33	5.51	0.72	19.48	0.33	5.47	2.93	1.06	6.24	0.33	0.19
Nov.	315.1	22.11	2.74	0.17	5.17	0.31	0.59	2.66	0.2	0.98	0.1	0.06
Dez.	68.2	4.22	0.54	0.05	0.87	0.005	0.17	0.49	0.03	0.16	0.04	0.01
Jan. 72	64.5	3.45	0.59	0.06	0.65	0.01	0.36	0.39	0.04	0.18	0.03	0.01
Febr.	26.2	1.59	0.11	0.02	0.33	0.003	0.1	0.18	0.015	0.07	0.01	0.005
März	390.8	25.7	2.39	0.31	4.96	0.06	1.33	2.74	0.22	1.16	0.12	0.065
April	173.2	10.24	1.50	0.17	1.9	0.02	0.74	1.05	0.10	0.45	0.06	0.03
Mai	376.9	18.58	2.6	0.36	3.6	0.04	1.36	2.16	0.22	0.96	0.15	0.05
Juni	232.9	13.9	1.64	0.19	2.78	0.13	0.69	1.64	0.16	0.62	0.08	0.03
Insgesamt	3656.9	232.5	24.4	2.6	48.1	1.08	13.2	29.6	2.53	13.0	1.19	0.57

Gesichert war die Steigerung in 1971 bei Fe (Juli), Si (Oktober) und die Minderung bei Mn (Oktober), in 1972 die Steigerung bei N (April) und Minderung bei P (April) und Mn (Januar und März) (die Monate wurden gesondert ausgewertet). Für den gesamten Zeitraum waren die Unterschiede nicht signifikant. Die Gesamtbioelementmengen der gedüngten und ungedüngten Parzellen sind in Abbildung 20 graphisch dargestellt.

Trockensubstanzmenge sowie Aschenanteil sind in den Düngungsparzellen geringer als in den ungedüngten. Diese Unterschiede in der Trockensubstanzmenge sind im Oktober und November 1971 signifikant, müssen aber wohl auf Bestandesunterschiede zurückgeführt werden. P_1 , P_2 (ungedüngt) und P_3 (gedüngt) mit höherer Baumzahl zeigen erheblich höheren Streufall (Konkurrenzwirkung) als P_1 (gedüngt) mit geringerer Baumzahl je Fläche, wo der geringste Streufall festgestellt wurde (nicht dargestellt).

Der festgestellte Unterschied in der Trockensubstanzmenge zwischen ged. und unged. Parzellen wurde deutlich geringer bei den Bioelementmengen aufgrund der höheren Bioelementgehalte auf den gedüngten Parzellen. Das war in erster Linie bei N, K, Fe und Al zu bemerken, traf aber auch noch zu bei Ca, Mg und P, bei Na, Mn und Si blieb der Unterschied in etwa gleich. Gesichert werden konnte nur der Unterschied für die N-Vorräte im Monat Juni 1972.

Aus den langjährigen Versuchen von DIETRICH (1965) und HAUSSER und WITTICH (1969) ist zu entnehmen, daß eine Düngung in Bioelementgehalt und die Streufallmenge erhöht, und damit auch zu einer Erhöhung der gesamten Bioelementmengen führt, die auf den Boden fallen. Das war in diesem Versuch im 1. Jahr nach der Düngung insgesamt nicht festzustellen. Es gab aber (Abb. 20) Anzeichen auf eine Erhöhung der Bioelementvorräte in den gedüngten Parzellen.

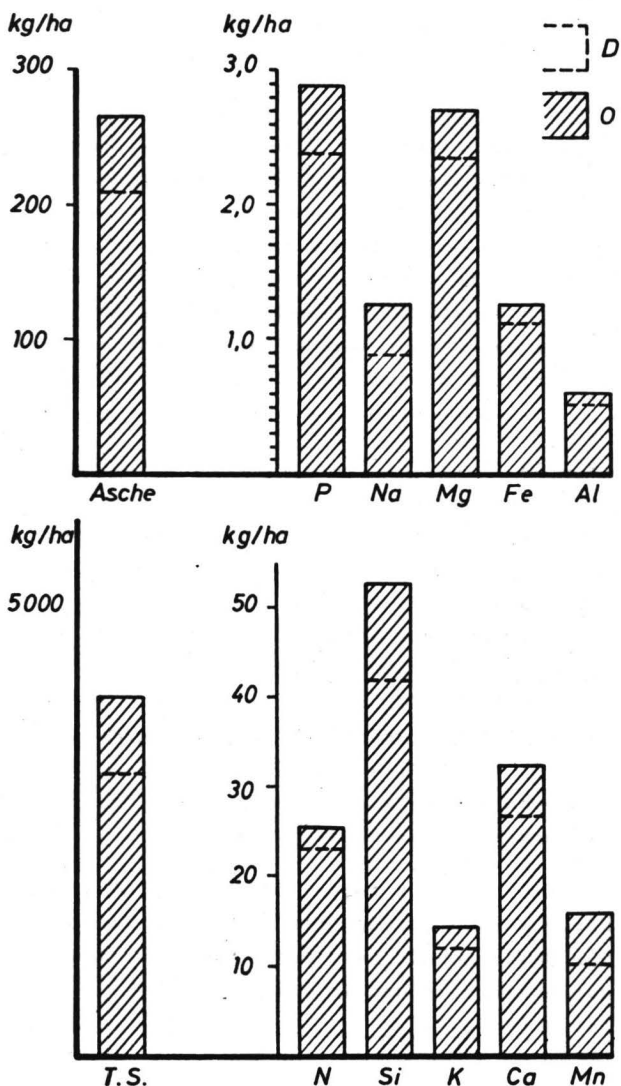


Abb. 20 Bioelementmengen im Streufall eines Jahres

O = ungedüngte Parzellen
D = gedüngte Parzellen

3.4 Bioelementoutput mit dem Sickerwasser

3.4.1 Wasserspannungsverlauf im Boden

Abbildungen 21, 22 und 23 zeigen den Wasserspannungsverlauf (Tensiometerwerte in mm Quecksilbersäule) im Boden in 30 bzw. 60 und 90 cm Tiefe und die entsprechenden Niederschläge (Abb. 21).

Sickerwasser konnte nur im Juni 71 und Juni 72 festgestellt werden. Das ist durch die geringen Niederschläge zu erklären, die mit etwa 546 mm (Juli 71 - Juni 72) geringer als im normalen Jahr waren, die Interzeption war demgegenüber mit 280 mm sehr hoch. BÜHLER (1918) gibt, unabhängig von der Niederschlagsmenge, eine konstante Interzeption pro Jahr für die Fichte von 300 mm an. Dieser Wert stimmt mit unserem Ergebnis nahezu überein und ist demnach bei der Fichte als normal zu betrachten.

Im Harz (1948 - 53) liegt die gesamte Verdunstung der Pflanzendecke (Evapotranspiration) für die Fichte bei etwa 580 mm (BENECKE 1973). Auf unserer Fläche kann dieser Wert sogar höher sein, da es ein Sonnenhang mit einer höheren Durchschnittstemperatur ist und sich der Bestand im schwachen Baumholzalter befindet. Aus diesen Zahlen kann der Verbrauch durch die Fichte auf etwa 300 mm (ohne hierfür die Interzeption zu berücksichtigen) für ein Jahr geschätzt werden. Daraus läßt sich folgern, daß die Niederschlagsmenge im Bestand im Meßjahr (Juli 71 - Juni 72) unter dem Bedarf der Fichte lag. Hieraus ist es auch verständlich, daß Sickerwasser kaum vorhanden gewesen sein konnte.

In trockenen Zeiträumen, im August 1971 wie auch im Oktober desselben Jahres wurden Bodenproben (20-30 cm Tiefe) entnommen und ihr Wassergehalt bestimmt. Im August (24.8.) war der Wassergehalt 8.4% und im Oktober (7.10.) 8.8% des Trockengewichtes (Boden).

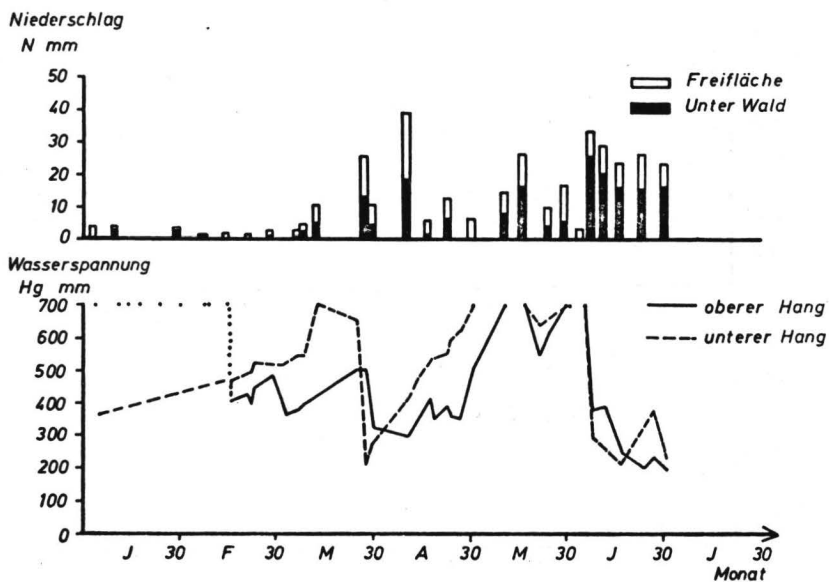
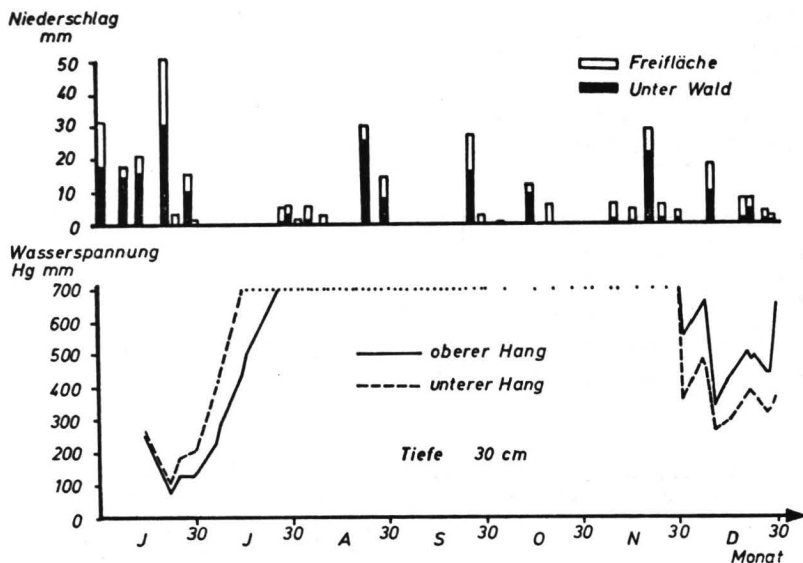


Abb. 21 Zeitlicher Verlauf der Niederschläge und der Wasserspannung im Boden in 30 cm Tiefe.

Wasserspannung
Hg mm

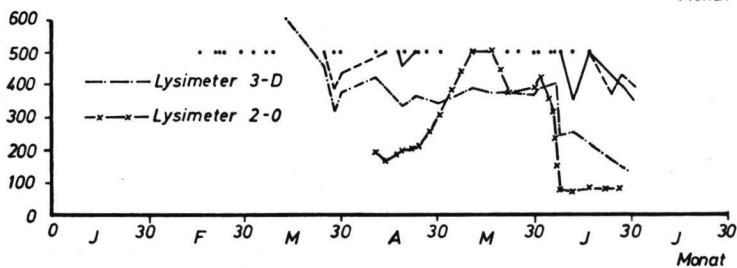
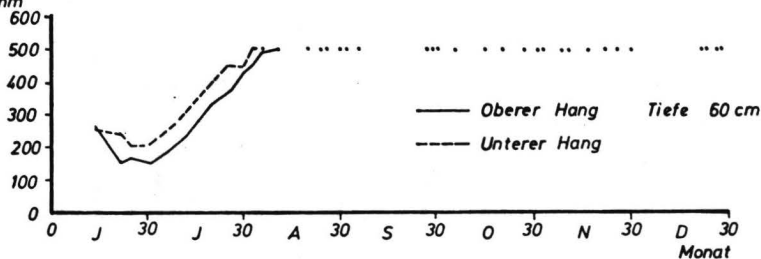


Abb. 22 : Zeitlicher Verlauf der Wasserspannung im Boden in 60 cm Tiefe.

Wasserspannung
Hg mm

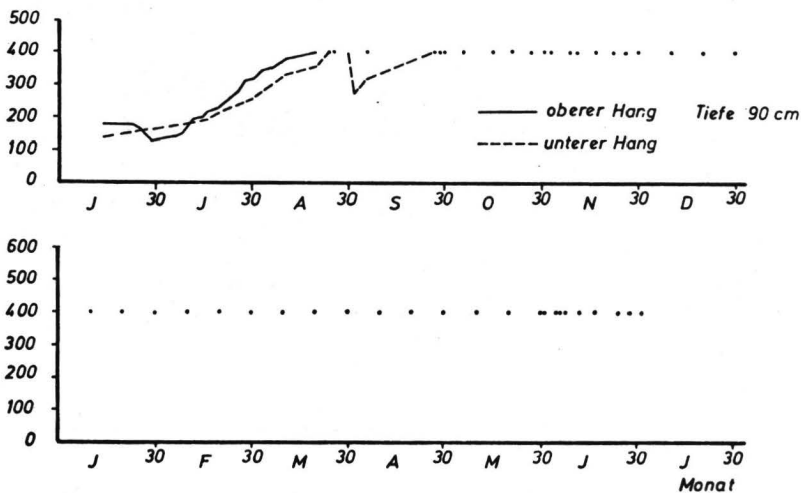


Abb. 23 : Zeitlicher Verlauf der Wasserspannung im Boden in 90 cm Tiefe.

8.8% des Bodengewichtes entsprechen 12.5% des Volumens und liegen somit anhand der pF-Messungen (Abb. 9) innerhalb der Feldkapazität (die nutzbare Feldkapazität geht in diesem Boden von ca. 4.0 bis ca. 20 Vol. %). Damit Sickerwasser bei 60 cm entstehen konnte, mußte es seit dem 7. Oktober dann mindestens 45 mm geregnet haben, was ohne Wasserverbrauch (Evapotranspiration) Ende Dezember 1971 der Fall war (etwa 50 mm im Bestand). Bei weiteren Niederschlägen sollte Sickerwasser entstanden sein.

Der sehr trockene Winter (Januar und Februar = 4 mm im Bestand) und der Bodenfrost ließen in diesen Monaten kein Sickerwasser zu. Erst im März konnten 25 mm Niederschläge im Bestand zur Sickerwasserbildung führen.

Die Tensiometer zeigen es auch an. Eine vertikale Wasserbewegung hat im März stattgefunden. Da im April der Wasserverbrauch der Fichte allmählich beginnen sollte, hat dieses sicherlich dazu beigetragen, daß die Versickerung trotz der gefallenen Niederschläge (April 24 mm, Mai 29 mm im Bestand) begrenzt wurde. Außerdem muß berücksichtigt werden, daß noch ein großer Teil der Grobporen einen Durchmesser von 10-50 μm zeigen, also langsam dränend sind. So ist erst im Juni 1972, bei 86 mm Niederschlag im Bestand, eigentliches Sickerwasser aufgetreten. Das kann aus den Tensiometerwerten sowie auch aus den Lysimetermessungen entnommen werden.

Die Lysimeter konnten im möglichen Vakuumbereich (bis 0.8 atm) erst im Juni auf der gedüngten Parzelle (P-3) etwa 8 mm auffangen und auf der ungedüngten (P-2) etwa 1.4 mm.

Hieraus können wir folgendes schließen:

Nach der Düngung im März 1971 ist durch die hohen Niederschläge im Frühjahr desselben Jahres Sickerwasser entstanden. Diese kaum mehr als 3 Wochen währende vertikale Wasserbewegung hat sicherlich auch leicht lösliche Salze ($\text{NO}_3\text{-N}$, K) aus den Düngern mitgeführt. Die Niederschläge fielen jedoch in

der Zeit des höchsten Wasserverbrauchs der Fichte, so daß sicherlich die Sickerwassermenge verringert wurde (die Lysimeteranlage war zu diesem Zeitpunkt noch nicht eingebaut). Der relativ hohe Grobporenanteil der ersten 40-60 cm ließ so eine gewisse Wanderung der löslichen Salze zu. Bis zum Frühjahr 1972 gab es dann kein Sickerwasser. Aus Tensiometer- und Lysimetermessungen kann geschlossen werden, daß die Sickerwasserbewegung bis Versuchsende gering geblieben ist.

3.4.2 Bioelementkonzentration und -mengen im Sickerwasser; Juni 1972

Die Bioelementkonzentration im Sickerwasser ist für den Monat Juni 1972 der Abbildung 24 zu entnehmen (Auswertung siehe Anhang I).

Aus ihr geht hervor, daß im Sickerwasser der gedüngten gegenüber dem der ungedüngten Parzellen die Konzentration an H, Na, $\text{NH}_4\text{-N}$, Gesamt-N, Ca, Fe, Mn, Al und Cl höher, bei K, Mg, S und P niedriger war. Hauptsächlich bei den mit Kalkammonsalpeter gedüngten Parzellen ist der Konzentrationsanstieg bei $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, Gesamt-N und Ca als Düngungseffekt zu deuten. Da Wiederholungen in der gedüngten Parzelle fehlten, war eine statistische Sicherung nicht möglich.

Die $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration für die ungedüngte Fläche war mit 0.02 mg/l sehr gering ($\text{NH}_4\text{-N}$ war nicht zu messen). Nach KREUTZER und WEIGER (1974) schwankte die $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration des Sickerwassers in 1.2-1.5 m Tiefe unter ungedüngten älteren Kiefern und Fichte (Böden: Podsol-Braunerde für Kiefer und Fichte; Humus-Eisenpodsol für Kiefer; Niederschläge um 670 mm) zwischen 0.2-5 mg/l (Saugkerzen).

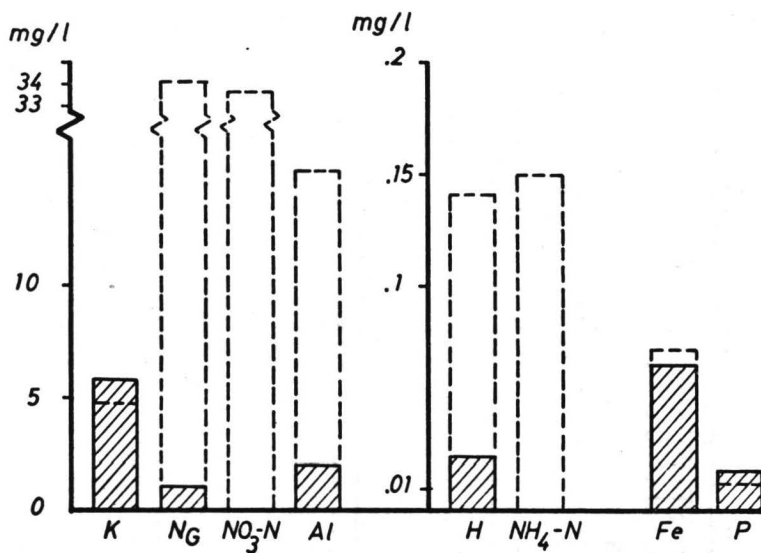
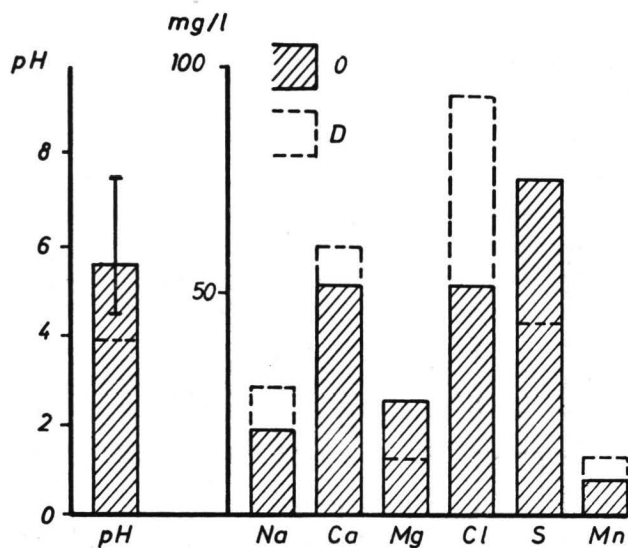


Abb. 24 pH und Bioelementkonzentration des Sickerwassers bei 60cm Tiefe ; Juni 1972

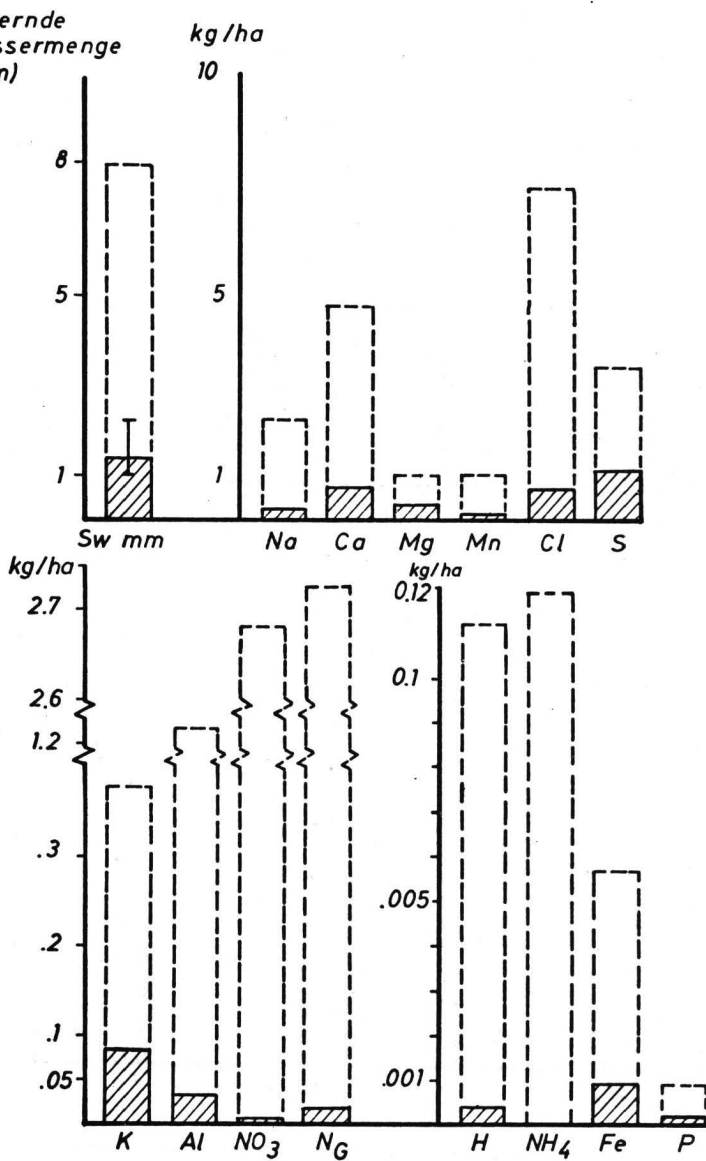


Abb. 25 Bioelementmengenoutput mit dem Sickerwasser - 60 cm Tiefe; Juni 1972

In der gedüngten Parzelle stieg die $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration auf 34 mg/l ($\text{NH}_4\text{-N}$ blieb mit 0,15 mg/l sehr gering), Abb. 24. Unter Kiefer (sehr lockerer Mittel- bis Grobsand, Humus-Eisenpodsol; 650 mm) fanden KREUTZER und WEIGER (1974) für höhere Kalkammonsalpeterdüngergaben (300 kg/ha) ähnliche Werte, 10-30 mg/l, was schon im zweiten Monat nach der Düngung zu messen war und über 1 Jahr andauerte. Bei geringerer Düngergabe (100 kg/ha) lag die Konzentration um 9 mg/l und war nur während einer Vegetationsperiode nachzuweisen. Unter Fichte (schwach sandiger Lehm; Podsol-Braunerde; 685 mm) konnten sie auch schon im 2. Monat nach der Düngung (150 und 300 kg/ha) höhere $\text{NO}_3\text{-N}$ Konzentration im Sickerwasser messen (um 10 mg/l), was bis über ein Jahr andauerte und nach 7 Monaten Werte über 30 mg/l bis um 40-50 mg/l erreichte.

Auffallend ist die geringere K-Konzentration im Sickerwasser bei den mit K gedüngten Parzellen. Es kann ein K-Eintausch, vorwiegend gegen Al, stattgefunden haben, wobei das ausgetauschte Al dann durch Hydrolyse erhöhte H-Ionen-Konzentration verursachte (pH-Absenkung).

Na (wird leicht ausgetauscht und ausgewaschen) ist teils durch Düngung zugeführt, teils kann es auch im Boden gegen Düngungskationen ausgetauscht worden sein. Die höhere Konzentration an Fe und Mn in der gedüngten Parzelle ist als Folge der pH-Absenkung durch die K-Düngung (40er Kali) zu verstehen.

Cl wird schneller ausgewaschen als SO_4 , die nach unten verlagerte Kationenmenge wird vorwiegend von Cl-Ionen begleitet. Die Zufuhr von Cl mit der Düngung (40er Kali) führt deshalb zu einer Verringerung der S-Auswaschung.

Abbildung 25 zeigt die Bioelementmengen, die im Sickerwasser in 60 cm enthalten waren. Die Wassermenge pro Flächeneinheit war in der gedüngten Fläche viel größer, und entsprechend höher waren auch die Bioelementmengen. Der in der Düngungs-

parzelle höhere Output an Bioelementen, z.B. an Al, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NH}_4\text{-N}$, Gesamt-N, H, Na, Cl und Ca ist als Düngungseffekt anzusprechen, bei Mn, Fe und P durch die geringen Unterschiede nicht aussagekräftig genug.

Die in den Bioelementmengen zwischen der gedüngten und der ungedüngten Parzelle (bei Ausgleich der Sickerwassermenge) festgestellte Differenz entspricht dem Anteil der aus der Düngung ausgewaschen wurde. Dieser betrug (Juni 1972) bezogen auf die mit der Düngung zugeführten Mengen bei:

N - 1.3%; Ca - 0.05%; K - keine; P - keine;

Daraus geht hervor, daß die mit der Düngung zugeführten Bioelemente bei Versuchsende fast noch vollständig im Ökosystem vorhanden waren.

3.5 Inventur der Bodendecke 1 Jahr nach Versuchsanlage

3.5.1 Probenahme, Bestimmungsgrößen, Analysenverfahren und Auswertung

Die Probenahme erfolgte für die Endinventur im Juli 1972 in der gleichen Weise wie im Vorjahr und auch Analysenverfahren und Rechenprogramme waren die selben, so daß eine gute Vergleichsmöglichkeit gegeben war.

Zur statistischen Auswertung der Auflagehumusdaten, sowohl im Jahresunterschied 1971 - 1972 als auch im Düngungseffekt, wurde bei den Gehalten und bei den Vorräten das Varianz-analytische Modell VA 2 (Anhang I) verwendet.

Der Mineralboden wurde ebenso behandelt, nur wurde hierzu das Varianzanalytische Modell VA 4 (Anhang I) benutzt.

3.5.2 Versuchsfremde Veränderungen in der Bodendecke im Vergleich zur Ausgangsinventur

3.5.2.1 Auslagehumus

In Tabelle 11 sind nur von unbehandelten Parzellen die Mittelwerte der Elementgehalte, in Tabelle 12 die der Vorräte für März 1971 und Juli 1972 eingetragen, außerdem die Signifikanz der Differenz zwischen beiden Terminen, der Variationskoeffizient (%) der Streuung zwischen den Parzellen (Parzellenunterschiede) und der innerhalb der Parzellen (= Probenahmefehler). Ist der Variationskoeffizient nicht angegeben, beruht das darauf, daß die Varianz innerhalb der Parzellen größer war als die zwischen den Parzellen, was durch eine zu kleine Anzahl von Mischproben verursacht wurde.

Mit dieser Gegenüberstellung sollen Faktoren wie z.B. Witterungseinfluß, Parzellenungleichheiten, Probenahme- und Analysenfehler geprüft werden.

Tabelle 11 zeigt, daß im Ausgangszustand pH, Asche, Si, Na und Fe signifikant höher, C und N signifikant niedriger sind als in der Endinventur. Die Hauptursache dieser Unterschiede wird auf die Probenahme zurückzuführen sein. Das kann aus Abbildung 26 entnommen werden, wo besonders der Aschenanteil in Parzelle 2 und Parzelle 4 1971 erheblich höher ist als 1972, der Unterschied in der organischen Substanz dagegen nur gering. Das ist auch aus Tabelle 12 zu erkennen. Die 1971 höheren Vorräte bei der Trocken-substanz und dem Aschenanteil sind signifikant, bei der organischen Substanz sowie bei C und N jedoch nicht gesichert. Damit wird bestätigt, daß 1971 größere Mengen des A_{eh} -Horizontes bei der Probenahme in den Auflagehumus einbezogen wurden.

Tabelle 11: Bioelementgehalt im Auflagehumus ein Jahr nach der Ausgangsinventur

Einheit		%T.S.		%T.S.		mg / g T.S.								
Variable	pH	Asche	C/N	C	N	P	Si	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
$\bar{x}$ 71	3.44	66.1	32.4	21.0	6.5	.62	29.6	.208	.84	1.84	.624	.73	6.0	3.9
$\bar{x}$ 72	3.25	44.6	29.5	31.3	10.7	.73	19.6	.084	.87	2.45	.508	.59	5.1	3.5
F-Jahr	*	**	n.s.	**	*	n.s.	**	***	n.s.	n.s.	(* 10%) n.s.	n.s.	*	n.s.
VK % Parzellen	-	-	-	-	-	-	-	8.2	6.2	-	-	-	-	-
VK % Fehler	2.2	14.7	6.3	15.7	20.0	11.6	15.4	7.5	9.0	23.4	11.9	22.7	7.2	10.6

Tabelle 12: Bioelementvorräte im Auflagehumus ein Jahr nach der Ausgangsinventur

Einheit		t/ha					kg/ha							
Variable	T.Masse	Asche	o.S.	C	N	P	Si	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
$\bar{x}$ 71	108.0	72.8	35.2	22.0	677	65.2	326	22.2	90.6	189	68.1	78	650	421
$\bar{x}$ 72	61.6	27.9	33.7	19.1	658	44.3	122	5.2	54.0 (* 10%)	151	31.6	36	314	218 (* 10%)
F-Jahr	*	*	n.s.	n.s.	n.s.	*	*	***	n.s.	n.s.	*	*	*	n.s.
VK % Parzellen	-	-	13.9	10.5	-	21.2	1.4	-	12.0	7.2	-	3.0	-	-
VK % Fehler	27.5	44.2	9.9	13.7	45.0	6.7	14.2	30.9	26.8	20.1	35.5	24.7	34.4	34.2

Dafür sprechen auch die 1971 bei Si, Mg, Mn, Fe und Al signifikant höheren Vorräte. Na ist sowohl im Gehalt als auch im Vorrat im Ausgangszustand auffallend höher (hoch signifikant), hier könnte ein Einfluß von Witterung und Jahreszeit vorliegen, zumal die Probenahme im März 1971 am Ende eines trockenen Winters erfolgte, im Juli 1972 aber nach hohen Niederschlägen und damit nach stärkerer Auswaschung.

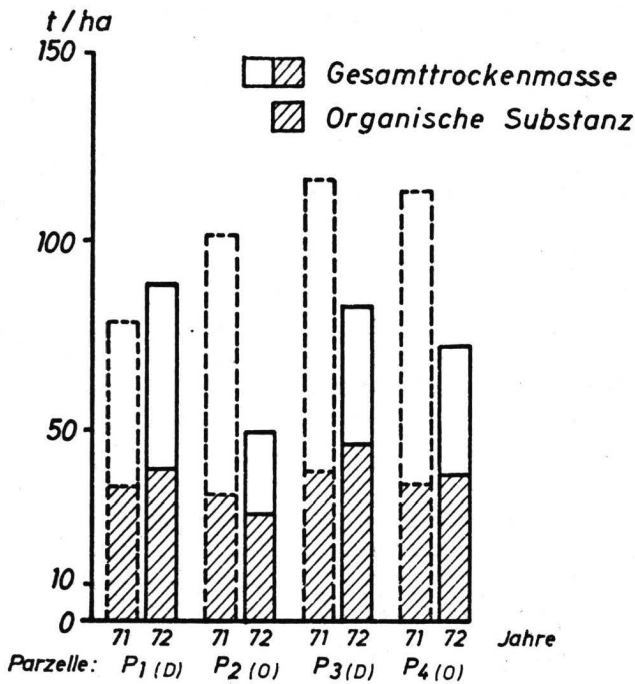


Abb. 26 Zusammensetzung des untersuchten Auflagehumus.

3.5.2.2 Mineralboden

Tabelle 13 zeigt den pH-Wert, das C/N-Verhältnis und den Gehalt an C, N, P_t und den P-Bindungsformen der unbehandelten Parzellen von 1971 und 1972.

Die N-Konzentration ist 1972 hauptsächlich in 0-10 cm Tiefe signifikant höher, was darauf beruht, daß dem A_{eh} im Gegensatz zu 1971 der oberste, an organischer Substanz reichere Anteil belassen wurde. Außerdem ist 1972 P_{org} signifikant höher, pH, P_{Ca} und P_{occl} dagegen niedriger (diese in allen Tiefen verteilt), was auf Parzellenungleichheiten zurückzuführen ist. Bei P_{Al} , bei dem der Unterschied hauptsächlich in den ersten 10 cm vorliegt, war der Jahreseffekt dagegen nicht gesichert. Es kann hier ein Einfluß der Probenahme vorliegen.

Tabelle 13: pH, C/N, C, N und P-Bindungsformen;
Vergleich 1971-72

Einheit ($CaCl_2$)		-	%TS		mg/100 g					
Variable	pH	C/N	C	N	P_t	P_{Al}	P_{Fe}	P_{Ca}	P_{occl}	P_{org}
$\bar{x}$ 71	3.76	19.6	1.0	.047	14.4	.51	2.42	1.67	7.9	1.9
$\bar{x}$ 72	3.63	19.4	1.13	.053	14.4	.35	2.33	1.08	6.9	3.7
F-Jahr	***	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	***
VK % Parzellen	.5	3.8	7.0	4.0	-	37.1	-	4.6	-	-
VK % Fehler	.95	15.0	19.7	12.7	8.1	53.7	13.6	11.0	6.6	34.8
1) F-Tiefe	***	***	***	***	**	***	n.s.	n.s.	***	***
2) F-TxJ	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

1) F-Test: Unterschiede zwischen den verschiedenen Tiefen
(10 cm - mächtige Schichten)

2) F-Test: Interaktion zwischen Tiefe und Jahr

Gleichgewichtsbodenlösung und Austauschkapazität

Tabelle 14 enthält die Bioelementkonzentration in der Gleichgewichtsbodenlösung. Sie ist bei allen Bioelementen 1972 höher als 1971, bei Na, K, Mn und Fe signifikant. In Tabelle 15 sind die Gehalte an austauschbaren Kationen zusammengestellt, hier ist das Verhältnis zwischen den Jahren umgekehrt. Alle Bioelemente zeigen 1972 niedrigere Mengen, bei Na, K und Mn signifikant. Auch die AKe ist signifikant geringer, AKt bleibt dagegen gleich. Die Gründe hierfür werden später bei den Bioelementvorräten erläutert.

Mit dem Einfluß der 1972 höheren Niederschlagsmengen können signifikant höhere SO_4 -S und Cl-Werte in der GBL teils erklärt werden. Die im selben Jahr signifikant höheren NH_4 -N-Werte können auf geänderte Mineralisierungsverhältnisse hindeuten, also auf einen Jahreszeiteinfluß: März 1971 war kalt und verhältnismäßig trocken, Juli 1972 warm und feucht mit intensiverer biologischer Aktivität. Der etwas geringere Wert bei Ges- NH_4 -N ist dagegen nicht signifikant.

Bioelementvorräte

Tabelle 16 zeigt die Bioelementvorräte im Mineralboden. Im Gegensatz zum Auflagehumus sind hier C und N 1972 höher. Die gleichen C/N-Verhältnisse zeigen, daß es sich hauptsächlich um Unterschiede in der Erfassung der Humusvorräte handelt, womit auch die Verhältnisse im Auflagehumus erklärt wurden.

Die gleiche Ursache beeinflußt die Veränderungen bei den P-Bindungsformen, besonders den Anstieg des Porg. Signifikant geringer waren 1972 P_{occl} und P_{Ca} , außerdem noch Na und K, für die dasselbe auch im Auflagehumus zutraf.

Sowohl bei der GBL, wie bei der AK und somit auch bei den Bioelementvorräten sind die Änderungen zwischen den Jahren durch Parzellenungleichheiten und Probenahme wie auch Unterschiede in der analytischen Behandlung (Unterschiede im

Tabelle 14: Bioelementkonzentration in der Gleichgewichtsbodenlösung; Vergleich 1971-1972; mg/l

Variable	pH	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	NH ₄	GNH ₄ -N	SO ₄	Cl	SUKAT	SUAN
$\bar{x}$ 71	3.74	6.7	3.6	17.7	3.4	12.6	.66	6.2	.23	2.5	42.4	9.5	2917.0	2931.0
$\bar{x}$ 72	3.71	12.9	5.5	20.7	9.7	22.0	2.2	8.7	.58	2.1	65.0	17.4	4641	4556
F-Jahr	n.s.	***	*	n.s.	n.s.	***	*	n.s.	***	n.s.	*	***	**	*
VK % Parzellen	-	-	29.3	44.6	-	-	38.3	-	19.9	43.1	-	-	-	-
VK % Fehler	3.7	25.6	42.6	47.9	153.0	38.0	122.0	63.5	28.7	51.3	57.1	46.1	38.5	55.5
F-Tiefe	n.s.	***	*	n.s.	n.s.	n.s.	***	***	***	*	*	*	*	m.s.
F-T×J	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabelle 15: Austauschbare Bioelemente und Austauschkapazität; Vergleich 1971-1972 uval/g (1n NH₄Cl)

Variable	H	Na	K	Ca	Mg	Mn	Al	AK _e	AK _t
$\bar{x}$ 71	2.9	2.0	1.45	3.9	1.6	5.54	32.5	50.5	292.0
$\bar{x}$ 72	2.6	.5	1.2	2.6	1.2	1.63	32.3	42.1	291.0
F-Jahr	n.s.	***	*	n.s.	n.s.	***	n.s.	*	n.s.
VK % Parzellen	14.9	-	-	49.6	7.6	37.8	3.6	11.6	3.6
VK % Fehler	18.4	53.3	24.3	58.4	51.4	29.3	10.7	10.7	10.7
F-Tiefe	***	n.s.	**	n.s.	n.s.	n.s.	*	n.s.	*
F-T×J	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Tabelle 16: Bioelementvorräte im Mineralboden;
Vergleich 1971 - 72

Element	Gesamtvorrat im Mineralboden 0-50 cm		Einheit	VK % Parzel.	VK % Fehler	F-Jahr	F-T	F-T×J
	1971	1972						
C	59.380	66.940	t/ha	18.5	19.7	n.s.	***	n.s.
N	2.84	3.22	t/ha	13.7	11.3	n.s.	***	n.s.
P _t	917	923	kg/ha	3.7	8.8	n.s.	***	n.s.
P _{Al}	29.6	21.7	kg/ha	20.8	52.2	n.s.	**	*
P _{Fe}	156.6	149.6	kg/ha	7.6	25.2	n.s.	*	n.s.
P _{Ca}	107.4	68.8	kg/ha	-	11.9	***	***	n.s.
P _{occl.}	516	453.3	kg/ha	8.3	6.6	***	***	n.s.
P _{org.}	107.3	229.5	kg/ha	7.0	38.1	***	**	n.s.
H	17.4	15.5	kg/ha	13.9	19.1	n.s.	***	n.s.
Na	300	68	kg/ha	6.8	53.6	***	n.s.	n.s.
K	372	300	kg/ha	10.8	25.1	*	**	n.s.
Ca	507	328	kg/ha	58.6	65.5	n.s.	n.s.	n.s.
Mg	124.4	90.6	kg/ha	26.4	53.0	n.s.	n.s.	n.s.
Mn	988	283	kg/ha	45.5	27.5	***	n.s.	n.s.
Al	1.862	1.869	kg/ha	10.9	11.1	n.s.	n.s.	n.s.
AK _e	322	268.5	Kval/ha	18.3	13.6	n.s.	n.s.	n.s.

Verhältnis Boden: Wasser bei der GBL, Schwankungen in der Perkola-
tionszeit bzw. eventuelle Verluste beim Abrauchen des NH₄Cl
und Weiterverarbeitung bis zur Analyse bei AK_e *) ,weniger
durch die Jahreszeit, zu erklären.

*) Die Bodenproben 1971 lagerten etwas länger bis zur Analyse

3.5.3 Durch die Düngung bewirkte Veränderungen in der Bodendecke

3.5.3.1 Bioelementgehalt

Auflagehumus

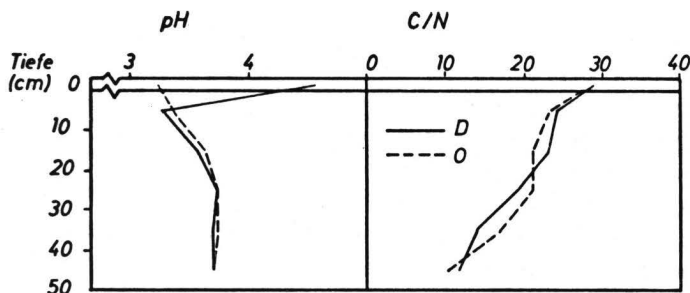
Als Folge der Kalkung ist der pH-Wert in den gedüngten Parzellen des Auflagehumus signifikant höher, Abb. 27.

Der C- und N-Gehalt ist niedriger (siehe hierfür Angaben unter Abb. 28), der Unterschied aber nicht signifikant und das C/N-Verhältnis (Abb. 27) nahezu gleich. Aus Abb. 26 ist ersichtlich, daß ein Probenahmeunterschied vorliegt (innerhalb 1972).

Daß nach einem Jahr kaum Veränderungen im Gehalt dieser Elemente eintrat, obwohl N gedüngt wurde (vor der Kalkung) kann durch N-Verluste (Auswaschung und gasförmige Verluste), wie auch Aufnahme durch den Bestand, aber auch durch die im Vergleich zum Bodenvorrat relativ geringe N-Zufuhr bedingt sein.

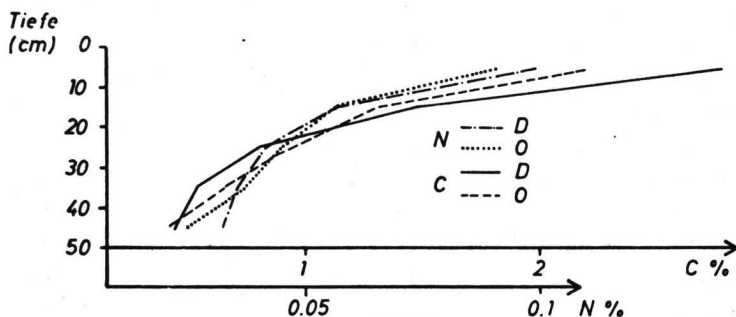
Tabelle 17: Bioelementgehalt im Auflagehumus; Düngungseffekt

Einheit	% T.S.									
Variable	Asche	P	Si	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
$\bar{x}$ O	44.6	.73	19.55	.084	.87	2.45	.51	.59	5.1	3.5
$\bar{x}$ D	48.6	1.47	20.1	.339	.99	13.8	1.6	.86	5.9	4.8
F-Düng.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	**	**	n.s.	n.s.	*
VK Parz.	6.4	22.5	6.2	-	6.2	-	-	27.1	2.8	-
VK Fehler	11.4	18.3	12.4	74.6	6.8	32.5	29.1	18.7	10.9	11.5



VA 2	pH	Auflagehumus	Mineralboden	C/N	Auflagehumus	Mineralboden	VA 4
$\bar{x}$ - O	3.25	3.63		28.9	19.4		
$\bar{x}$ - D	4.55	3.60		29.0	19.8		
F. Düng	***	n.s.		n.s.	n.s.		
VK Parz	—	1.2		—	—		
VK Fehl.	5.0	1.5		7.3	<130		
pH - Mineralboden		F-Tiefe : ***		F-Düng × Tiefe : n.s.			

Abb. 27 pH und C/N - Verhältniss in Auflagehumus und Mineralboden ; 1 Jahr nach der Düngung.



VA 2	N %	Auflagehumus	Mineralboden	C %	Auflagehumus	Mineralboden	VA 4
$\bar{x}$ O	1.09	.053		31.3	1.13		
$\bar{x}$ D	.96	.054		27.5	1.25		
F Düng	n.s.	n.s.		n.s.	n.s.		
F Tiefe	—	***		—	**		
F-D × T	—	n.s.		—	n.s.		
VK Parz	5.0	8.8		—	9.4		
VK Fehl.	8.7	16.8		8.6	95.0		

Abb. 28 C und N (in % der T.S.) in Auflagehumus und Mineralboden ; 1 Jahr nach der Düngung.

Der Tabelle 17 können die Gehalte der übrigen Bioelemente im Auflagehumus entnommen werden. Der Anstieg bei P, Ca und Mg ist durch die Düngung zu erklären, bei Na ebenfalls (Bergleitelement in allen gestreuten Düngern außer im Kalkammonsalpeter). Auch der gering höhere Gehalt an K (n.s.) und an Mn (n.s.) sowie der signifikante Anstieg bei Al sind als Düngungseffekt zu deuten, bei den beiden letztgenannten aufgrund der Düngung mit Hüttenkalk.

Mineralboden

In Abbildung 27 kann der Verlauf des pH-Wertes im Mineralboden verfolgt werden. Ein Düngungseffekt ist kaum zu erkennen.

Die Unterschiede zwischen den gedüngten und ungedüngten Parzellen im Gehalt an N und C (Abb. 28) sind auch nicht signifikant, ebenfalls nicht das C/N-Verhältnis (Abb. 27).

Bei den P-Bindungsformen sind die Unterschiede zwischen den Behandlungen nur für P_{Fe} signifikant (ungedüngt: 2.3; gedüngt: 2.7 mg/100 g Boden; F-Düngung: **). Das beruht wiederum hauptsächlich auf stärkeren Änderungen in den ersten 10 cm, was auch für die Unterschiede der anderen P-Bindungsformen zutrifft. Nach FASSBENDER (1966) erfolgt parallel zum Lösungsprozeß einiger Düngerphosphate, von denen Rhenianaphosphat eine relativ hohe Löslichkeit zeigte, die Ausfällung von schwerer löslichen Phosphaten. Der in unserem Versuch in den Mineralboden verlagerte P wurde hauptsächlich - wie aus den Gehaltswerten ersichtlich - als P_{Fe} und P_{Al} ausgefällt.

Die Interaktion Düngung - Tiefe ist nicht signifikant.

Gleichgewichtsbodenlösung

Die Bioelementkonzentration für N, P, SO_4 -S und Cl in der Gleichgewichtsbodenlösung sind der Abbildung 29 zu entnehmen.

Gesamt $\text{NH}_4\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ zeigen einen ähnlichen Verlauf in Richtung Profiltiefe: eine höhere Konzentration in den gedüngten Parzellen, die mit zunehmender Tiefe abnimmt und in den ersten 20 cm hauptsächlich zum Ausdruck kommt (bei Ges- $\text{NH}_4\text{-N}$ ist die Interaktion Düngung $\times$ Tiefe signifikant). Ähnlich ist der Verlauf bei K (nicht abgebildet), dessen Durchschnittswerte in Tabelle 18 aufgeführt sind. Bei ihm sind die Unterschiede zwischen den Tiefen geringer, der Düngungseffekt in tieferen Schichten stärker.

$\text{NO}_3\text{-N}$ ist gesondert dargestellt und zeigt einen von $\text{NH}_4\text{-N}$ abweichenden eigenen Verlauf in Richtung Profiltiefe. Da Nitrat leichter ausgewaschen wird, ist es bereits tiefer verlagert worden und hat die untere Grenze der Intensivwurzelschicht überschritten. Durch die große Streuung der Werte ist der Düngungseffekt nur gering gesichert.

Die P-Konzentration in der Gleichgewichtsbodenlösung liegt an der Grenze der Nachweisbarkeit, daher lassen sich aus den dargestellten Unterschieden kaum Schlüsse ziehen.

Die höheren Anteile an $\text{SO}_4\text{-S}$ in den gedüngten Parzellen können auf die Düngung zurückzuführen sein, da etwas S mit dem 40er Kali und Hüttenkalk gegeben wurde, der Unterschied ist aber nicht signifikant. Bei Cl ist der Düngungseffekt deutlich. Mit dem 40er Kali, das auf den Auflagehumus gestreut wurde, sind die meisten Salze als leichtlösliche Chloride relativ rasch in die Tiefe gewandert.

In der Gleichgewichtsbodenlösung sind im pH-Wert keine Unterschiede festzustellen.

Der folgenden Tabelle können die Konzentrationen der Elemente in der GBL entnommen werden, dargestellt als Mittel über die gesamte Tiefe.

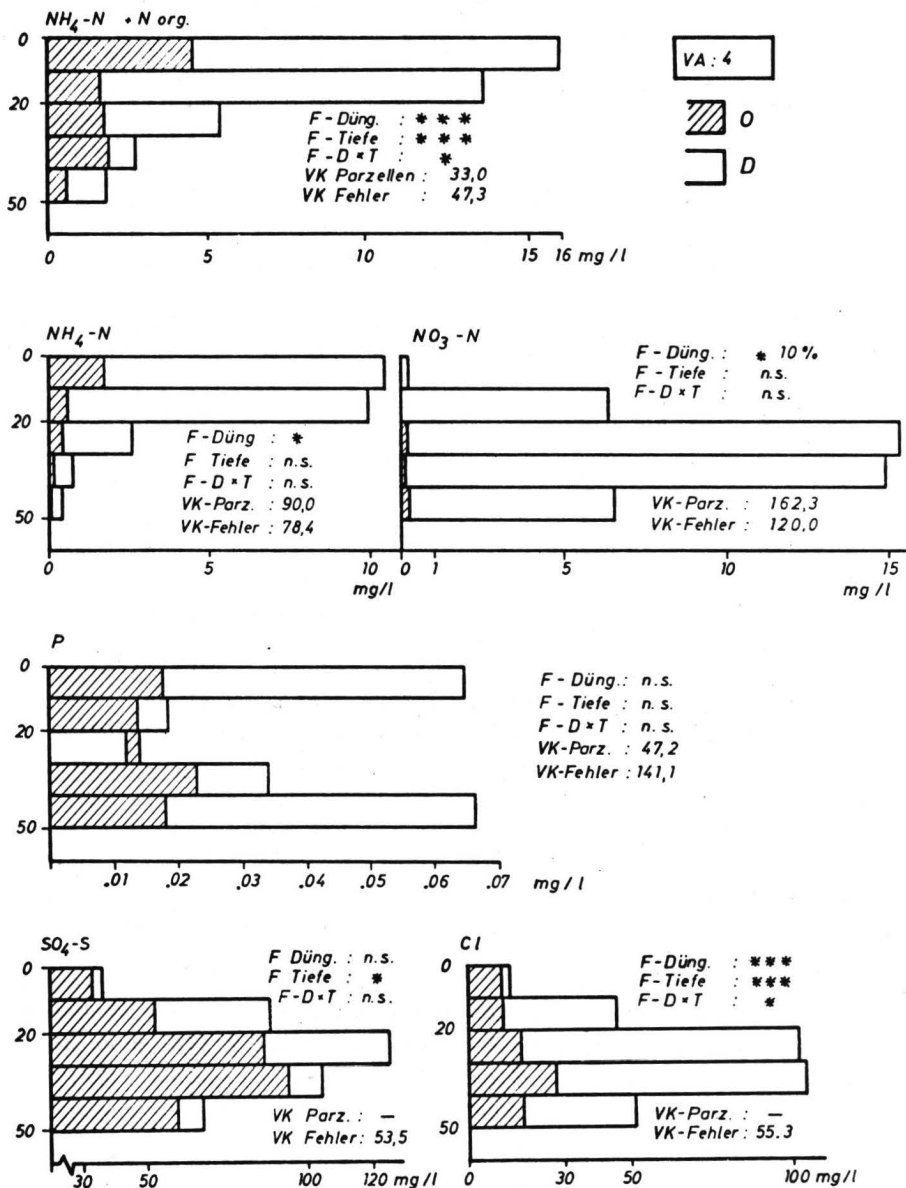


Abb. 29 Konzentration einiger Bioelemente in der Gleichgewichtsbodenlösung. Vergleich zwischen gedüngten (D) und ungedüngten (O) Parzellen.

Tabelle 18: Bioelementkonzentration in der Gleichgewichtsbodenlösung

Einheit	mg / l							uval / l	
Variable	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	SUKAT	SUAN
$\bar{x}$ O	13.0	5.5	20.7	9.7	22.0	2.2	8.7	4641	4556
$\bar{x}$ D	34.0	12.1	32.7	8.7	20.0	1.6	12.0	6830	7615
F-Düng.	***	***	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	**	***
VK % Parzellen	25.2	17.5	-	-	-	42.8	-	-	-
VK % Fehler	29.7	30.8	59.0	112.5	43.0	92.8	73.2	45.3	52.2
F-Tiefe	***	**	**	n.s.	***	***	***	**	***
F-DxT	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

K, Na und Ca zeigen signifikante Unterschiede. Die leicht löslichen Na- und K-Salze sind deutlich im Mineralboden der Düngungsparzellen angereichert, Na in allen Tiefen, K stärker im Oberboden (Na wird leichter ausgewaschen bzw. leichter ausgetauscht). In den gedüngten Parzellen ist die Ca-Konzentration in den obersten 10 cm des Mineralbodens geringer, von 10 bis 50 cm jedoch höher. Mg verhält sich ähnlich, zeigt jedoch wegen eines in 40-50 cm Tiefe abnorm höheren Wertes in den ungedüngten Parzellen eine geringere Durchschnittskonzentration in den gedüngten. Wahrscheinlich sind Ca und Mg im Oberboden in den gedüngten Parzellen geringer, weil teils löslichere Anteile schon in tiefere Schichten verlagert, teils gegen andere Kationen im Austauscherkomplex eingetauscht wurden.

Die Al-Konzentration ist in der obersten Schicht gleich, etwas höher in den Düngungsparzellen aber bei 10-40 cm Tiefe, vermutlich als Folge des Austausches gegen K, Ca und Mg-Ionen, aber auch durch schon vorhandene Unterschiede zwischen den Parzellen. Fe und Mn sind in geringerer Konzentration in den gedüngten Parzellen vorhanden, hauptsächlich in den ersten 10 cm (Probenahmeeffekt).

Die Summe der Kationen wie auch die der Anionen ist wesentlich höher in den Düngungspartzellen. Das ist nach den schon erläuterten Ergebnissen als Düngerwirkung zu erklären.

Austauschkapazität

In Tabelle 19 sind die austauschbaren Kationen, die effektive Austauschkapazität (AK_e) und die totale Austauschkapazität (AK_t) zusammengestellt. Wie bei der Gleichgewichtsbodenlösung werden hier Durchschnittswerte für den ganzen Mineralboden (0-50 cm Tiefe) angegeben.

Tabelle 19: Austaushbare Kationen in der effektiven Austauschkapazität (u_{val} / g)

Variable	H	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al	AK_e	AK_t
$\bar{x}$ O	2.56	.46	1.19	2.64	1.16	1.63	.128	32.3	42.1	291
$\bar{x}$ D	2.95	1.03	1.82	4.4	1.35	1.05	.12	34.2	47.0	308
F-Düng.	n.s.	***	***	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
VK % Parzellen	42.5	41.5	17.3	24.4	4.8	42.7	108.4	-	5.8	-
VK % Fehler	49.7	48.5	24.1	58.6	19.7	32.6	135.0	12.2	16.7	12.2
F-Tiefe	***	n.s.	***	***	***	n.s.	***	*	***	*
F-DxT	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.

Sowohl die AK_t wie auch die AK_e zeigen keine signifikanten Unterschiede zwischen den gedüngten und ungedüngten Parzellen. Ein geringer Unterschied (Düngung > ungedüngt) besteht für beide im ganzen Profil (in der AK_e hauptsächlich in den ersten 10 bzw. 20 cm).

Eine starke, auf dem Auflagehumus oberflächlich ausgebrachte Kalkung zeigte bei ähnlichen Verhältnissen nach 14 Jahren ebenfalls keine wesentlichen Änderungen in der AK_e und AK_t (ULRICH und KEUFFEL 1970).

Ein anderer langjähriger Versuch, eine Kalkung vor Kulturbegründung mit Einarbeitung in den Boden, führte aber bei einer N, P, K, Ca-Düngung auf sandigen Böden Norddeutschlands zu einer Erhöhung der Basensumme und der AK_e in den ersten 10 cm des Bodens (SEIBT et al., 1968).

Auch HAUSSER und WITTICH (1969) berichteten über eine Anhebung der Basensumme bei einer NPCa-Düngung (oberflächlich gestreut) nach 15 Jahren, die aber hauptsächlich im Auflagehumus erfolgte, im Mineralboden blieb sie gering.

Die volle Wirkung der Düngung (Ca und P) in unserem Versuch ist allerdings nach einem (dazu trockenem) Jahr vermutlich noch nicht eingetreten (bzw. noch nicht zu erwarten).

Bei den Kationen zeigen nur Na, K und Ca (wie im Fall der GBL) signifikante Unterschiede. Bei Na ist die in den gedüngten Parzellen höhere Menge in allen Tiefen festzustellen, bei K und Ca hauptsächlich in den ersten 10 cm, ebenso bei Mg (n.s.), Fe zeigt keine Unterschiede und ist als austauschbares Kation nur in den ersten 10 cm vorhanden. Mn ist etwas geringer in den gedüngten Parzellen, im wesentlichen bis 40 cm (n.s.), die Al-Menge etwas höher (n.s.) was auf Unterschiede hauptsächlich in den ersten 20 cm beruht.

Bioelementvorräte

Der Tabelle 20 sind die Vorräte an Trockenmasse, Asche, C, N und Si zu entnehmen. Sie sind in den gedüngten Parzellen höher als in den ungedüngten, doch sind die Unterschiede statistisch nicht gesichert. Ein Probenahmeunterschied läßt sich noch deutlich erkennen (Abb. 26).

Bei Si sind mit dem Hüttenkalk (nach den Angaben des Herstellers) allerdings 380 kg/ha zugegeben worden. Die darüber hinaus bestehende Differenz ist dann auf die Probenahme zurückzuführen.

Tabelle 20: Vorräte an organischer Substanz und Asche im Auflagehumus

Einheit	t/ha				Kg/ha	
Variable	T.Masse	Asche	org.S.	C	Si	N
$\bar{x}$ O	61.6	27.9	33.7	19.1	1.223	659
$\bar{x}$ D	86.6	42.4	44.1	23.9	1.759	821
F-Düng.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
VK-Parzellen	8.0	42.6	31.0	-	13.4	6.0
VK-Fehler	19.3	26.1	15.0	21.1	27.3	15.4

Die weiteren Unterschiede werden gemeinsam mit dem Mineralboden beurteilt, siehe hierzu Tabelle 21 sowie Abbildung 30 und 31.

Die Vorräte an C wie auch an N zeigen sowohl im Auflagehumus wie auch im Mineralboden keinen signifikanten Unterschied. Bei C besteht eine Differenz von 8.7 t/ha für den gesamten Boden, was hauptsächlich auf die Standortsunterschiede zurückzuführen ist.

Der Unterschied im N-Vorrat (162 kg/ha) ist durch die Düngung hervorgerufen, kann aber wegen Parzellenvariation nicht abgesichert werden. Nach Tabelle 21 wäre der größte Teil des Düngers noch im Auflagehumus vorhanden. Allerdings kann aus Abb. 29 entnommen werden, daß schon ein Teil in den Mineralboden gewandert sein muß, hauptsächlich in Form von $\text{NO}_3\text{-N}$, was die Sickerwassermessungen auch erkennen ließen. Nach den in der Versuchszeit festgestellten Sickerwassermengen sollte noch der größte Teil des zugegebenen N im gesamten Boden sein. Das stimmt mit der Bilanz überein, sofern berücksichtigt wird, daß auch ein Teil durch den Bestand aufgenommen wurde.

Bei P (*) sind noch ca. 84 kg/ha im Auflagehumus (84% der Düngung), er wurde also in einem Jahr nur gering verlagert. Im Mineralboden sind die Unterschiede im Gesamtphosphat nicht gesichert. Innerhalb der P-Bindungsformen (Abb. 30) ist der

Tabelle 21: Bioelementvorratsunterschiede im gesamten Boden bei der Endinventur

Einheit	t/ha			kg/ha						
Bioelement	C	N	P	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
P - O										
Auflageh.	19.1	658	44	5	54	151	32	36	314	218
M-boden	66.9	3224	923	68	300	328	91	283	19	1868
Gesamt	86.0	3882	967	73	354	479	123	319	333	2086
P - D										
Auflageh.	23.9	821	128	30	86	1172	137	74	505	411
M-Boden	70.8	3223	968	147	438	526	104	184	17	1972
Gesamt	94.7	4044	1096	177	524	1698	241	258	522	2383
Differenz	+ 8.7	+162	+129	+104	+170	+1219	+118	- 61	+189	+297
Düngung	-	200	100	68	150	1015	65	32-64	42-85	135
% der Düngung	-	81	129	150	113	120	180	230	300	220

Düngungseffekt bei P_{Fe} signifikant. Der in den Mineralboden verlagerte P (ca. 16 kg) ist hauptsächlich als P_{Fe} , P_{Al} und $P_{occl.}$ (P_{Ca}) in den ersten 10 cm wieder zu finden (siehe auch P-Gehalte).

Im Auflagehumus sind außerdem Ca (***), Mg (**) und K (*-10%) durch die Düngung im Vorrat erhöht worden. Ca findet sich praktisch noch vollständig in der organischen Auflage (100%). Aber auch im Mineralboden sind gesichert höhere Vorratsmengen (19.5%) vorhanden. Ein geringer Teil wurde also doch in den Mineralboden verlagert. Bei ähnlichen Verhältnissen verblieben noch nach 14 Jahren mindestens 50% des zugegebenen Ca (30 dz CaO/ha) im Auflagehumus (ULRICH und KEUFFEL 1970). Auch HAUSSER und WITTICH (1969) berichten über das langsame Eindringen des Ca in den Mineralboden.

Der über die Düngergabe höhere Ca-Vorrat in den Düngungspartzellen ist wohl der Parzellenvariation zuzuschreiben, was auch für P der Fall sein dürfte. Mg, mit dem Hüttenkalk zugeführt, zeigt ähnliche Zusammenhänge wie Ca.

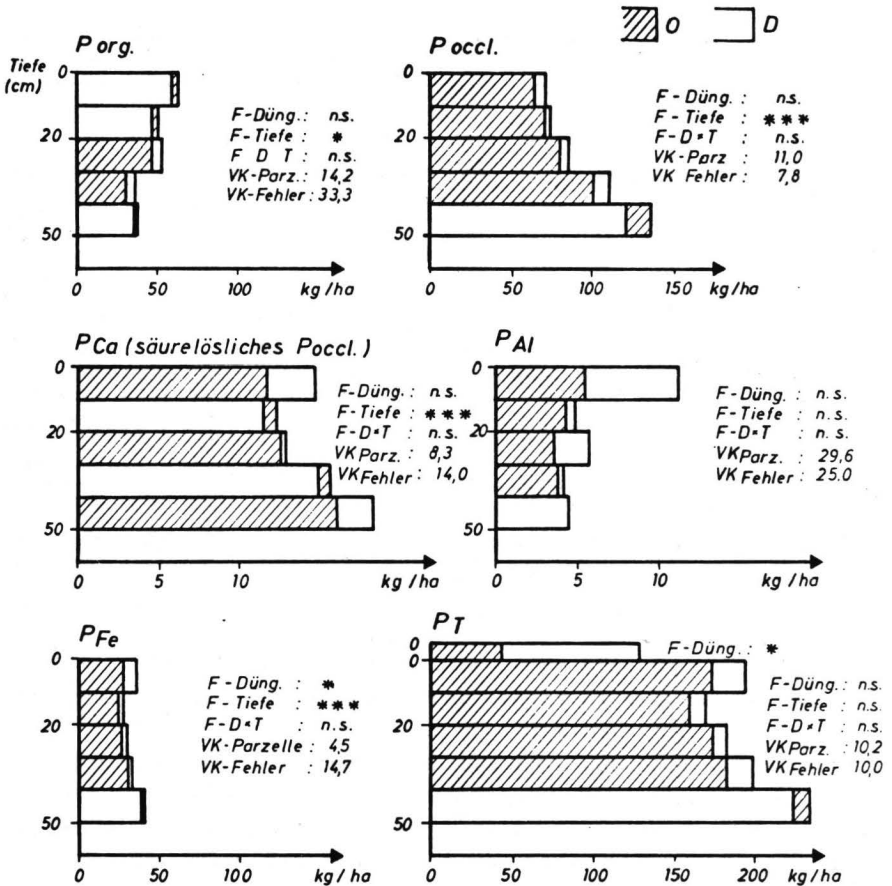


Abb. 30 Vorräte an Gesamtphosphat (Auflagehumus u. Mineralboden) und verschiedenen P-Bindungsformen (Mineralboden) 1 Jahr nach der Düngung (NK P_{Ca}); gedüngte (D) und ungedüngte (O) Parzellen

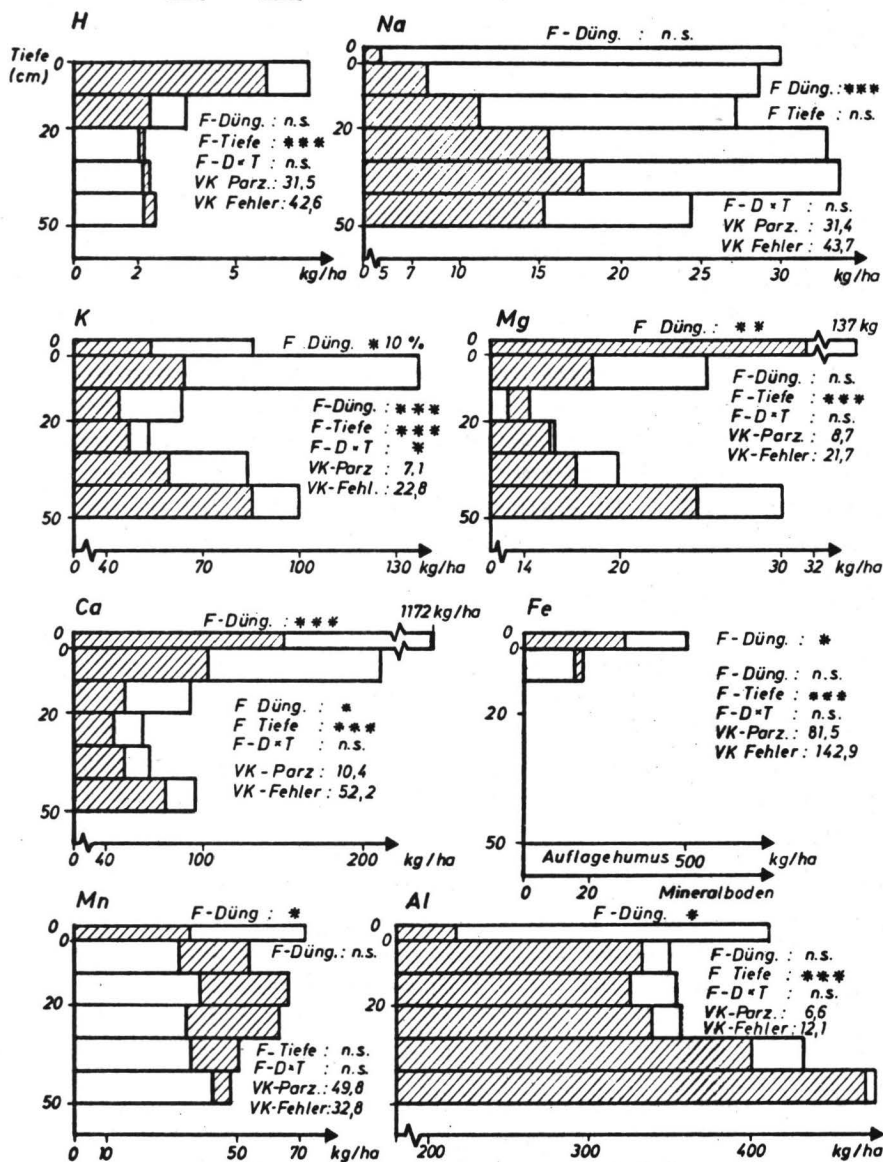


Abb. 31 Vorräte einiger Bioelemente im Auflagehumus und Mineralboden 1 Jahr nach der Düngung (NKP Ca), gedüngte (D) u. ungedüngte (O) Parzellen.

Von dem zugegebenen K sind nur 21% (32 kg) im Auflagehumus. Der größte Teil ist also verlagert worden, befindet sich aber hauptsächlich noch im Oberboden (hierzu signifikante Interaktion zwischen Düngung und Tiefe). Auch hier finden wir für den gesamten Boden einen höheren Betrag als theoretisch möglich, was auf die bei Ca und P erwähnten Gründe zurückzuführen ist.

Na, das auch mit den Düngern (40er Kali und Hüttenkalk zusammen etwa 68 kg/ha, dazu noch etwas im Rhenaniaphosphat) zugeführt wurde, zeigt einen signifikanten Düngungseffekt und zwar in allen Tiefen.

Gesichert höhere Vorräte sind noch im Auflagehumus der gedüngten Parzellen für Mn, Al und Fe nachzuweisen und auf die Düngung zurückzuführen. Bei Mn waren 32-64 kg/ha zugeführt worden, was mit der Zunahme von 38 kg/ha im Auflagehumus übereinstimmt. Im Mineralboden finden sich dagegen in den gedüngten Flächen deutlich geringere Mengen (98 kg/ha - n.s.), ein Unterschied der schon in der Ausgangsinventur vorhanden war.

2/3 der höheren Menge des Al ist durch die Düngung zu erklären (135 kg/ha im Hüttenkalk) bei Fe aber nur 1/3 (42-84 kg/ha). Der restliche Unterschied in diesen Elementen kann sowohl auf Parzellenunterschiede wie Aenderungen in den Bindungsformen zurückzuführen sein, was auch für den Mineralboden gilt.

H war (insgesamt 1.6 kg/ha) im Oberboden der gedüngten Parzellen etwas höher. Dies ist auf den Austausch von Al- durch K-Ionen und der anschließenden Hydrolyse der Al-Ionen ($\text{Al}^{3+} + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons \text{Al}(\text{OH})^{2+} + \text{H}^+$) zurückzuführen.

3.5.4 Nadelanalyse

3.5.4.1 Probenahme, Bestimmungsgrößen, Analysenverfahren

In jeder Parzelle wurden im Januar 1972 von 4 bis 5 Bäumen die halbjährigen Nadeln des obersten Quirls zu einer Mischprobe vereinigt (2 Proben je Parzelle) und der Gehalt folgender Bioelemente bestimmt: Ascheanteil, N, P, Si, Na, K, Ca, Mg, Mn, Fe und Al. Für die chemischen Analysen wurden dieselben Methoden wie für Auflagehumus- und Streuproben verwendet.

Die statistische Auswertung zur Sicherung des Düngungseffekts erfolgte nach Modell VA 2 (siehe Anhang I). Die Ergebnisse sind in der Tabelle 22 dargestellt.

Tabelle 22: Bioelementgehalt in den Nadeln der gedüngten und ungedüngten Parzellen, eine Vegetationsperiode nach der Düngung (in % der T.S.)

Variable	Asche %	N	P	Si	Na	K	Ca	Mg	Mn	Fe	Al
$\bar{x}$ O	5.25	1.06.132	.709	.012	.64	.65	.136	.317	.33	.026	
$\bar{x}$ D	4.73	1.17.137	.713	.015	.57	.55	.131	.216	.33	.027	
F-Düng.	n.s.	*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
VK % Parzellen	5.8	-	2.6	9.0	10.0	-	-	5.3	23.4	28.7	25.2
VK % Fehler	4.4	5.1	7.8	8.0	27.9	10.2	10.0	6.7	6.4	25.0	15.6

Bei den meisten Elementen sowie auch im Aschenanteil ist der Unterschied zwischen den gedüngten und ungedüngten Parzellen nicht signifikant, er konnte nur bei N (*) gesichert werden.

Nach WEHRMANN (1963) ist der Bestand mangelhaft mit N versorgt, was mit den Bodenanalysen übereinstimmt. Nach GUSSONE (1964) sind die Gehalte bei P, K, Ca und Mg ausreichend für Höchsterträge, was nach NEBE (1967) auch für Mn zutrifft. Der Bestand ist gut mit Bioelementen versorgt, außer mit N, was auch seine Ertragsklasse zeigt.

Aus der Nadelanalyse folgt, daß der Bestand schon nach der ersten Vegetationsperiode auf die N-Düngung reagierte bzw. daß eine gesteigerte N-Aufnahme durch die Bäume stattgefunden hat. Auch ZÖTTL (1958) und KREUTZER (1967) konnten die Wirkung von N-Düngern in den halbjährigen Nadeln nach der 1. Vegetationsperiode nachweisen. Trotz des Gehaltsanstiegs in den Nadeln blieb der Bestand im Hinblick auf N schwach versorgt. Es muß aber berücksichtigt werden, daß die Vegetationsperiode 1971 trocken war, was zu einer Beschränkung der Aufnahme und Verringerung der Blattspiegelwerte geführt haben kann (WEHRMANN 1961).

Auffallend niedriger, obwohl nicht signifikant, ist der Mn-Gehalt der Nadeln der gedüngten Parzellen. Bei den Bodenverhältnissen ergab sich, daß in der Gleichgewichtsbodenlösung die Mn-Konzentration in diesen Parzellen ebenfalls geringer ist (n.s.).

4. Ein Laborversuch zu Düngerauswaschung aus der Humusschicht

4.1 Problemstellung

Ist ein oberflächlich ausgebrachter Dünger in die Bodenlösung des Auflagehumus übergegangen, so wird er beim nächsten stärkeren Regen in den Mineralboden verlagert und geht in den Nährstoffkreislauf ein. In einem Modellversuch sollten daher die Beziehungen zwischen Niederschlagsintensität und Auswaschung von Düngernährstoffen aus dem Auflagehumus des Fichtenbestandes untersucht werden.

4.2 Material und Methodik

Für die Untersuchungen wurden Humuslysimeter nach BAUM (unveröffentlicht) benutzt.

Die Netto-Oberfläche der Lysimeter betrug 0.057 m^2 .

Folgendes Versuchsschema wurde angewandt (Zahl der Variablen):

Behandlung	Niederschlags- intensitäten	Mächtigkeit d. Humusauflage	Wiederholun- gen	Zahl der Proben
Gedüngt	4	1	2	8
Ungedüngt	4	1	1	4
Insgesamt	4	1	3	12

Die Humusproben wurden einheitlich mit etwa 4.5 cm Mächtigkeit entnommen. Da die Humusschicht selbst in einer Probe ungleichmäßig war, wurde öfter auch etwas von dem Horizont A_{eh} miteinbezogen. Insgesamt schwankte die Humusauflage zwischen 3.5-4.5 cm. Ihre einzelnen Schichten schwankten wie folgt:

L	0.5 - 2.0 cm	
F	0.5 - 2.0 cm	
H	0.5 - 2.0 cm	L + F + H = 3.5 - 4.5 cm
A_{eh}	0 - 1.0 cm	

Diese Humusproben wurden aus Flächen entnommen, die an die ungedüngten Parzellen angrenzten. Es entstammen der Nähe von Parzelle 2 die Proben: A, A', B, C, C', C'' und Parzelle 4 die Proben: D, E, F, F', G und G' (= 12). Bei ihrer Entnahme wurden sie direkt in die Humuslysimeter eingesetzt unter Vermeidung von Luftblasen und sofort in das Gewächshaus gebracht, wo sie mit einer Plastikfolie abgedeckt wurden, um eine Austrocknung zu vermeiden. Eine Woche später konnte der Versuch gestartet werden. Da die Proben im Februar (Winter) entnommen wurden, fanden Umsetzungsprozesse bei Beginn nicht statt. Für die chemische Zusammensetzung der Humusproben siehe Auflagehumus im Ausgangszustand.

Es wurde dieselbe Düngungsmenge angewendet wie auf den Versuchparzellen im Bestand. In diesem Versuch wurde nur Kalkammonsalpeter und 40er Kali getestet:

Angewandte Dünger:

Dünger	Lysimeterfl.	Düngerdosis	Düngerquantität je Lysimeter
Kalkammonsalpeter	0.057 m ²	200 kg N/ha	4.96 g
40er Kali	0.057 m ²	150 kg K ₂ O/ha	2.32 g

Die Dünger wurden am selben Tag gleichmäßig auf der Humusoberfläche in den Trichterlysimetern verteilt. Vor der Düngergabe wurde die erste Niederschlagsgabe in den jeweiligen Mengen auf die Humusproben gleichmäßig ausgebracht.

Das für den Gewächshausversuch notwendige Gießwasser sollte in seiner Zusammensetzung dem Kronendurchlaß eines Fichtenbestandes entsprechen. Anhand der Analysendaten für Kronendurchlaß nach ULRICH (1968b) und den ersten Kronendurchlaßanalysen in den Versuchspartzellen wurde folgende Lösung vorbereitet (Tabelle 23).

Tabelle 23: Vorbereiteter Kronendurchlaß: Zusammensetzung

Lösungsausgang: destilliertes Wasser

Kronendurchlaß		Vorbereitung	Konzentration
Element	Konzentration in der Lösung µg/ml	Salze und Säure für die Vorber.	Konzentration in 20 lt. Wasser
Na	1.3	NaCl	66.5 mg
K	7.1	KCl	271.0 mg
Ca	4.2	CaCl ₂ × 2 H ₂ O	310.0 mg
Mg	0.6	MgCl ₂ × 6 H ₂ O	104.0 mg
Al	0.45	AlCl ₃	44.5 mg

pH	3.4-3.45	1n H ₂ SO ₄	ca. 6.5-7.0 ml

Die 1n Schwefelsäure diente zur pH-Einstellung.

Es wurden 4 Niederschlagsintensitäten ausgewählt; jeder Niederschlagsintensität bzw. -menge wurden 3 Lysimeter zugeteilt, zwei gedüngt und eins ungedüngt.

mm in einer Woche	mm in einem Monat	mm im Jahr
5	20	240
10	40	480
20	80	960
40	160	1920

Drei Wochen nach Beginn wurde festgestellt, daß unter den gegebenen Verhältnissen im Gewächshaus die Verdunstung ca. 7.5 mm in der Woche ausmachte, so daß alle Niederschlagsmengen um diesen Betrag erhöht wurden, um bei den niedrigsten Niederschlagsmengen noch eine Auswaschung zu ermöglichen. Von der 4. Woche an waren es folgende:

mm in einer Woche	mm in einem Monat	mm in einem Jahr	Verdunstung je Jahr
12.5	50	600	360
17.5	70	850	360
27.5	110	1320	360
48.5	194	2330	360

Soweit möglich wurde versucht bei einer Ausbringung nicht mehr als 1 mm zu geben (siehe Anhang II).

Nach Beendigung des Gießvorganges wurde Vakuum an die Trichter-
lysimeter angelegt, so daß das ganze freie Wasser aus den Humus-
proben abgesaugt werden konnte, für jeden Trichterlysimeter
separat. Die Wasserproben wurden eingefroren. Aus dem täg-
lichen Sickerwasser wurden wöchentlich Mischproben herge-
stellt, die dann analysiert wurden.

Die Raumtemperatur des Gewächshauses wurde bei ca. 25°C ge-
halten und die Luftfeuchtigkeit beim Absinken im Raum wieder
erhöht.

4.3 Bestimmungsgrößen, Analysenverfahren und Auswertung

In den wöchentlichen Mischproben des gewonnenen Sickerwassers
wurden folgende Bioelemente und Variablen bestimmt: pH, Na,
K, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, Ca, Mg, Fe, Mn, Al und P. Für ihre Be-
stimmung wurden die gleichen Analysenverfahren wie bei der
Bestimmung der Gleichgewichtsbodenlösung angewandt. Nur Na
und K wurden anstatt durch Atomabsorption emissionsflammen-
photometrisch (Zeiss) bestimmt.

Aus den so bestimmten Konzentrationswerten und der Sicker-
wassermenge wurde die Auswaschung je Woche berechnet.

4.4 Ergebnisse

In Abbildung 32 werden der Verlauf der Temperaturamplitude (Maxima und Minima), der Schwankungsbereich der relativen Luftfeuchtigkeit im Gewächshaus, sowie das Verhältnis der Evaporation zum Sickerwasser des zugegebenen Niederschlagswassers bei einer Regenintensität von 17.5 mm in der Woche (ca. 850 mm im Jahr), dargestellt. Die angegebene Evaporation schließt das im Auflagehumus verbliebene Wasser mit ein. Sie war für alle Regenintensitäten etwa gleich, die Sickerwassermenge stand dann im engen Verhältnis zur Niederschlagsmenge.

In Abbildung 33 ist der Verlauf des pH im Sickerwasser der 4 Niederschlagsmengen dargestellt. Es besteht kaum ein Unterschied zwischen den gedüngten und ungedüngten Humusproben. Diese Werte stimmen mit denen von THEMLITZ (1967) überein. Er untersuchte die Düngerauswaschung von 2 N-Düngern, von denen einer Kalkammonsalpeter war, in 3 verschiedenen hohen Düngergaben bei ca. 14.5 mm/Woche (Hann.Münden, um 700 mm im Jahr) in längeren Zeitabständen. Die von ihm verwendeten Humusproben waren den hier untersuchten in der Zusammensetzung ähnlich, seine geringste Kalkammonsalpetergabe entspricht etwa unserer Gabe.

Die Auswaschung der mit den Düngern zugegebenen Bioelemente verlief in ihrer Geschwindigkeit und Menge parallel zur Niederschlagsmenge bzw. -intensität. Abbildung 34-43 zeigen dieses Verhältnis für die einzelnen Bioelemente.

$\text{NO}_3\text{-N}$ und $\text{NH}_4\text{-N}$ (Abb. 34 und 35) erreichten bei der höchsten Niederschlagsmenge etwa in einem Monat die Konzentration des Sickerwassers der ungedüngten Humusproben. Bei dem nächst höchsten Niederschlag etwa in 2 Monaten, dann in ca. 4 Monaten bei $\text{NO}_3\text{-N}$ bzw. ca. 5 Monaten bei $\text{NH}_4\text{-N}$ und in über 5 Monaten bei der gerinsten Menge. Diese Auswaschungsgeschwindigkeit stimmt mit den Ergebnissen von THEMLITZ (1967) für die entsprechende Niederschlagsmenge (14-15 mm/Woche)

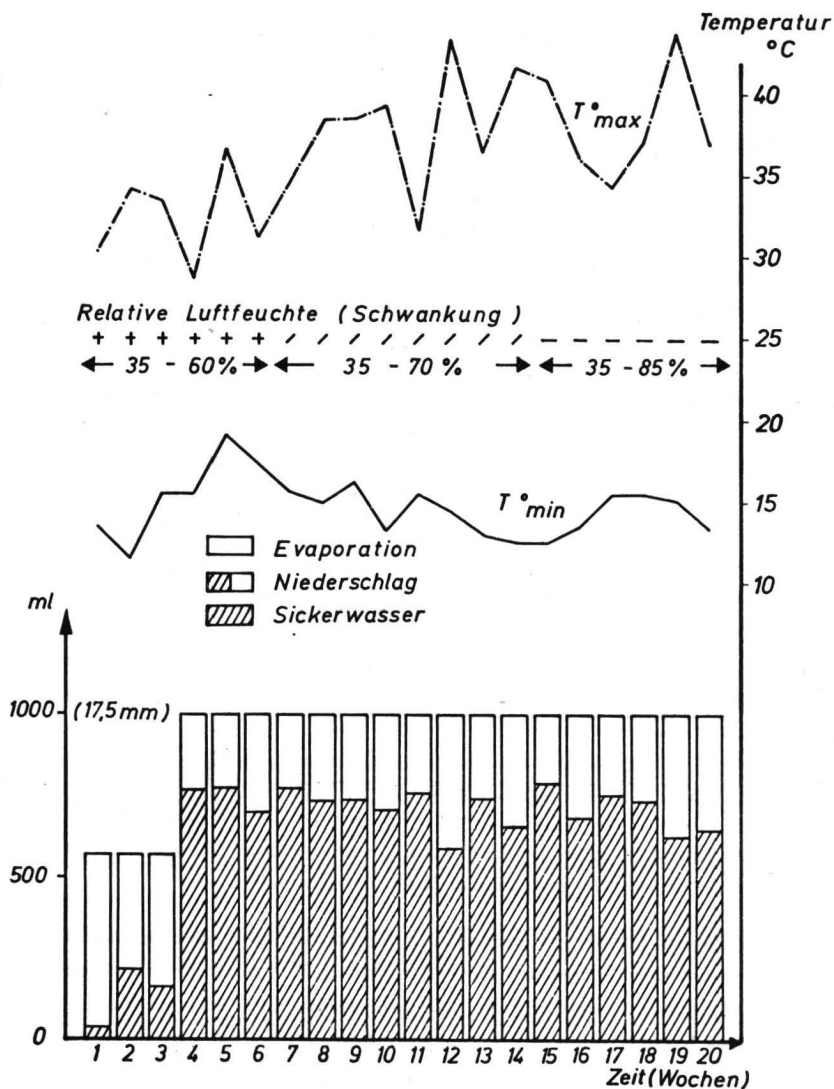


Abb. 32 Zeitlicher Verlauf der Temperaturamplitude ,
Schwankungsbereich der relativen Luftfeuchtigkeit
und Verhältnis Evaporation / Sickerwasser des
zugegebenen Niederschlagswassers (17,5 mm / Woche).

Niederschlagswasser: pH = 3,45

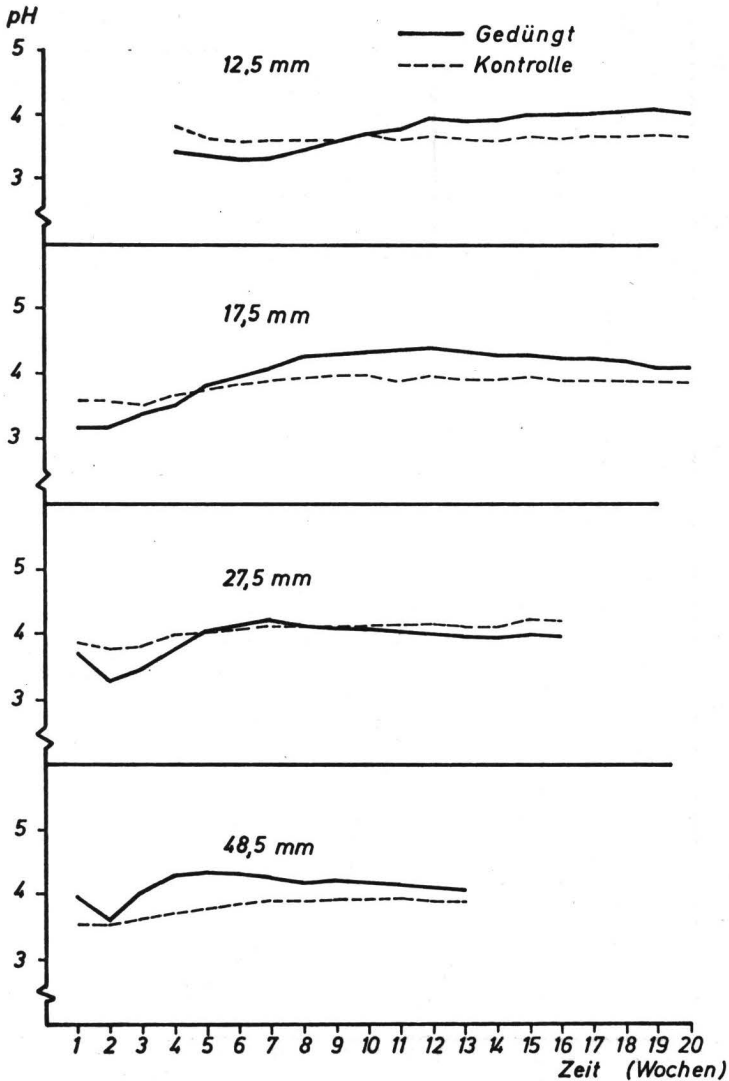


Abb. 33 Zeitlicher Verlauf des pH-Wertes im Sickerwasser der gedüngten und ungedüngten Humusproben.

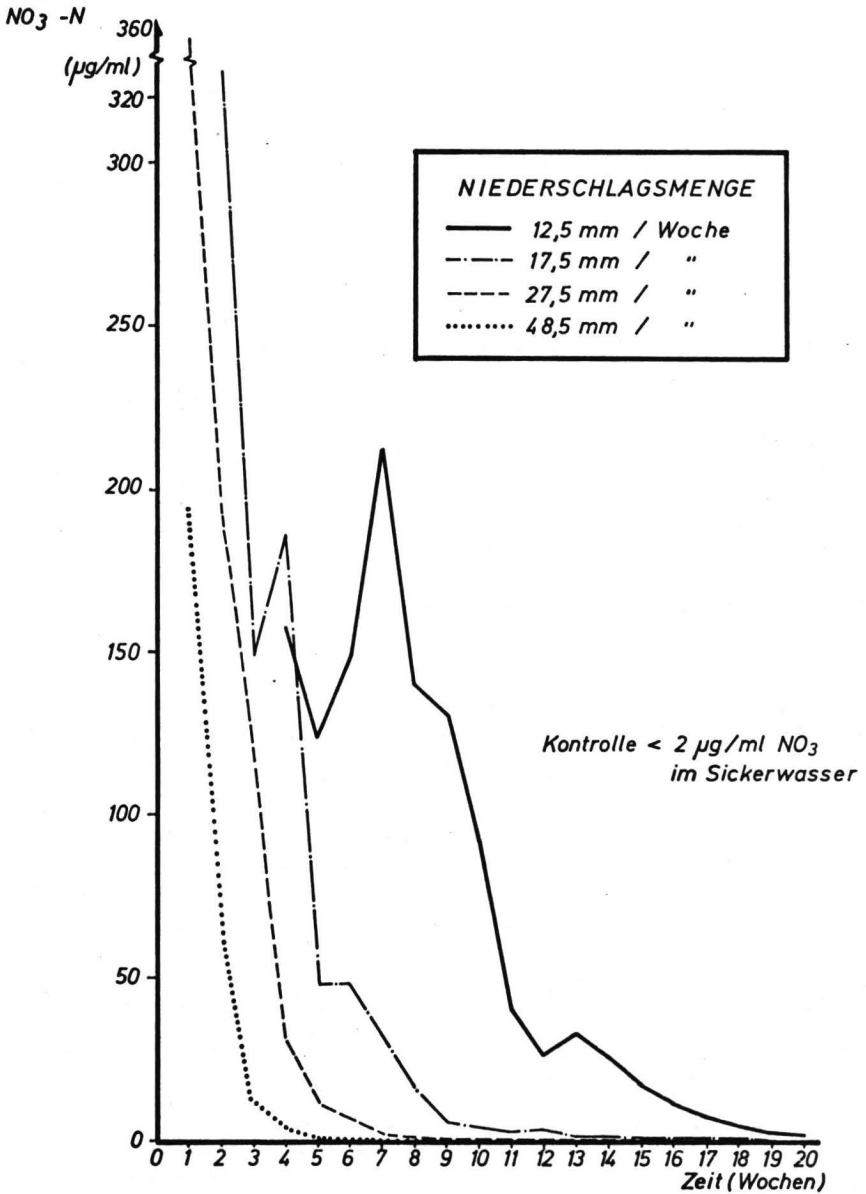


Abb. 34 Zeitlicher Verlauf der NO₃-N Konzentration im Sickerwasser nach der Düngung in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge.

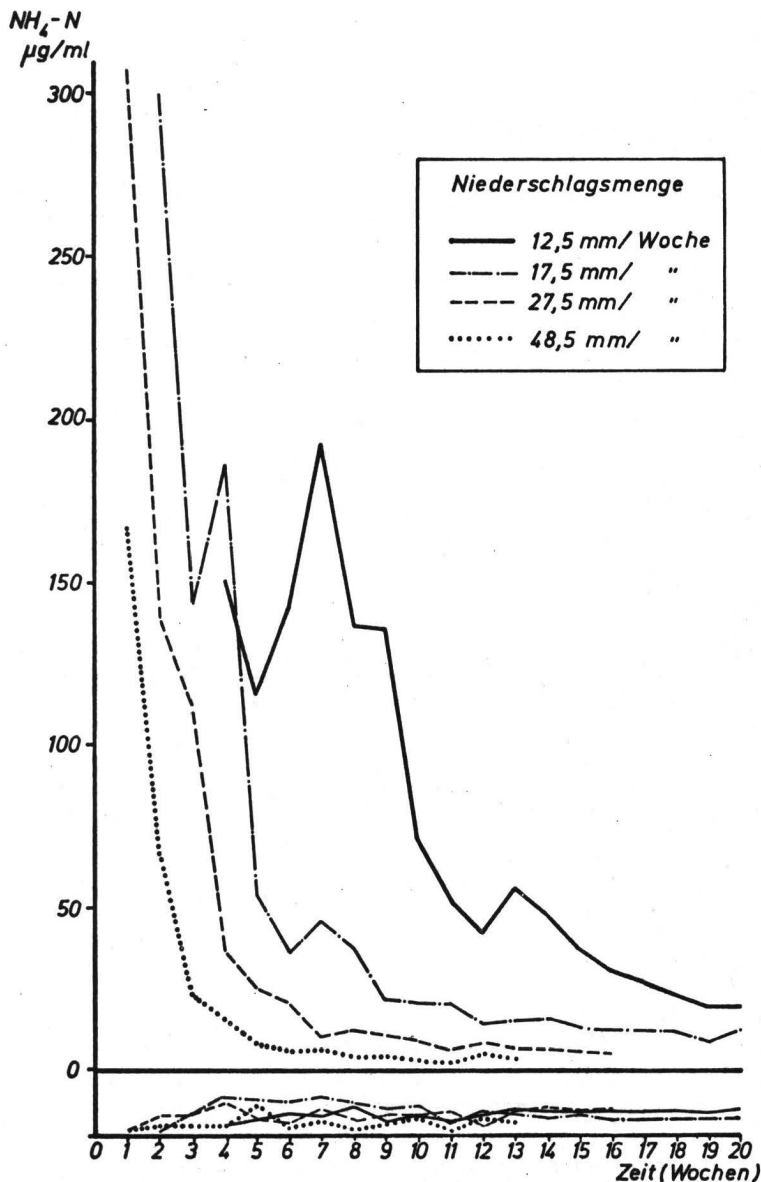


Abb. 35 Zeitlicher Verlauf der $\text{NH}_4\text{-N}$ Konzentration im Sickerwasser nach der Düngung in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge. Darunter: ungedüngt.

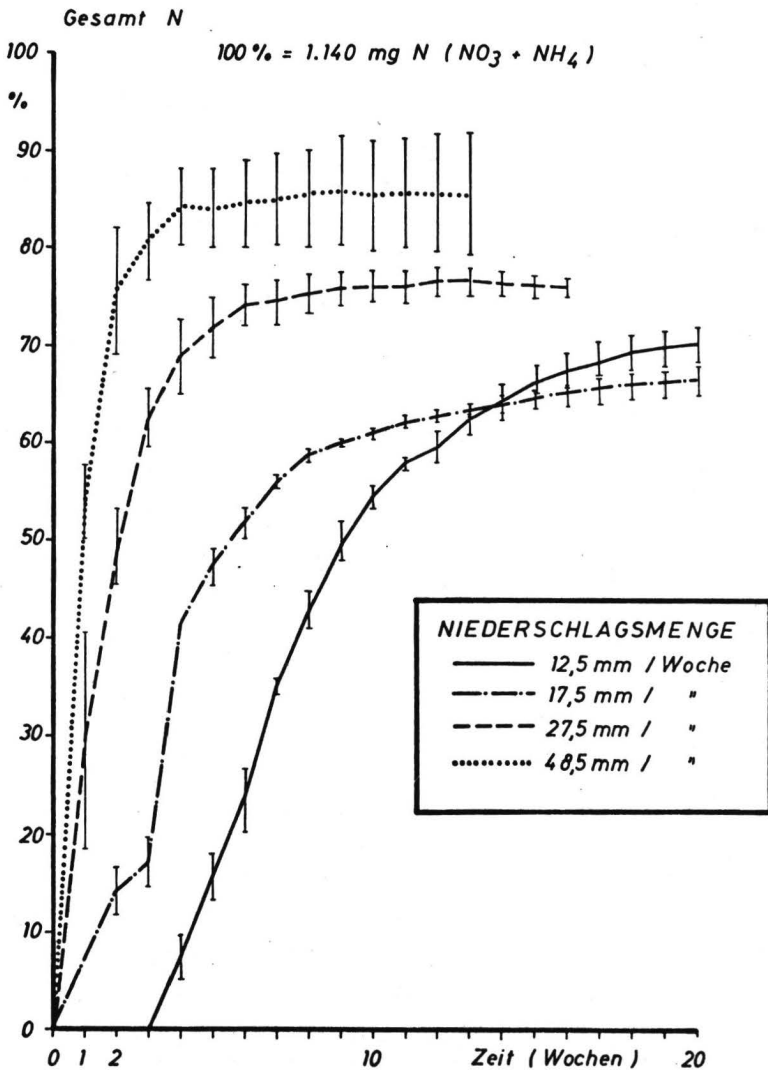


Abb. 36 Summenkurven der Auswaschung des gedüngten N (in %) in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge und der Zeit.

gut überein. In beiden Versuchen war die Auswaschung besonders im ersten Zeitraum stärker, hauptsächlich in den ersten 1-2 Monaten.

Wenn die N-Auswaschung mengenmäßig betrachtet wird (Abb. 36) ist bei 48.5 mm auch eine absolut höhere N-Menge nach kurzer Zeit (1 Monat) ausgewaschen worden (80-90% der zugegebenen Quantität). Bei 27.5 mm verlief der Prozess langsamer und nur bis etwa 75% (hauptsächlich innerhalb 6 Wochen), bei den geringeren Mengen zwischen 65-75% nach 5 Monaten (im wesentlichen schon in 2-3 Monaten), was das Ergebnis von THEMLITZ (1967) für eine Zeitspanne von über einem Jahr (60%) etwas überschreitet, sich ihm aber nähert (dort trat Moosbildung ein, was einen Einfluß haben könnte).

Bei Kalium (40er Kali) verlief die Auswaschung in ähnlicher Form wie bei N. Bei den höchsten Niederschlagsmengen erreichte die K-Konzentration des Sickerwassers (Abb. 37) schneller die der ungedüngten Humusproben, die hierzu benötigte Zeitspanne war gegenüber N sehr ähnlich.

Auffallend ist die absolute Auswaschung, die sich bei den verschiedenen Niederschlagshöhen wenig unterscheidet (ähnlicher Kurvenverlauf in Abb. 38), und nach 5 Monaten zwischen 70-80% der zugegebenen K-Menge beträgt. Die 3 höchsten Niederschläge erreichten nach 2 Monaten 60% der Düngergabe, die geringste erst nach etwa 3 Monaten. Hauptsächlich bei geringen Niederschlägen scheint die Auswaschung verzögert zu werden.

Na (Abb. 39), das mit dem 40er Kali gestreut wurde (ca. 1/3 der K-Menge) zeigt dasselbe Bild wie K (Es wurden zwischen 50-60% der zugegebenen Menge ausgewaschen). Bei K und Na, sowie auch bei den meisten Elementen wurde anfänglich in den "ungedüngten" Humusproben bei den 2 geringsten Niederschlagsmengen eine höhere Konzentration festgestellt. Dies ist auf die in den ersten 3 Wochen geringeren Niederschlags-

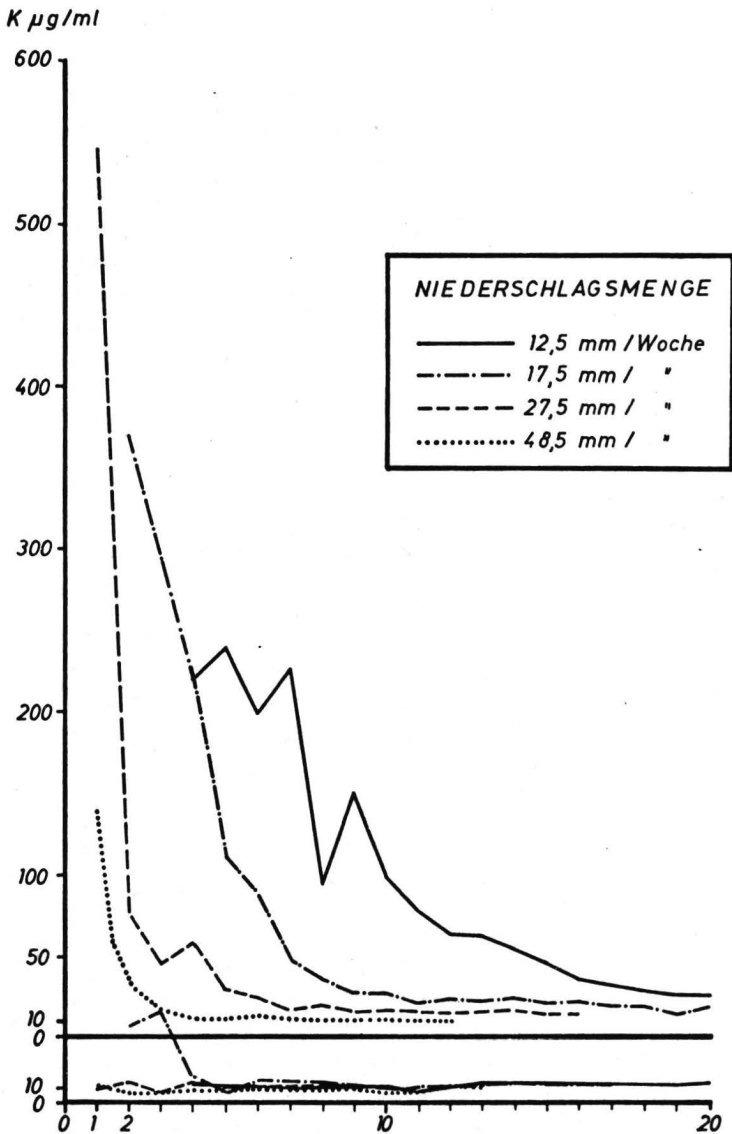


Abb. 37 Zeitlicher Verlauf der K-Konzentration im Sickerwasser nach der Düngung in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge
Darunter : ungedüngt

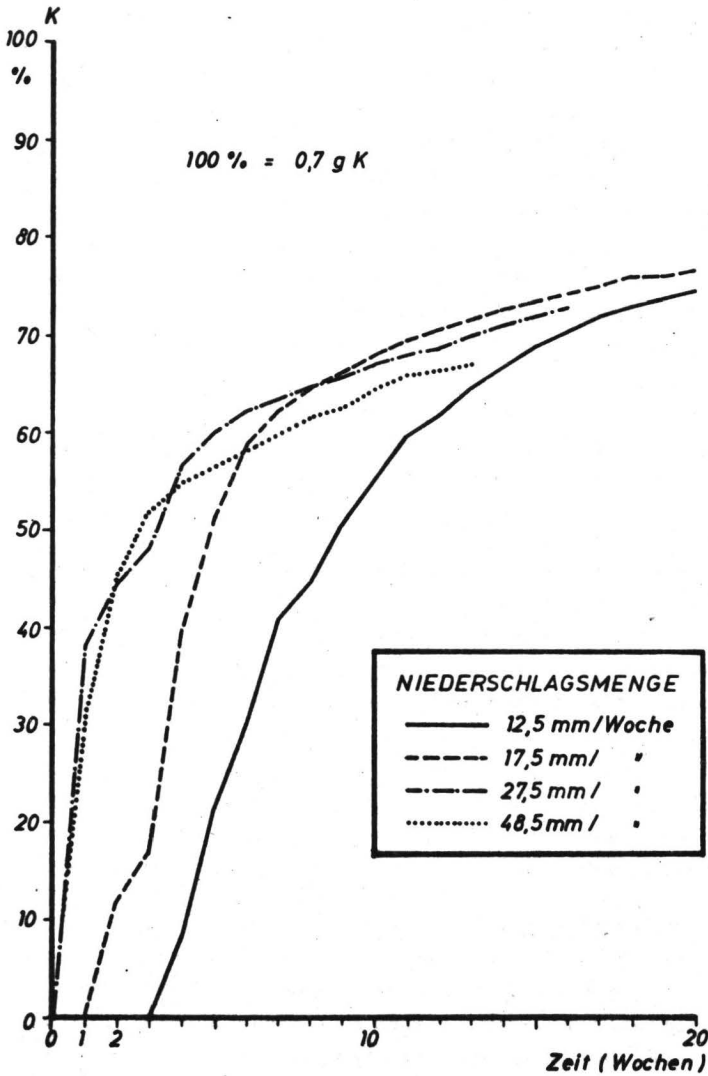


Abb 38 Summenkurven der Auswaschung des gedüngten K (in %) in Abhängigkeit von der Niederschlagsmenge u. der Zeit.

gaben zurückzuführen, entweder war die Menge des Sickerwassers sehr gering (bei 10 mm, später erhöht auf 17.5 mm/Woche) oder es trat keines auf (bei 5 mm später erhöht auf 12.5 mm/Woche), die im Niederschlag enthaltenen Elemente wurden dann zurückgehalten und führten später zu einer höheren Konzentration.

Ca wurde als CaCO_3 mit Kalkammonsalpeter (33%) gegeben. Der Konzentrationsverlauf im Sickerwasser (Abb. 40) war auch hier ähnlich. Bei den stärkeren Niederschlagsmengen wurden die Werte der ungedüngten Humusproben schneller erreicht, bei allen Niederschlagsmengen nach etwa 2 Monaten, danach sank die Konzentration noch unter die der ungedüngten Proben. Insgesamt wurden von der zugegebenen Ca-Menge nur zwischen 15 und 25% ausgewaschen. THEMLITZ (1967) fand ähnliche Verhältnisse für dieses Element wie auch für Mg. Mg (Abb. 41), das mit den Düngern zugegeben wurde, zeigte einen ähnlichen Verlauf wie Ca, allerdings in der Auswaschung verzögert, nach THEMLITZ ebenfalls im Verhältnis zur Zugabe wesentlich geringer.

Die viel höhere Al-Konzentration im Sickerwasser der gedüngten gegenüber den ungedüngten Humusproben (Abb. 42) ging rasch bis zum Konzentrationsausgleich zurück (1-2 Monate bzw. 3 Monate beim geringsten Niederschlag), allerdings blieben die Al-Konzentrationen der gedüngten gering höher. Die Al Auswaschung erfolgte besonders bei höherem Angebot an anderen Kationen wie NH_4 , Ca, K und Mg sehr stark. Interessant ist, daß in den gedüngten Humusproben die Konzentration in den letzten Wochen bei Al höher blieb, dagegen bei Ca und Mg geringer war. Eine Verdrängung von Al aus den organischen Austauschern durch diese Kationen ist möglich.

Mn wurde anfänglich stärker ausgewaschen (Abb. 43), was mit dem pH-Verlauf im Zusammenhang stand. Zuerst zeigten die gedüngten Humusproben einen etwas geringeren pH-Wert an (Düngungseffekt) was von höheren Mn-Auswaschungen begleitet wurde, danach war das Verhältnis umgekehrt, höhere pH-Werte

und geringere Mn Auswaschung bzw. Mobilität dieses Elements, allerdings blieb die ausgewaschene Mn-Menge nach einem Jahr in den gedüngten Humusproben höher (THEMLITZ 1967).

Die Düngung bewirkte eine höhere P-Mobilität bzw. Löslichkeit, was in der Konzentration des Sickerwassers der gedüngten Humusproben festzustellen ist (Abb. 44). Die Erhöhung der Bodenorganismenaktivität (im Laufe der Meßzeit trat eine höhere Zahl von Sprigschwänzen und Milben in den gedüngten Humusproben auf) kann die Mineralisierung gefördert haben und somit die Freisetzung von größeren Mengen an löslichen Phosphaten. Teils kommt das auch in einer höheren Auswaschung von organischer Substanz (THEMLITZ 1967) zum Ausdruck. Nach 5-6 Monaten klingt der Effekt (unabhängig von der Düngergabe) wieder ab.

Zusammenfassend läßt sich über den Versuch sagen:

Die mit den Düngern zugegebenen Elemente N und K wurden mit zunehmender Niederschlagsmenge rascher ausgewaschen. Bei gleichmäßig verteilten Niederschlägen von 600-900 mm im Jahr ist nach 2 Monaten eine Auswaschung von 50% der N-Gabe (Kalkammonsalpeter), von 60% der K-Gabe (40er Kali) aus dem Auflagehumus zu erwarten. Nach 5 Monaten (eine Vegetationsperiode etwa) schon 2/3 des N und 75% des K. Bei höheren Niederschlagsmengen ist bei N die Auswaschung erheblich schneller und intensiver, bei 2.300 mm z.B. (195 mm/Monat) bereits 80% der N-Gabe nach 3 Wochen. Die K-Auswaschung erfolgt in dieser Hinsicht unabhängiger von der Niederschlagsmenge (ab 600 mm etwa gleich hoch).

Eine höhere Düngergabe bewirkt bei konstanter Niederschlagsmenge nach THEMLITZ (1967) nur höhere Auswaschungsmengen (bzw. höhere Verluste). Bei Kalkammonsalpeter konnten bei höherer Düngergabe im Sickerwasser viel höhere Konzentrationen bei 1.0-1.5 m Tiefe gemessen werden, KREUTZER und WEIGER (1974).

Die Auswaschung hängt von der Niederschlagsverteilung ab. Bei höheren Niederschlägen ist anhand dieses Versuches eine schnellere Auswaschung zu erwarten, bei geringeren und gut verteilten aber kann sie stark verzögert werden bzw. nicht eintreten, wenn die Niederschlagsmenge die Evaporationsrate (Bodenoberfläche) nicht übersteigt.

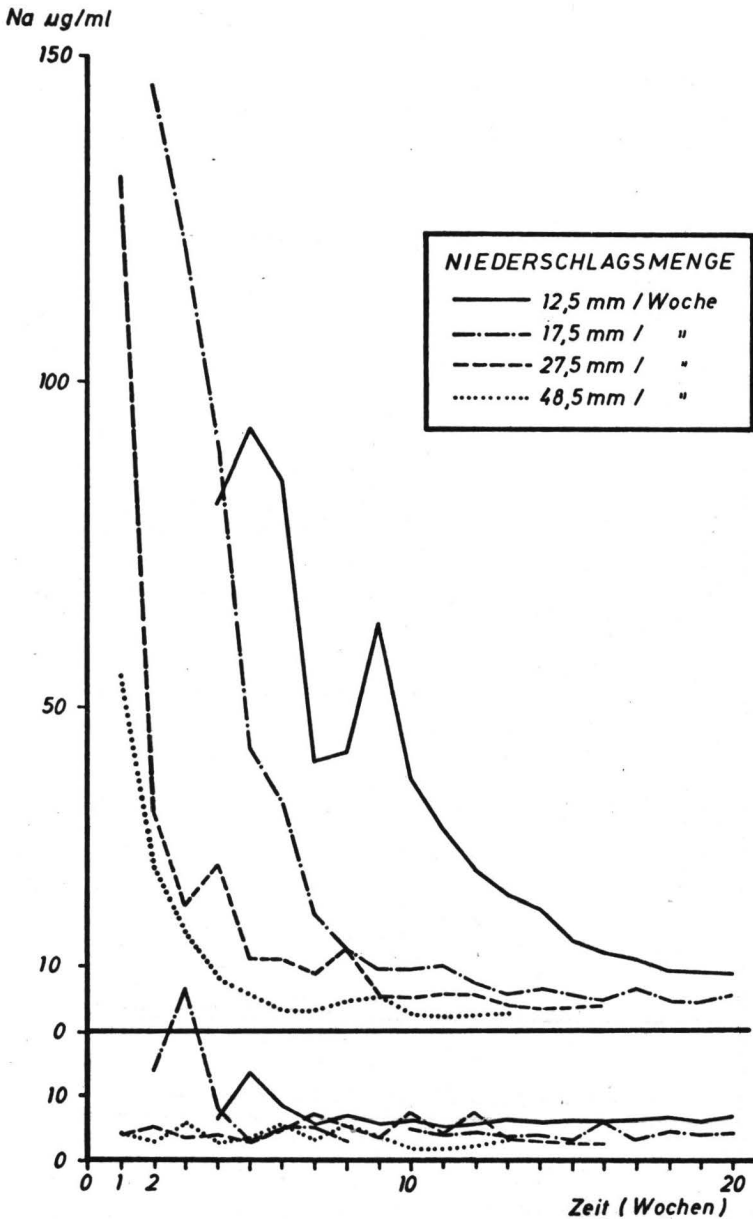


Abb. 39 Zeitlicher Verlauf der Na - Konzentration.
Unten : ungedüngt

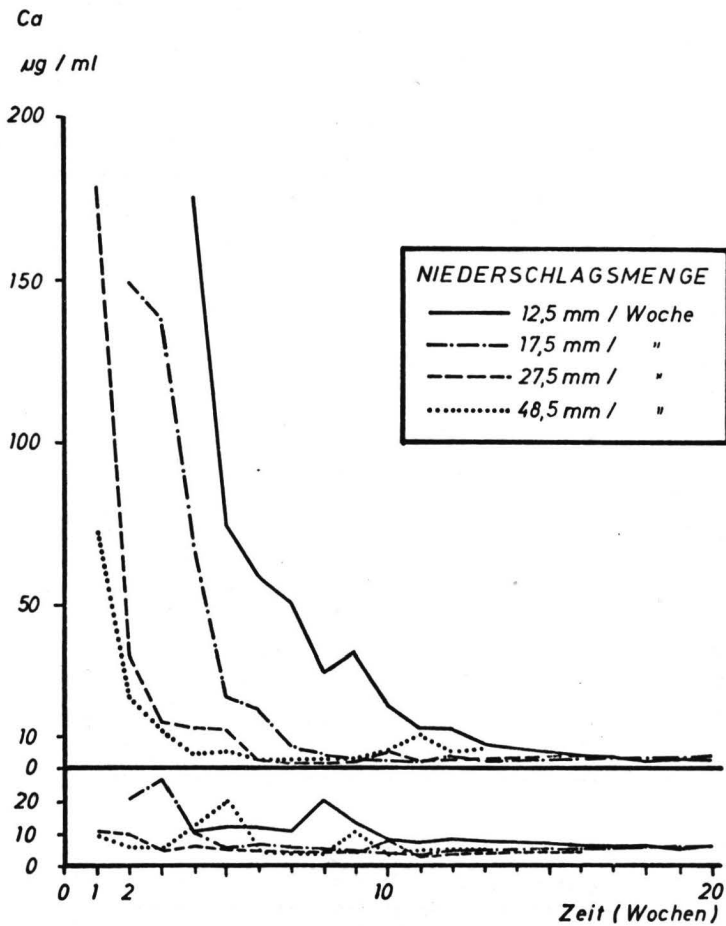


Abb. 40 Zeitlicher Verlauf der Ca - Konzentration.
Unten : ungedüngt

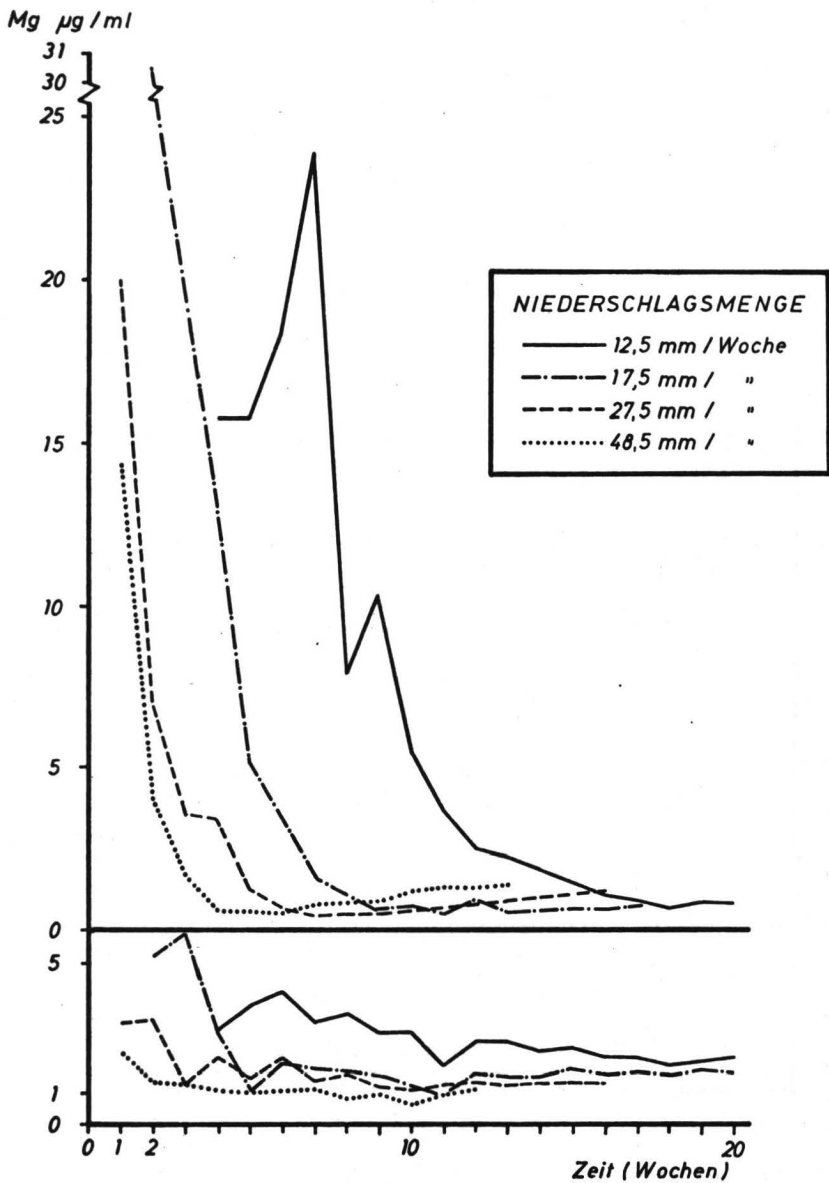


Abb. 41 Zeitlicher Verlauf der Mg-Konzentration.
Unten: ungedüngt

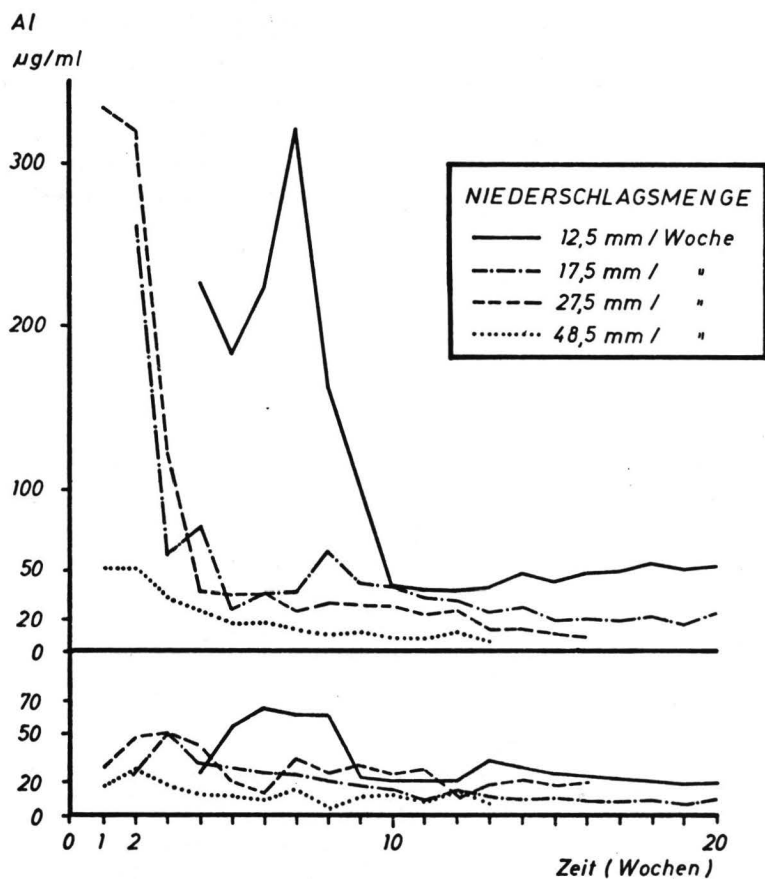


Abb. 42 Zeitlicher Verlauf der Al - Konzentration .
Unten : ungedüngt

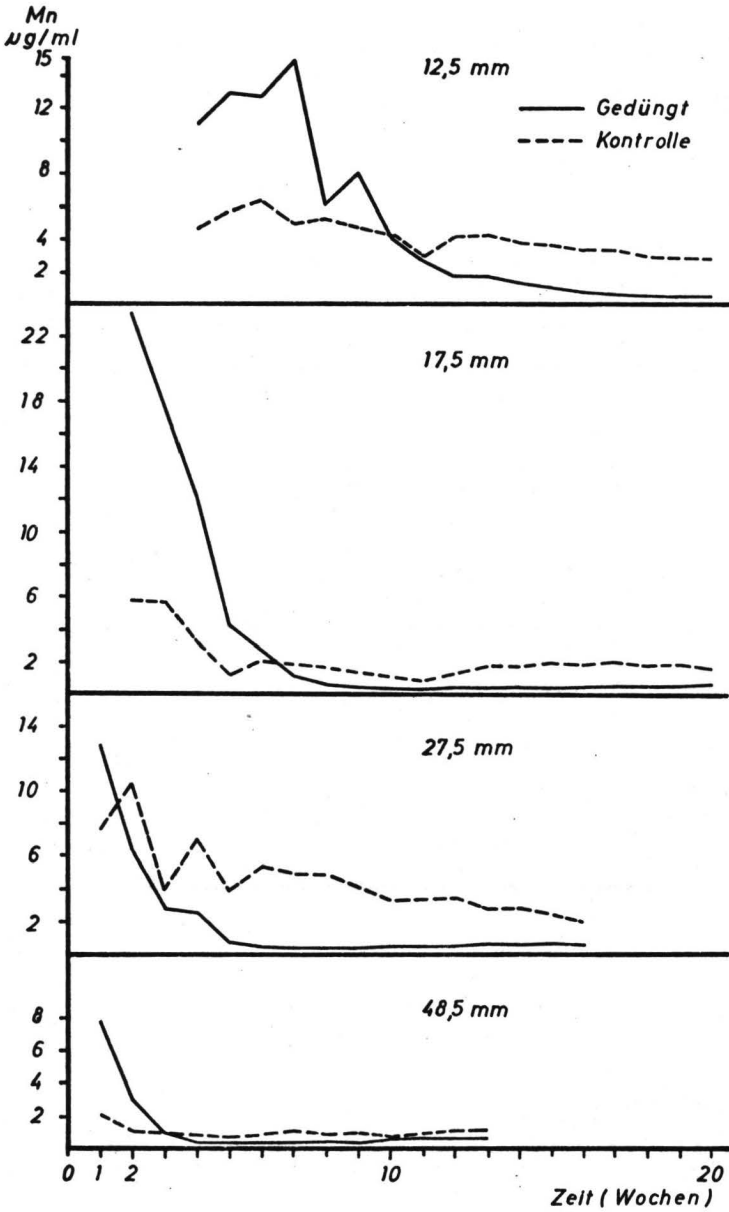


Abb. 43 Zeitlicher Verlauf der Mn-Konzentration.

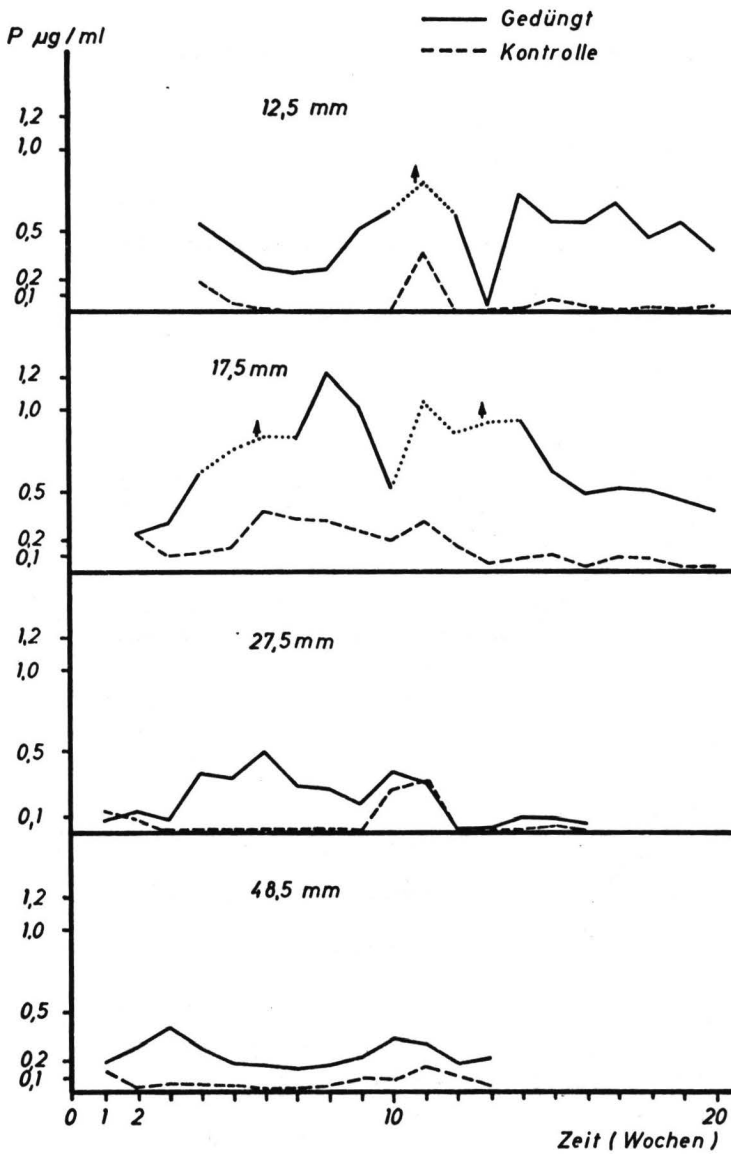


Abb. 44 Zeitlicher Verlauf der P-Konzentration

5. Diskussion

Die am Unterhang liegende Versuchsfläche zeigt tieferen Boden, stärkere Lößbeimischung und bessere Wasser- und Nährstoffversorgung als hangaufwärts. Die Nährstoffversorgung sollte der Ertragsklasseneinordnung nach (0.4) gut sein. Die Ergebnisse der Bodenuntersuchungen lassen aber auf eine schwache N-(stickstoffarmer Moder), P-(geringer Gehalt des Bodens) und Ca-(starksaurer Boden) Versorgung schließen, bei N ist das durch die Nadelanalyse bestätigt worden.

Optimalwüchsige Fichtenbestände können bei sehr unterschiedlicher Trophie vorkommen, auch bei geringem Nährstoffvorrat und -angebot der Böden, wenn der Wasserhaushalt günstig ist, (FIEDLER et al. 1965). Ein Boden geringerer Trophie bzw. mit geringer nachschaffender Kraft (WITTICH) ist aber labiler gegenüber einem Nährstoffexport vom Standort (z.B. durch Holzentnahme, Streunutzung oder Erosion), oder gegenüber einem hohen Nährstoffbedarf in bestimmten Phasen der Bestandesentwicklung sowie gegenüber Umwelteinflüssen wie z.B. SO_2 -Immission und Ausfilterung aus der Luft. Um Ertragsminderungen zu vermeiden bzw. die Bodenfruchtbarkeit und den Ertrag zu erhalten, ist in diesen Fällen eine Düngung nötig (GUSSONE et al. 1972), zumal durch diese auch bei optimalwüchsigen Fichtenbeständen ein höherer Zuwachs (der Düngerkosten decken könnte) zu erwarten ist, HAUSSER und WITTICH (1969).

In das in Abbildung 1 dargestellte Oekosystem ist ein Eingriff in Form einer N, K, P, Ca-Düngung, oberflächlich auf dem Auflagehumus ausgestreut, erfolgt. Der untersuchte Standort ist, außer bei K, durch Labilität an diesen Nährstoffen gekennzeichnet. Da sich der Bestand im Baumholzalter befindet, dürfte hauptsächlich die N-Versorgung einen Engpaß darstellen.

Nach vorliegenden Erfahrungen und Ergebnissen wird die N-Düngung den N-Mangel nur zeitweilig beheben. Die P- und Ca-Düngung wird dagegen eine langfristig verbesserte Nährstoffversorgung und Nährstoffhaushaltsregulierung ermöglichen. Die K-Düngung dient hauptsächlich zum zeitweiligen Ausgleich des Nährstoffangebots (HAUSSER und WITTICH 1969; GUSSONE et al. 1972; ULRICH 1974).

Tabelle 24 zeigt die Vorräte einiger Bioelemente in den drei größeren Kompartimenten (Ausgangsinventur) und ihren Anteil am gesamten Oekosystem. Vom Gesamtvorrat des Oekosystems befinden sich im Bestand bei C - 61%, K - 49%, Ca - 31%, Mg - 27%, P - 18% und N - 13%. Zur Berechnung der Vorräte im Mineralboden diene bei N der Gesamt-N, bei P der mobilisierbare P ($P_{Al} + P_{Fe} + P_{org.} = \text{ca. } 1/3$) bei den Kationen die austauschbaren Mengen, beim Auflagehumus dagegen ihre gesamten Mengen.

Die mit der Düngung zugegebenen Bioelementmengen, berechnet im Prozent der im Oekosystem und im Boden (Auflagehumus und Mineralboden) vorhandenen Vorräte, sind der Tabelle 24 zu entnehmen.

Die Stickstoffdüngung erfolgte frühzeitiger als allgemein empfohlen (GUSSONE 1964; VIRO 1970), zusammen mit dem Kalium Ende März 1971. Die mäßigen Niederschläge (Bestand: 45-50 mm bis zur Kalkung im Juni 1971) verlagerten, nach dem durchgeführten Humusauswaschungsversuch zu schließen, 40-50% des oberflächlich gestreuten N in den Oberboden (höhere Mengen in den Auflagehumus). Die Verlagerung ließ 2 Monate später auch eine Kalkung (hier mit Phosphatdüngung) zu. Darauf folgte ein niederschlagsreicher Monat Juni (65 mm im Bestand) der die N- und K-Verlagerung aus dem Auflagehumus auf 60-70% erhöht haben kann (Abb. 36 und 38).

Insgesamt fielen im Bestand 375 mm Niederschlag im Laufe des Meßzeitraumes. Aufgrund des erwähnten Humusaus-

Tabelle 24: Bioelementinventur - Fichtenreinbestand auf saurer Pseudogley-Braunerde
(Ausgangsinventur)

Kompartiment	Bioelemente in kg/ha											
	C	%	N	%	K	%	P	%	Mg	%	Ca	%
1) Bestand	130.000	61	553	13	420	49	77	18	68	27	322	31
Auflagehumus	23.000	11	696	17	83	10	63	14	60	24	185	18
Mineralboden 0 - 50 cm	60.000	28	2.900	70	356	41	295	68	125	49	528	51
Oekosystem	213.000	100	4.150	100	859	100	435	100	253	100	1.035	100
Düngung kg/ha	-	-	200	4-5	150	15-	100	20-	65	25-	1.015	95-
bzw. in % des Vorrats im Oekosystem						-20		-25		-30		-100
in % des Boden- vorrats	-	-		5-6		34		38	35	- 40	140	- 145

N = Gesamt N; P = mobilisierbarer P im Mineralboden; Kationen = austauschbare Mengen
(Mineralboden)

Auflagehumus: Gesamt - P

Auflagehumus: Gesamt-Menge

1) Angaben aus Tabelle 2

waschungsversuchs kann gefolgert werden, daß bei diesen Wassermengen im Fall von N zwischen 65 - 75% von K etwa 75% der Düngergabe aus dem Auflagehumus in den Mineralboden perkoliert sein können. Das stimmt mit der K-Bilanz überein. Im Auflagehumus werden nur noch 20-25% des zugegebenen K in der Endinventur festgestellt. Die verhältnismäßig niedrigen Düngergaben an Stickstoff und die Streuung der Werte innerhalb und zwischen den Parzellen lassen eine exakte Bilanz dieses Elements nicht zu. Aus den Werten der Gleichgewichtsbodenlösung folgt, daß ein großer Teil des $\text{NH}_4\text{-N}$ im Oberboden verblieb, der $\text{NO}_3\text{-N}$ dagegen schon tiefer in den Boden verlagert wurde (Abb. 29). Wird die K-Verteilung im Mineralboden verfolgt, zeigt diese Aehnlichkeit mit der des $\text{NH}_4\text{-N}$.

Ca und P sind praktisch noch vollständig im Auflagehumus (90-100%) (Tabelle 21) und nur gering im Oberboden angereichert (0-10 cm). Sie werden nur langsam verlagert, teils in den Nährstoffkreislauf eingeschleust und teils im Mineralboden festgelegt (P) oder aus dem Wurzelbereich ausgewaschen (Ca). (SEIBT et al. 1966 ; HAUSSER und WITTICH 1969; ULRICH und KEUFFEL 1970). Mit den Düngern wurden dem Auflagehumus außerdem noch Na (das weitgehend über alle Tiefen verteilt in den Mineralboden verlagert wurde), Mg, Al, Mn und Fe (Tabelle 21) zugeführt.

Die Anreicherung an Na (alle Tiefen), K und Ca im Oberboden ist in der Gleichgewichtsbodenlösung und auch bei den austauschbaren Kationen festzustellen. Die Düngung bewirkt eine höhere Basensättigung (hauptsächlich in 0-10 cm), die zwar gering ist, doch von Bedeutung sein kann.

Die signifikant höhere Konzentration an Cl in der Gleichgewichtsbodenlösung (Abb. 29) läßt vermuten, daß die Kationen hauptsächlich als Chloride verlagert wurden, teils auch als Nitrate und Sulfate.

Output

Aufgrund der Niederschlagsverteilung in der Versuchszeit ist eine geringe Auswaschung leicht löslicher Salze ($\text{NO}_3\text{-N}$ aus Dünger) aus dem Wurzelbereich im Frühjahr 1971 möglich gewesen (Output) (mit Tensiometern erfaßt, Abb. 21, 22 u. 23). Bei dem trockenen Sommer und Herbst, wie auch dem folgenden sehr trockenen Winter 71/72, war eine weitere Auswaschung der Bioelemente aus dem Wurzelbereich unwahrscheinlich. Erst die höheren Niederschläge im Frühjahr 1972 brachten die Auswaschungsdynamik wieder in Gang (zusätzlich mit Lysimetern erfaßt). Im Juli 1972 befand sich noch der größte Teil der Dünger im Wurzelbereich (Abb. 30 u. 31) hauptsächlich im Oberboden. Die ausgewaschene Menge kann nur gering gewesen sein, da bei den Tensiometer- und Lysimetermessungen nur wenig Sickerwasser festgestellt wurde.

Aus den gedüngten Parzellen wurden mit dem Sickerwasser höhere Mengen an N, Na, Ca, Cl, Al und H, ausgewaschen (Abb. 25 und Tab. 25) als aus den ungedüngten. N, Na, Ca und Cl stammen im wesentlichen direkt aus der Düngung, Al und H indirekt aufgrund eines Austausches durch Düngerkationen. Deutlich höher waren die Mengen an N, Cl, Al und H. Die N-Konzentration, hauptsächlich als $\text{NO}_3\text{-N}$ (um 30 mg/l), lag innerhalb der Werte, die KREUTZER und WEIGER (1974) in Bayern bei ähnlichen Düngergaben gemessen haben. Insgesamt gesehen ist der Output aus dem Ökosystem nur gering gewesen.

Nährstoffkreislauf

Die Niederschlagsmenge des Gebietes (680 mm) sollte in einem durchschnittlichen Jahr für die Fichte ausreichend sein, in niederschlagsarmen Jahren aber könnte es zu periodischem Wassermangel kommen. Wenn der Wasserhaushalt und Nährstoffkreislauf des gesamten Ökosystems betrachtet wird, muß berücksichtigt werden, daß das Jahr 1971 trocken war (465 mm) mit einem Niederschlagsdefizit von 31%. Allerdings

waren Spätfrühjahr und Frühsommer feucht (zur Zeit der höchsten Vegetationsansprüche). Der trockene Sommer kann danach die Nährstoffaufnahme beschränkt haben. In 20-30 cm Bodentiefe wurden im Spätsommer und Oktober Messungen durchgeführt, die ergaben, daß noch eine Wassermenge entsprechend ca. 50% der Feldkapazität vorhanden war (der Welkepunkt ist somit in dieser Tiefe nicht erreicht worden). Bei höheren Saugspannungen als der Feldkapazität (ca. 0.3 atm) entspricht, kann die Wasseraufnahme eingeschränkt werden; bei einer Wassermenge von 45% der Feldkapazität im Boden war gegenüber einer von 75% bei Pinus radiata-Pflanzen ein niedrigerer Wasserverbrauch (Transpiration) und geringeres Höhenwachstum festzustellen (JACKSON 1969). Sogar bei einem Jahresdurchschnitt von 950 mm wurde festgestellt, daß höhere Niederschläge einen besseren Zuwachs der Fichte ermöglichen (HAUSSER und WITTICH 1969).

Durch das begrenzte Wasserangebot ist zu erwarten, daß in der Vegetationsperiode 1971 der untersuchte Bestand eine Zuwachsdepression erfuhr.

Trotz geringerer Niederschläge ist in den gedüngten Parzellen eine höhere Aufnahme in den Bestand erfolgt, was die Nadelanalyse zeigt (Tabelle 22). Hier war N in den halbjährigen Nadeln des 1. Quirls der Düngungspartzellen signifikant höher. Die Unterschiede bei den anderen Elementen waren nicht gesichert.

Tabelle 25 zeigt die Jahresbilanz der gemessenen Flüsse als Durchschnitt der 4 Versuchspartzellen (gedüngt und ungedüngt). Für den Input durch Niederschläge ergeben sich, wird der Zeitraum Juni 1971 - Juni 1972 ohne Januar 1972 berücksichtigt, 676 mm, was einem durchschnittlichen Jahreswert entspricht. Der Bioelementinput mit den Niederschlägen liegt in der gleichen Größenordnung wie im Solling (MAYER 1971).

NH₄-N, Al, Ca und Cl zeigten gesichert höhere Mengen im

Tabelle 25: Jahresbilanz der Bioelementflüsse; Düngungsversuch N K P Ca - Fichtenreinbestand (45 Jahre)

Fluß	Bioelementmengen kg/ha														
	H	Na	K	NH ₄ -N	NO ₃ -N	G-N	Ca	Mg	Fe	Mn	Al	Cl	S	P	Si
1. Input mit Freilandniederschlag	.6	4.8	3.1	11.0	5.0	15.8	13.2	2.8	.7	.21	.78	11.6	23.4	.55	-
2. Kronendurchlaß	1.9	5.6	27.8	(*10%) 9.4	7.4	19.1	26.4	4.5	1.44	5.35	6.33	20.7	74.4	.8	-
3. Kronenauswaschung	1.3	.8	24.7	-1.6	2.4	3.3	13.2	1.7	.7	5.1	5.5	9.0	51.0	.3	-
4. Nadelfall	-	1.1	13.2	-	-	24.4	29.6	2.5	1.19	13.0	.57	-	-	2.6	48.1
5. 3. + 4.	1.3	2.0	39.2	-1.6	2.4	30.1	45.8	4.45	2.0	19.5	6.1	9.0	51.0	3.1	53.0
6. Zuwachs	-	.06	4.84	-	-	6.9	13.0	1.47	1.55	3.0	.13	-	-	.41	2.0
7. Nährstoffaufnahme (5. + 6.)	-	2.1	44.0	-	-	37.0	58.8	5.9	3.5	22.5	6.2	(9.0)	(51.0)	3.5	55.0
8. Output 0-1.4 mm	.004	.3	.08	0	.006	.017	.75	.37	.0009	.12	.032	.7	1.11	.0002	-
D-8 mm	.112	2.3	3.78	.012	2.68	2.73	4.78	1.01	.006	1.03	1.22	7.5	3.41	.0009	-

2. und 3. enthalten die aus der Umwelt gefilterten Bioelemente. Dadurch sind 5. und 7. eigentlich etwas geringer.

6. Zuwachs ist hier nur Derbholz (Holz = 90%; Rinde 10%). Die Bioelementgehalte wurden aus PAVLOV (1972) entnommen.

Zuwachs nach WIEDEMANN und SCHÖBER (1957) (6.500-7.000 kg/ha/Jahr = Trockenmasse von ca. 18 fm)

5. Bioelementmengenrückkehr auf den Boden aus dem Bestand (Kronenteile und Kronenauswaschung).

8. Sickerwasser des Monats Juni 1972, 0 = ungedüngt, D - gedüngt;

5. und 7. Dem Nadelfall wurden für diese Berechnungen noch 10% Zweiganteile zugezählt.

Kronendurchlaß der gedüngten Parzellen (Abb. 17), in Tabelle 25 sind diese Signifikanzen eingetragen. Gering höhere Mengen an K, $\text{NO}_3\text{-N}$, Gesamt-N, Mg, Fe, S und P waren in der Kronentraufe der gedüngten Parzellen ebenfalls festzustellen, allerdings nicht gesichert.

In der Streu sind zwar in einzelnen Monaten gesicherte Unterschiede nachzuweisen, sie lassen aber eine durch Düngung verursachte Tendenz kaum erkennen (Abb. 19a und b), abgesehen von Andeutungen einer Mengenerhöhung auf den gedüngten Parzellen, z.B. bei N (Abb. 20). Die Streu dieses Standorts ist im Vergleich zu anderen Angaben z.B. von DIETRICH (1965), HAUSSER und WITTICH (1969), stickstoffärmer. Ein Düngungseffekt ist nach einem Jahr auch kaum zu erwarten, da die Nadelstreu hauptsächlich aus alten absterbenden Nadeln besteht, die von der Düngung nichts aufgenommen haben.

Untersuchungen in Finnland zeigten, daß die Wirkung einer Düngung zu Fichte erst in der 2. Vegetationsperiode richtig zum Ausdruck kommt, sowohl im Nährstoffgehalt der Nadeln wie auch im Zuwachs (VIRO 1970).

Aus den bisherigen Darstellungen geht hervor, daß die Bioelemente aus der Düngung in erster Linie innerhalb der Wurzelschicht verteilt wurden. Vom Bestand können nur geringe Mengen aufgenommen worden sein, nachzuweisen sind sie in den halbjährigen Nadeln sowie im Kronendurchlaß. Der Versuchszeitraum war aber zu kurz, um den Düngungseffekt im Nährstoffkreislauf vollständig zu erfassen. Auch die Anzahl der Mischproben für die Analyse war etwas gering, die Aussagekraft somit eingeengt.

Schon der Input der Bioelemente durch die Niederschläge war größer als der Output, der nur bei Mn und Al in den gedüngten Parzellen etwas höher, bei K dagegen gleich hoch lag. Für die folgende Vegetationsperiode sind die zugegebenen Bioelemente somit noch nahezu vollständig im Wurzelbereich vorhanden.

6. Literaturverzeichnis

- ANONYMUS, 1954: "Erläuterungen zur Standortskartierung". Standortstypen und Kartenanteil für Forstamt Radolfshausen.
- ANONYMUS, 1973: "Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten der Bundesrepublik Deutschland". 17. Jahrgang, Verlag Paul Parey
- ATANASIU, N. und BEUTELSPACHER, H. 1961: "Bohrgerät für die kontinuierliche und volumetrische Bodenentnahme unter natürlichen Bedingungen". Z. Acker- und Pflanzenbau 113 (338-41)
- BAUM, U., 1974: "Stickstoffmineralisierung und Stickstofffraktionierung von Humusformen unterschiedlicher Waldökosysteme". Unveröffentlicht
- BARON, H., 1954: "Die kolorimetrische Bestimmung der Mikro-nährstoffe Kobalt, Molybdän, Eisen, Zink, Mangan und Kupfer nebeneinander im Rauhfutter". Landw. Forsch. 6, (13-20)
- BENECKE, P. "Vorlesungsskripten" (128 pp) , 1973
- BLAKE, G.R., 1965: "Particle density". In Methods of Soil Analysis (Black, C.A. et al. Eds.) (371-73). American Society of Agronomy, Madison, Wisconsin, U.S.A.
- BÜHLER, A., 1918: "Der Waldbau nach wissenschaftlicher Forschung und praktischer Erfahrung". I. Bd. in RUBNER, K. (Die pflanzengeographischen Grundlagen des Waldbaus, 1960).
- CERNEY, P., 1968: "Ueber den Einfluß der Kalkdüngung auf die chemischen Eigenschaften von Fichtenhumus". Arch.Forstw. 17 (5) (513-30)
- CHANG, S.C. und JACKSON, M.L., 1957: "Fractionation of soil phosphorus". Soil Sci 84 (133-44)
- DIETRICH, H., 1967: "Streufall und Nährstoffgehalt der Streu in einem Fichtenbestand auf einer Kalkdüngungsversuchsfläche". Tagung Ber.Nr. 84, DAL Berlin
- EVERS, F.H., 1972: "Die jährweise Fluktuation der Nähr-elementkonzentration in Fichtennadeln und ihre Bedeutung für die Interpretation nadelanalytischer Befunde". Allg. Forst- u. Jagdztg. 143 (3/4) (68-74)

- FASSBENDER, H., 1966: "Löslichkeit und Lösungsgeschwindigkeit von Thomas- und Rhenaniaphosphat".
Zeitschr. für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 112 (3) (220-28)
- FASSBENDER, H., 1972: "Labor (Praktikums)-Vorschriften".
(34 pp)
- FIEDLER, H.J., HUNGER, W. und PALME, K., 1965: "Ueber den Ernährungszustand optimalwüchsiger, älterer Fichten auf terrestrischen Böden unterschiedlicher Trophie".
Arch. Forstw. 14 (9) (987-1001)
- GUSSONE, H.A., 1964: "Faustzahlen für Düngung im Walde".
Bayerischer Landwirtschaftsverlag, München (98 pp)
- GUSSONE, H.A., REHFUESS, K.E. und ULRICH, B., 1972: "Entwicklungstendenzen der Forstdüngung".
Allg. Forst- u. Jagdztg. 143 (3/4) (41-48)
- HAUSSER, K. und WITTICH, W., 1969: "Ergebnisse eines Düngungsversuchs zu 66jährigen Fichten auf einem typischen Standort des oberen Buntsandsteins im Württ. Schwarzwald".
140 (2-4) (25-34; 49-62; 88-99)
- HSU, P.H., 1963: "Effect of initial pH, phosphate and silicate on the determination of aluminium with aluminon".
Soil Sci. 96 (230-38)
- JACKSON, M.L., 1956: "Soil chemical analysis advanced course". (991 pp)
- JACKSON, D.S., 1969: "Evaluation of site factors for Pinus radiata".
Report of Forest Res. Inst., New Zealand For. Serv. (28-30)
- KHANNA, P. and ULRICH, B., 1967: "Phosphatfraktionierung im Boden und isotopisch austauschbares Phosphat verschiedener Phosphatfraktionen".
Z. Pflanzenern. u. Bodenkunde 117 (53-65)
- KREUTZER, K., 1967: "Ernährungszustand und Volumenzuwachs von Fichtenbeständen neuer Düngungsversuche in Bayern".
Forstwiss. Cbl. 86 (3) (176-89)
- KREUTZER, K. und WEIGER, H., 1974: "Untersuchungen über den Einfluß forstlicher Düngungsmaßnahmen auf den Nitratgehalt des Sickerwassers im Wald".
Forstwiss.Cbl. 93, (57-74)
- MAYER, R., 1971: "Bioelement-transport im Niederschlagswasser und in der Bodenlösung eines Wald-Oekosystems".
Diss.Univ.Göttingen; Göttinger Bodenkundliche Berichte 19 (1-119)

- MEHLICH, A., 1942: Soil Sci. 53 (115); J. Assoc. Off. Agric. Chem. 36 (445), 1953
- MITSCHERLICH, G., 1971: "Wissenschaft und Fortschritt, aufgezeigt am Beispiel: Wald und Wasser". Allg. Forst- u. Jagdztg. 142 (10) (237-46)
- NEBE, W., 1967: "Zur Manganernährung der Fichte". Arch. Forstw. 16 (2) (109-18)
- NIHLGÅRD, B., 1962: "Distribution of rainfall in beech and spruce forest, a comparison". Abstr. in Bot. Noticer 122 (2) (308-9)
- PAVLOV, M.B., 1972: "Bioelement-Inventur von Buchen- und Fichtenbeständen im Solling" Diss.Univ. Göttingen, Göttinger Bodenkundliche Berichte 25 (1-174)
- SEIBT, G. et al., 1968: "Untersuchungen über den Einfluß verschiedener Düngungsmaßnahmen auf Ertragsleistung, Holzeigenschaften, nadelanalytische Merkmale und Bodenzustand des Fichtenbestandes im Düngungsversuch Oerrel-Lintzel". Allg. Forst- u. Jagdztg. 139 (3) (25-72)
- SCHEFFER, F. und SCHACHTSCHABEL, P., 1970: "Lehrbuch der Bodenkunde". Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 7. Auflage (448 pp)
- SCHMIDT, A., 1966: "Gedanken zur elektronischen Auswertung von Versuchsflächenaufnahmen". Forstwiss.Cbl. 85 (178-88)
- SCHMIDT, A., 1967: "Der rechnerische Ausgleich von Bestandshöhenkurven". Forstwiss. Cbl. 86 (370-82)
- SCHÖBER, R. und SEIBT, G., 1971: "Structure and timber production of the forest stands". In Ecological Studies 2, Integrated Experimental Ecology (Ed. by H. Ellenberg; 214 pp) (37-44)
- THEMLITZ, R., 1967: "Stickstoff- und Mineralstoffauswaschung aus Rohhumus bei Düngung mit Kalkstickstoff im Vergleich zu Kalkammonsalpeter und deren Einfluß auf die Rohhumusumwandlung". Allg. Forst- u. Jagdztg. 138 (2/3) (58-62)
- ULRICH, B., HEMPLER, K. u. BENZLER, J.H., 1960: "Zur analytischen Bestimmung von Gesamtphosphorsäure und laktatlöslicher Phosphorsäure in Bodenproben". Phosphorsäure 20 (344-347)
- ULRICH, B., 1966: "Kationenaustausch-Gleichgewichte in Böden". Zeitschr. für Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde 113 (2) (141-59)

- ULRICH, B., 1968a: "Charakterisierung des Nährstoffzustandes von Böden".
Göttinger Bodenkundl. Berichte 1, (111-126)
XIV - IUFRO Kongress 1967
- ULRICH, B., 1968b: "Ausmaß und Selektivität der Nähr-
elementaufnahme in Fichten- und Buchenbeständen".
Aus 23/1. Sonderheft, Landwirtschaftliche
Forschung (110-12)
- ULRICH, B., 1969: "The ecological information value of soil
chemical data".
Proc. Brussels Symp. Productivity of forest
ecosystems, UNESCO 1971
- ULRICH, B. und KHANNA, P.K., 1969: "Oekologisch bedingte
Phosphatumlagerung und Phosphatformenwandel bei
der Pedogenese".
Flora 158 (594-602)
- ULRICH, B. und KEUFFEL, W., 1970: "Auswirkungen einer Be-
standskalkung zu Fichte auf den Nährstoffhaus-
halt des Bodens".
Forstarchiv 41 (2) (30-35)
- ULRICH, B., AHRENS, E. und ULRICH, M., 1971: "Soil chemical
differences between beech and spruce sites - an
example of the methods used".
In Ecological Studies 2, Integrated Experimental
Ecology (Ed. by H. Ellenberg; 214 pp) (171-90)
- ULRICH, B., 1972a: "Ein standörtliches Entscheidungs-
modell für die Planung der Phosphatdüngung von
Waldbeständen".
Die Phosphorsäure 29 (2/3) (220-36)
- ULRICH, B., 1972b: "Betriebswirtschaftliche Konsequenzen
von Eingriffen in den Nährstoffhaushalt von Wald-
Ökosystemen".
Forstarchiv 41 (7) (129-132)
- ULRICH, B., 1972c: "Chemische Wechselwirkungen zwischen
Wald-Ökosystemen und ihrer Umwelt".
Forstarchiv 43 (3) (41-3)
- ULRICH, B., 1972d: "Forstdüngung und Umweltschutz".
Allg. Forstzeitschr. 9 (10)
- ULRICH, B. und MAYER, R., 1973: "Systemanalyse des Bio-
element-Haushalts von Wald-Ökosystemen".
In Ökosystemforschung (Ed. H. Ellenberg)
(167-74)
- ULRICH, B., STEINHARDT, U. und MÜLLER-SUUR, A., 1963:
"Untersuchungen über den Bioelementgehalt in
der Kronentraufe".
Göttinger Bodenkundliche Berichte 29
(133-92)

- ULRICH, B., 1974: "Standörtliche Grundlagen einer Düngungsplanung im niedersächsischen Tiefland".
Der Forst- und Holzwirt 29 (2) (29-32)
- VIRO, P.J., 1970: "Time and effects of forest fertilization".
Commen.Inst.For.Fenn. 70 (5) (17 pp.)
- WEHRMANN, J., 1963: "Die Beurteilung der Stickstoffernährung von Fichten und Kiefernbeständen".
Allg. Forstzeitschrift 18 (32/33) (502-4)
- WEIHE, J., 1970: "Warum noch immer Interzeptionsuntersuchungen im Wald".
In Untersuchungen in Nordwestdeutschland über die Beziehungen zwischen Wald und Wasser.
Mitteilung des Arbeitskreises Wald und Wasser Nr. 5
- WILL, G.M., 1959: "Nutrient return in litter and rainfall under some exotic conifer stands in New Zealand".
N.Z.J. Agr.Res. 2 (4) (719-34)
- WITTICH, W., 1961: "Die Grundlagen der Stickstoffernährung des Waldes und Möglichkeiten für ihre Verbesserung".
In: Der Stickstoff - Seine Bedeutung für die Landwirtschaft und die Ernährung der Welt (335-69)
- WITTICH, W., 1964: "Die Düngung in der Forstwirtschaft".
Ve Congres Mondial des fertilisants. Zürich,
4-7 Mai (16 pp.)
- ZÖTTL, H., 1958: "Ein Vergleich zwischen Ammoniakgas und Stickstoffdüngung in Kiefern- und Fichtenbeständen Bayerns".
Forstwiss. Cbl. 77 (1/2) (1-31)

ANHANG I

Für die mathematische bzw. statistische Auswertung der Feld- und Labordaten wurden verschiedene Rechenprogramme und Varianzanalysenmodelle angewandt, die hier kurz erläutert werden.

1. Berechnung der Bioelementgehalte und -vorräte

Hierfür wurden institutsinterne* Rechenprogramme angewandt, die an der UNIVAC des Göttinger Rechenzentrums berechnet wurden.

- a. NADELANALYSEN - Programm: für Auflagehumus, Nadelstreu
und Nadelanalyse
- b. BODA - Programm: für den Mineralboden
- c. ALIQ - Programm: für Niederschlag, Kronentraufe und
Sickerwasser

2. Statistische Auswertung

Für die statistische Auswertung wurden folgende Modelle der Varianzanalyse angewandt, die an der UNIVAC 1108 des oben genannten Rechenzentrums gerechnet wurden.

Rechenprogramm ANOV 1

VA 1 Modell: $y_{il} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{il}$

a. Auflagehumus (Ausgangszustand)

Ursache	Stufen
A = Parzellen	a = 4
D (A) = Fehler	d = 2

* Institut für Bodenkunde und Waldernährung, 34 Göttingen-Weende,
Büsgenweg 2; Programmierer: Dr. M. Ulrich

b. Kronendurchlaß (Variation zwischen Regenmessern in den Versuchsparzellen)

Ursache	Stufen	VK %	(Mai 1972)
A = Parzellen	a = 4	9.5	
D (A) = Fehler	d = 21	37.8	

c. Nadelfall (Variation zwischen Streufängen in den Versuchsparzellen)

Ursache	Stufen	VK %	(Oktober 1971)
A = Parzellen	a = 4	22.3	
D (A) = Fehler	b = 6	34.3	

Rechenprogramm ANOV 2

VA 2 Modell: $y_{ijl} = \mu + \alpha_i + \beta_{ij} + \epsilon_{ijl}$

a. Mineralboden (Ausgangszustand)

Ursache	Stufen
A = Bodentiefe	a = 5
B (A) = Parzellen	b = 4
D (AB) = Fehler	d = 2

b. Nadelfall (Düngerwirkung)

Ursache	Stufen
A = Düngung	a = 2
B (A) = Parzellen	b = 2
D (AB) = Fehler	d = 2

c. Auflagehumus (Jahresvergleich bzw. Düngerwirkung)

Ursache	Stufen
A = Untersuchungs-jahr (bzw. Düngung)	a = 2
B (A) = Parzellen	b = 2
D (AB) = Fehler	c = 2

d. Nadelanalyse (Düngerwirkung)

Ursache	Stufen
A = Düngung	a = 2
B(A) = Parzellen	b = 2
D(AB) = Fehler	d = 2

VA 3 Modell: $y_{ijl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \epsilon_{ijl}$

e. Kronentraufe (Düngerwirkung)

Ursache	Stufen
A = Düngung	a = 2
B = Monate	b = 12
A × B = Interaktion	
D (AB) = Wiederholungen	d = 2

Rechenprogramm_BMD_02V_

VA 4 Modell: $y_{ijkl} = \mu + \alpha_i + \beta_j + (\alpha\beta)_{ij} + \gamma_{ijk} + \epsilon_{ijkl}$

Mineralboden (Jahresvergleich bzw. Düngerwirkung)

Ursache	Stufen
A = Untersuchungsjahre (bzw. Düngerwirkung)	a = 2
B = Tiefen	b = 5
A × B = Interaktion	
C (AB) = Parzellen	c = 2
D (ABC) = Fehler	d = 2

Anmerkung:

In den Varianzanalysen wurde der Fehler (= D) aus den Probenparallelen berechnet. Er enthält also die Streuung innerhalb der Parzellen, die Streuung der Probenahme sowie den Analysenfehler. Nach früheren Untersuchungen am Institut ist der Analysenfehler klein gegenüber der durch Flächeninhomogenität und Probenahme bedingten Streuung.

Es gelten folgende Bezeichnungen:

$\bar{x}$ = Durchschnittswert; VK = Variationskoeffizient (%);

Für den F-Test gelten folgende (zweiseitigen) Signifikanzschranken: * = 5%; ** = 1%; *** = 0.2%;

VK_{Parzellen} = Variation zwischen den Versuchsparzellen

VK_{Fehler} = Variation innerhalb der Versuchsparzellen, d.h. Probenahmefehler (beinhaltet den Analysenfehler)

F - Tiefe = F-Test der Unterschiede zwischen den verschiedenen Bodenschichten (Tiefen)

F - Düngung = F-Test des Düngungseffektes

F - Jahr = F-Test der Unterschiede zwischen den 2 Inventuren (Jahre und Jahreszeitunterschiede)

F - D × T = F-Test der Interaktion zwischen Düngung und Tiefe

ANHANG II

Im Laborversuch zur Düngerauswaschung aus der Humusschicht wurde folgende Niederschlagsmenge auf die Lysimeter mit den Humusproben gegeben:

Lysimeterfläche : 0.057 m^2

1 mm Niederschlag = $0.057 \text{ l} = 57 \text{ ml}$

Um natürliche Verhältnisse zu erreichen, wurden die Niederschläge an 3 Tagen in der Woche aufgebracht (pro Tag in drei Etappen) nach dem folgenden Schema:

Niederschlag je Woche in mm:

12.5

17.5

27.5

48.5

in Raten von:

in mm/Tag

4.0 4.0 4.5 5.5 5.5 6.5 8.5 8.5 10.5 15.0 15.0 18.5

in ml/Tag

228 228 256 325 325 370 485 485 599 857 857 1055
