

FORSTLICHE SCHRIFTENREIHE
UNIVERSITÄT FÜR BODENKULTUR, WIEN

Band 6

ERICH MILLBACHER

DER EINFLUSS EINER
VERGRASUNG AUF DEN
WASSERHAUSHALT VON
FICHTENKULTUREN

AUS DEM INSTITUT FÜR WALDÖKOLOGIE
DEZEMBER 1992

Millbacher, E.; 1992: Der Einfluß einer Vergrasung auf den Wasserhaushalt von Fichtenkulturen.
Forstliche Schriftenreihe, Univ. f. Bodenkultur, Wien; Bd. 6, 142 S.; Hersg.: Österr. Gesellschaft für Waldökosystemforschung und experimentelle Baumpförschung an der Univ. f. Bodenkultur. ISBN 3-900865-05-1

Kurzfassung: Eine Kahlschlagfläche auf Pseudogley war von *Calamagrostis epigeios* besiedelt und wurde 1984 wieder mit Fichten (*Picea abies*) in fünf Behandlungsvarianten aufgeforstet: A - Zwischenbau von Schwarzerle (*Alnus glutinosa*), B - Nullvariante, C - vierfache Pflanzenzahl, D - jährliches Aussicheln der Reihen, E - frei von Bodenbewuchs durch Herbizideinsatz. Die Auswirkungen dieser Maßnahmen auf den Wasserhaushalt im Kultursicherungszeitraum wurden in Verbindung mit Biomassen-, Blattflächenentwicklung, Nährstoffhaushalt und Interzeption der Vergrasung in den Vegetationsperioden 1984 bis 1986 untersucht.

Aus ursprünglich lockeren *Calamagrostis*-Horsten hatte sich ein Grasökosystem entwickelt, das im fünften Jahr nach dem Kahlschlag das stöndörtlich mögliche Produktionsmaximum erreicht hatte und in dem die Hauptmasse jedes periodisch absterbenden Bestandes in zwei bis drei Jahren abgebaut wird. Entsprechend der gegenläufigen Entwicklung von Wachstum und Zersetzung fanden im Verlauf der Vegetationsperiode keine quantitativ größeren Änderungen in der Gesamtbiomasse, der darin gebundenen Nährstoffmengen und der interzeptionswirksamen Fläche (10-12 m² je m²) statt.

Der Einfluß der Schlagvegetation auf die Bodenwasserverhältnisse überwog im gesamten Untersuchungszeitraum jenen der Forstpflanzen unabhängig von deren Pflanzenzahl. Flächiger Herbizideinsatz in letaler Dosis führte zu permanent höheren Bodenwasserpotentialen. Ähnliche Wirkung zeigten kleinklimatische Einflüsse am Altholzrand im Bereich einer Baumlänge. Mit größerer Entfernung nahm ihre Bedeutung rasch ab. Die Reduktion der transpirierenden Bodenvegetation um 50 % durch die mechanische Freistellung führte zu einem etwas verbesserten Bodenwasserstatus im Wurzelbereich der Forstpflanzen. Der Effekt verringerte sich mit dem Nachwachsen der Grashorste.

Stichwörter: Bestandesrand; Blattfläche; Bodenwasserhaushalt; *Calamagrostis epigeios*; Fichte; Forstkultur; Interzeption; Kulturpflege; Nährstoffhaushalt; Pflanzverband; *Picea abies* (L.) Karst.; Schlagvegetation.

Millbacher, E.; 1992: The influence of grass-cover on the hydrology of forest cultures of Norway spruce.

Forstliche Schriftenreihe, Univ. f. Bodenkultur, Wien; Vol.6, 142 p.; Editor: Austrian Society for Forest Ecosystems Research and experimental Tree research at the University of Agriculture in Vienna. ISBN 3-900865-05-1

Abstract: A clear cutting area on a Pseudogley site reafforested with Norway spruce in 1984 was invaded by *Calamagrostis epigeios* grass. Five different plots were established: A - Alder trees (*Alnus glutinosa*) intermediate planted, B - untreated control plot; C - half spacing; D - annual grass cutting of afforested rows, E - free of competitive vegetation by herbicide application. The effects of these measurements on the hydrology of the soil during the phase of the culture were evaluated in relation to interception, the development of biomass, leaf area and nutrient relations of the grass stand in the vegetation periods 1984 to 1986.

The bunches of grass initially far spaced evolved to a grassland ecosystem which reached maximal productivity in the fifth period after clear cutting. The main portion of the annual grass litter decomposed over a two to three year period. Because of the contrary course of growth and decomposition no major changes in the quantity of total biomass, its nutrient stores and the interception relevant leaf area (10-12 m²·m⁻²) took place during a vegetation period. Regardless of plant density the effect of forest trees upon the soil water relations was small in relation to effects of the grass vegetation through the whole observation period. Elimination of grass by means of herbicides resulted in permanently higher soil water potentials. An adjacent tree stand caused similar effects up to one length of the trees. These effects declined rapidly in greater distance. A 50% -reduction of the transpiring grass-vegetation by the manual mowing led only to a slight improvement of soil water status in the root horizon of the forest plants. The effect disappeared with succeeding regrowth of the grass.

Keywords: afforestation; *Calamagrostis epigeios*; edge effects; interception; leaf area; Norway spruce; nutrient stores; *Picea abies* (L.) Karst.; soil hydrology; spacing; weed control.

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. EINLEITUNG	1
1.1 Interzeption	3
1.2 Evaporation	5
1.3 Transpiration	7
1.4 Bodenwasser und Kulturerfolg, Einfluß der Konkurrenzvegetation	10
1.5 Auswirkungen von Kultur- und Pflegemaßnahmen auf Bodenwasserhaushalt und Wachstum in Aufforstungen	12
1.6 Problemstellung	16
2. BESCHREIBUNG DER VERSUCHSFLÄCHE	18
2.1 Lage und Bestandesgeschichte	18
2.2 Klima	18
2.3 Geologie und Boden	20
3. VERSUCHSMATERIAL UND METHODIK	26
3.1 Anlage der Versuchsfläche	26
3.2 Forstpflanzen	29
3.2.1 Untersuchungen an den Forstpflanzen	29
3.2.2 Entwicklung der Forstpflanzen	29
3.2.3 Zusammenfassende Bewertung	32
3.3 Bodenvegetation	33
3.4 Untersuchungen zum Wasserhaushalt	35
3.4.1 Niederschläge	35
3.4.2 Interzeption	36

3.4.2.1	Messungen auf der Versuchsfläche	36
3.4.2.2	Messungen im Labor	39
3.4.3	Bodenwasserhaushalt	40
3.4.3.1	Laboruntersuchungen	40
3.4.3.2	Freilanduntersuchungen	41
3.5	Auswertung	41
3.5.1	Horizonteinengung	41
3.5.2	Niederschläge und Interzeption	42
3.5.3	Freilanduntersuchungen zum Bodenwasserhaushalt ..	42
4.	ERGEBNISSE UND DISKUSSION	43
4.1	Bodenvegetation	43
4.1.1	Biomasse	43
4.1.2	Blattfläche	48
4.1.3	Nährstoffhaushalt	51
4.2	Niederschläge und Horizonteinengung	57
4.2.1	Niederschlagssituation im Beobachtungszeitraum ..	57
4.2.2	Niederschlagsmeßgeräte im Vergleich	60
4.2.3	Niederschlagsverteilung auf der Versuchsfläche ..	62
4.2.4	Horizonteinengung	65
4.3	Interzeption	71
4.3.1	Unterschiede zwischen den Vegetationsperioden	71
4.3.2	Biomassenentwicklung und Interzeption	74
4.3.3	Niederschlagsrückhaltung in der abgestorbenen Bestandesschicht	77
4.3.4	Niederschlagsrückhaltung im lebenden Bestand	80
4.3.5	Niederschlagsrückhaltung in der Vegetations- periode	86
4.3.6	Zusammenfassende Bewertung	87

4.4	Bodenwasserhaushalt	89
4.4.1	Laboruntersuchungen	89
4.4.2	Freilanduntersuchungen	93
4.4.2.1	Vegetationsperiode 1984	93
4.4.2.2	Vegetationsperiode 1985	97
4.4.2.3	Vegetationsperiode 1986	101
4.4.2.4	Bewertung der Ergebnisse 1984-1986	106
5.	SCHLUßFOLGERUNGEN	111
6.	ZUSAMMENFASSUNG	115
7.	SUMMARY	118
8.	ANHANG	121
9.	LITERATURVERZEICHNIS	125

1. EINLEITUNG

Kahlschläge als häufigste Form der Waldbewirtschaftung sind auch im Ostalpenraum vornehmlich in Nadelwaldgebieten weit verbreitet. Die betrieblichen Gründe dieser Wirtschaftsweise sind vielfältig und letztlich meist ökonomischen Ursprungs: konzentrierter Holzanfall, geringes Aufschließungserfordernis, minimaler Planungs-, Koordinations- und Kontrollaufwand, niedriger Bedarf an Personal und fachlicher Qualifikation sowie rationeller Einsatz leistungsfähiger Großmaschinen sind wesentliche Aspekte bei Überlegungen zu kurzfristig maximaler Kapitalrendite.

In der geschichtlichen Entwicklung - vom Unterlassen jeglicher Rekultivierung, über Saat und Versetzen von Wildlingen - führte der Übergang zur Aufforstung mit selektioniertem Pflanzmaterial und festlegbarer Ausgangszahl zu einer Plangröße im Forstbetrieb, die vor allem im Hinblick auf nachfolgende Aufwendungen für die Pflege in Kultur- und Dickungsphase von Bedeutung ist. Entsprechend häufig wurden und werden Diskussionen um den "richtigen" Pflanzverband geführt werden neben ökonomischen auch Überlegungen zur qualitativen und ertragskundlichen Entwicklung des Bestandes eingebracht. Die Frage der Unkrautregelung, die in der Praxis auf Grund eines visuellen Eindrucks erfolgt und etwa ein Viertel der Gesamtkulturkosten verursacht (Huss, 1982) wurde hingegen nie Gegenstand ähnlicher Auseinandersetzungen. Erst in jüngerer Zeit wurden Untersuchungen zur Sinnhaftigkeit von Bekämpfungsmaßnahmen durchgeführt, nachdem der Herbizideinsatz mit steigendem Umweltbewußtsein zunehmend in Verruf geriet, mechanische Methoden bei gleichbleibend angespannter Arbeitskraftsituation immer schwerer tragbar erschienen. Ausgangspunkt der Betrachtungen ist in der Regel das für die Schlagfläche gesteckte Verjüngungsziel. Die betrieblich festgelegte Ausgangskultur - für Fichten werden oft generell 2.500 Pflanzen pro Hektar empfohlen - soll mit dem geringsten Aufwand, worunter meist möglichst wenige, kostengünstige Freistellungsmaßnahmen verstanden werden, ehest ins Dickungsstadium geführt werden.

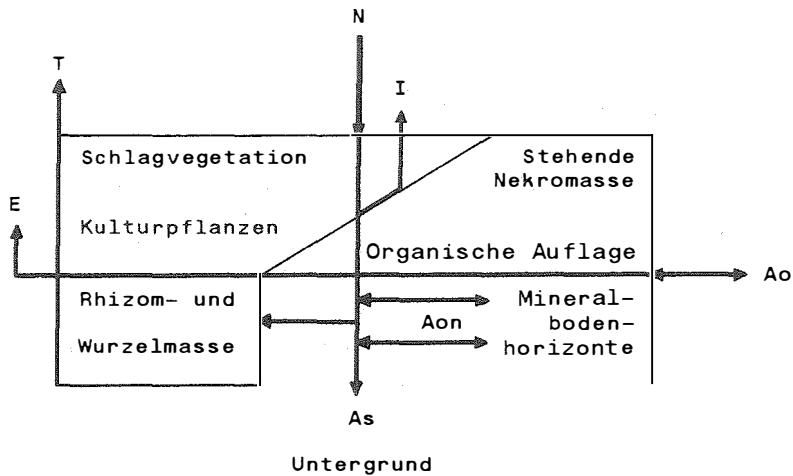
Die Auseinandersetzung mit der Frage nach dem erforderlichen Minimalaufwand für die Rekultivierung muß jedoch aus einem anderen

Blickwinkel erfolgen: Ein Kahlschlag stellt im Vergleich zu anderen Nutzungsformen den radikalsten Eingriff in ein bestehendes Ökosystem dar und bewirkt bekanntermaßen entsprechende Reaktionen, ein Auspendeln aus dem bisherigen dynamischen Gleichgewicht. Die Amplitude der Änderung hängt dabei eng mit Größe, Form und Exposition der Schlagfläche, den klimatischen, bodenkundlichen und vegetationsspezifischen Verhältnissen, der ursprünglichen Bestockung und deren Unterwuchs zusammen. Nur eine möglichst weitgehende Kenntnis der komplexen interdependenten Änderungen und Einflüsse erlaubt die Verkürzung der natürlichen Sukzessionsabläufe durch einen angepaßten Beginn der künstlichen Wiederbewaldung ohne unnötige, aufwendige Zwangsmaßnahmen.

Diese werden umso mehr erforderlich, je rascher und direkter die Zielzusammensetzung des Endbestandes angestrebt wird. Die vielfältigen Beispiele der Praxis - Verzicht auf Vorwaldbegründung, Kulturanlage in Endbestandbaumzahl, Änderung der standortsgemäßen Artenanteile, Einbringung von Gastbaumarten bis zur gänzlichen Umwandlung - machen verständlich, daß der Konkurrenzbekämpfung stets besonderes Augenmerk geschenkt wurde. Über die Erfolgskontrolle hinausgehende Untersuchungen der Zusammenhänge mit Haushaltsgrößen wurden bisher aber nur sehr beschränkt durchgeführt.

Mit den Maßnahmen wird nahezu immer auch eine Beeinflussung des Wasserhaushaltes zugunsten der Kulturpflanzen beabsichtigt. Abbildung 1.1 zeigt schematisch die Zusammenhänge zwischen den Wasserhaushaltskomponenten in einer Forstkultur. In der quantitativen Bilanz stehen den positiven Komponenten - Niederschläge in fester und flüssiger Form, Zuflüsse aus angrenzenden Ökosystemen - Interzeptionsverdunstung, Evaporation, Transpiration und Abfluß als Abgänge über verschiedene, veränderliche Kompartimente gegenüber.

Wenn man von der Beeinflussung der Niederschlagsverteilung und des Mesoklimas über die Größe und Ausrichtung der Schlagfläche absieht (Thomasius und Bretschneider, 1970), sind zur hydrologischen Bewertung von Kultur- und Pflegemaßnahmen die Komponenten Interzeption, Evaporation, Transpiration und ihre Beziehung zum Bodenwasserhaushalt maßgeblich.



Es bedeuten:

N: Freilandniederschlagseintrag
I: Interzeptionsverdunstung
T: Transpiration
E: Bodenevaporation

Ao: Oberflächenflußbilanz
Aon: Bilanz oberflächennaher Zu-/Abflüsse
As: Tiefensickerung

Abb. 1.1: Wasserhaushaltsmodell einer Forstkultur

Fig. 1.1: Model of the water balance of a forest culture

1.1 Interzeption

Der überwiegende Teil des Niederschlages erreicht nicht direkt die Bodenoberfläche, sondern wird in verschiedenen Kompartimenten – Ernterückständen, Schlagvegetation, Auflage – aufgefangen und zwischengespeichert. Mit Dauer des Niederschlagsereignisses nehmen der Anteil abtropfenden und ab rinnenden Wassers zu, bei einem Schwellenwert der Regenmenge wird die maximale Benetzung erreicht.

Die rückgehaltene Menge ist abhängig von Größe, Form, Beschaffenheit und Eigenschaften der Oberfläche und von den die Adhäsion beeinflussenden chemischen und physikalischen Eigenschaften des Niederschlagswassers (Leonard, 1967; DVWK, 1986). Barfield et al. (1973) fanden bei Laborversuchen mit Salat- Gurken- und Tomatenpflanzen erst bei sehr kleinen Tropfen (Nebeltröpfchen um 0.2 mm) eine signifikant erhöhte Speicherkapazität, während die Blattemperatur keinen Einfluß zeigte. Bei Getreide sind senkrechte Halme

und welk herabhängende Blätter nach v.Hoyningen-Huene (1981) kaum relevant, während grannenbesetzte Ähren und ähnliche Organe die Speicherkapazität markant vergrößern.

Nach Erreichen der maximalen Benetzung ist bei Fortsetzung des Regens mit keiner nennenswerten Interzeptionsverdunstung zu rechnen, da mit dem Niederschlag in der Regel ein Temperatursturz einhergeht, der die relative Luftfeuchtigkeit rasch ansteigen läßt, und meist auch nicht genügend Energie zur Verfügung steht. Deshalb konnte Heuvel dop (1973) keine Zusammenhänge zwischen dem Wasserdampfsättigungsdefizit der Luft und der Interzeptionsverdunstung nachweisen, die demnach erst in Regenspausen bei Zufuhr von Luftmassen geringerer Feuchtigkeit wieder einsetzt. Dauer und Häufigkeit der Pausen erhöhen daher die Interzeptionsverdunstung, vor allem bei Sonnenschein in den Zwischenphasen (Chü-San LIN, 1968). Beispielsweise reichen nach Corbett (Diskussionsbeitrag zu/in Leyton et al., 1967) bei einer relativen Luftfeuchtigkeit unter 90% etwa vier Tagstunden zur Verdunstung der gesamten, in einer vollentwickelten Grasgesellschaft (*Bromus mollis*) rückgehaltenen Niederschlagsmenge.

Ob während einer bestimmten Regendauer die Speicherkapazität tatsächlich erreicht wird, hängt auch von der Niederschlagsintensität und den Windverhältnissen ab. Nach Laborversuchen mit verschiedenen Grasarten (Beard, 1956) ist bei böigen Winden mit einer geringeren Niederschlagsrückhaltung zu rechnen. Die Freilanduntersuchungen zahlreicher Grasgesellschaften (Clark, 1940) zeigen keine eindeutigen Tendenzen. In Experimenten mit Winderzeugung ($5.3 \text{ m} \cdot \text{sec}^{-1}$) waren hingegen mit abnehmender Niederschlagshöhe (unter $12 \text{ mm} \cdot 30 \text{ min}^{-1}$) steigende Interzeptionswerte festzustellen.

v.Hoyningen-Huene (1981) kommt zu dem Schluß, daß der Vorgang der Interzeption und insbesondere der Interzeptionsverdunstung nicht nur von der Speicherkapazität der Blätter, sondern auch durch Strahlung, relative Feuchte, Lufttemperatur und Windgeschwindigkeit beeinflußt wird. Der Einfluß dieser mikrometeorologischen Parameter wirkt sich aber wenig auf die Gesamtmenge der Interzeption aus. Denn "bei schlechteren Verdunstungsbedingungen geht der Vorgang der Interzeptionsverdunstung nur langsamer vonstat-

ten, während die Summe der Verluste sich kaum ändert." Nach Grunow (1965) können die Verluste durch die interzipierende Krautschicht die gleichen Beträge erreichen wie die Rückhaltung durch den Baumbestand.

Im Gegensatz zur Interzeptionsuntersuchung von Waldbeständen werden bei Grasgesellschaften zahlreichere, zum Teil sehr unterschiedliche Meßmethoden angewandt, deren Kenntnis für Vergleiche erforderlich erscheint. Ergebnisse und Angaben zu verschiedenen Arbeiten sind daher als Anhang zusammengestellt.

Sträucher und Büsche sind - von besonderen Standorten wie z.B. Auen abgesehen - auch sukzessionsbedingt in Kulturen nach Kahlschlägen in der Regel kaum vorhanden. Hinweise zur Interzeption solcher Vegetationstypen enthalten unter anderem die Publikationen von Leyton et al. (1967), Zinke (1967) und Tromble (1983).

Mit dem Heranwachsen der Kulturpflanzen tritt die Schlagvegetation zunehmend in den Hintergrund, überlagern und verändern sich die Anteile an der Gesamtinterzeption, bis in der Dickungsphase allein der Bestand für die Niederschlagsrückhaltung maßgeblich wird. Eine 13-jährige angehende Fichtendickung (Höhe 4.4m, Durchmesser 4.1cm), mit 6780 Pflanzen pro Hektar begründet, im 7. Jahr teilweise einer starken Stammzahlreduktion auf 2500 Stück·ha⁻¹ unterzogen, wies nach Angaben von Chroust (1978) Interzeptionsverluste während der Vegetationsperiode von 33% (dichter Bestand, Kreisfläche 7.89 m²·ha⁻¹) bzw. 20.5% (durchforsteter Teil, Kreisfläche 3.60 m²·ha⁻¹) auf. Bedingt durch die vollentwickelte Bodenvegetation gelangten im weitständigen Bestand aber nur 25% der Freilandniederschlagsmenge in 25 cm Bodentiefe, hingegen 33% in der unbehandelten Dickung. Man kann aber davon ausgehen, daß durch rasche Ergänzung der Blattflächen durchforstungsbedingte Interzeptionsunterschiede in nur wenigen Jahren wieder verlorengehen (Hager, 1988).

1.2 Evaporation

Nach Penman (1948) beträgt bei gleichen meteorologischen Bedingungen die Evaporationsrate eines nackten, nassen Bodens 90% jener einer Wasserfläche. Reimann et al. (1945) geben für den Zeit-

raum 21. Juli bis 19. September die durchschnittliche, tägliche Verdunstung von der Bodenoberfläche eines Maisfeldes (Illinois) mit 1.27 mm an.

Neben den wechselnden Bodenfeuchteverhältnissen trägt aber auch die Bedeckung der Oberfläche durch Streuauflagen über die Veränderung der mikroklimatischen Verhältnisse - Abschwächung der Einstrahlung, Herabsetzung des Windeinflusses, Anhebung der Ausstrahlungsfläche, raschere Wärmeableitung in länger feucht bleibende Bodenschichten, Verstärkung der Verdunstungs- und Kondensationsmöglichkeiten (Steinhauser et al., 1960) - unter anderem wesentlich zur Verminderung der Bodenevaporation bei (Heinrich, 1950; Wittich, 1959). So wurde beispielsweise durch Bodenbedeckung die Evaporation aus einer Bodenspalte um 60% (Windeinfluß) bis 90% (Windstille) vermindert (Adams et al., 1969).

Obwohl die Interzeptionsverdunstung im Auflagehumus bedeutende Beträge erreichen kann - Ergebnisse verschiedener Untersuchungen sind in Kapitel 4.2.1.3., Tabelle 21 angeführt - werden diese Verluste durch geringere Evaporationsmengen aus dem Mineralboden mehr als ausgeglichen (Rowe, 1955). Nach seinen Untersuchungen führte die Entfernung der Bodendecke zu stark erhöhtem Abfluß, Erosion und einer Verminderung der Sickerraten, jedoch nicht zu einer Herabsetzung der gesamten Verdunstungsverluste. Hädrich und Heuvel dop (1978) zeigten, daß die reale Bodenverdunstung in einem Waldbestand "im wesentlichen aus einer Streuinterzeptionsverdunstung besteht und daß bei normalem Bodenaufbau keine nennenswerten Anteile kapillaren Bodenwassers aus dem Mineralboden daran beteiligt sind." Mitscherlich (1981) stellt dazu fest, daß der Evaporationsschutz, den eine Auflage auf den Boden ausübt, größer als der Verlust an Sickerwasser durch Interzeption sein kann. Auf einer mit Auflagen aus Resten des ursprünglichen Waldbestandes bzw. abgestorbener Schlagvegetation bedeckten Kahlfläche sind demnach kaum Bodenwasserverluste durch Evaporation zu erwarten. Der Wasserhaushalt des Bodens wird vielmehr von Interzeption und Transpiration der Biomasse beeinflusst.

1.3 Transpiration

Der Niederschlag wird, bevor er in den Boden eindringt und von dort über die Transpiration zum Teil wieder in die Atmosphäre rückgeführt wird, um den Betrag der Interzeptionsverdunstung verringert. In welchem Maß diese Größe einen Verlustposten darstellt, wird bei Betrachtung im Soil-Plant-Atmosphäre - Continuum (SPAC) unterschiedlich bewertet.

Burgy und Pomeroy (1958) fanden mit modifizierten Lysimeteruntersuchungen in künstlich begründeten Grasbeständen, daß nasse Blätter stets weniger als trockene transpirieren. Die verfügbare Energie wird für die Interzeptionsverdunstung verbraucht, der steigende Wasserdampfgehalt vor allem in der Grenzschicht zur Atmosphäre senkt den Dampfdruckgradienten und die mögliche Transpirationsrate. Nettoverluste durch Verdunstung der rückgehaltenen Niederschläge werden demnach hauptsächlich durch die abgestorbene Biomasse verursacht. Auch ähnlich angeordnete Freilandversuche (McMillan und Burgy, 1960) zeigten, daß in Grasbeständen die Interzeptionsverdunstung bis zur Gänze an die Stelle der normalen Transpiration tritt. Nennenswerte, interzeptionsbedingte Verluste sind daher nur bei starkem Wind, geringer Bodenfeuchte, verholzter oder abgestorbener Biomasse bzw. außerhalb der Vegetationszeit zu erwarten. Bei siebenjährigen Ponderosakiefern hingegen wurde die Transpiration durch die Interzeptionsverdunstung nur um ca. 10% verringert (Throu, Diskussionsbeiträge zu/in Leyton et al., 1967). Der Temperaturgradient zwischen der wärmeren Luft und den kühleren Oberflächen wird als ausreichend für den zusätzlichen Energiebedarf für die Evaporation erachtet.

Die Transpiration, die physiologischen Barrieren unterliegt, findet im Unterschied zur Interzeptionsverdunstung wesentlich langsamer statt (Rutter, 1964; Holmes und Wronski, 1981), in der Wasserhaushaltsbilanz wäre demnach ein nicht unwesentlicher Teil der in der produktiven Biomasse festgehaltenen Niederschlagshöhe als Verlustgröße zu betrachten. Eine direkte Aufnahme von Interzeptionswasser ist seit längerem bekannt (Stalfelt in Mitscherlich et al., 1966; Kozlowski, 1979; Hetsch und Heilig, 1981) und vor allem in Trockenperioden pflanzenphysiologisch bedeutsam, quanti-

tativ aber vernachlässigbar (DVWK, 1986).

Renger et al. (1986) halten fest, daß unter gleichen Klimabedingungen die Evapotranspiration und Grundwasserneubildung von den beiden bodenphysikalischen Basisbeziehungen Wassergehalt und Wasserspannung, Wasserleitfähigkeit und Wasserspannung abhängig ist. Der Einfluß der Klimafaktoren auf die Evapotranspiration und effektive Grundwasserneubildung nimmt mit steigendem pflanzenverfügbaren Bodenwasser zu. v.Bavel et al. (1963) zeigten, daß die Transpiration eines Sudangrassbestandes bei hohem Bodenwassergehalt zur Gänze von meteorologischen und morphologischen, somit externen Faktoren, nicht aber von physiologischen bestimmt wird. Demnach transpiriert ein entwickelter Bestand bei entsprechenden Bedingungen gemäß den Verhältnissen in der Atmosphäre. Ähnliche Beobachtungen machten Hetsch und Heilig (1981) bei 7- und 11-jährigen Fichten auf Parabraunerde und Pseudogley. "Bei feuchtem Boden bestimmt die Atmosphäre den Wasserhaushalt der Fichten. Je höher der Verdunstungsanspruch der Atmosphäre wird und je geringer die hydraulische Leitfähigkeit im Boden, um so schwieriger wird es für die Pflanze, entstehende Wassergehaltsverluste wieder aufzufüllen. Sie muß damit ihre potentiell mögliche Transpirationsrate zunehmend einschränken." Die Verdunstung einer Vergrasung (*Festuca rubra*, *Agrostis tenuis*, *Holcus mollis* auf lehmigem Sand; Berkshire, UK) wurde in den Monaten mit Bodenwasserdefizit nach Ausschöpfung der verfügbaren Vorräte auf 1/10 reduziert (Rutter und Fourt, 1965).

"Um etwa den gleichen Betrag, um den sich in licht stehenden Beständen die Evapotranspiration der Bäume reduziert, erhöht sich dort der Wasserverbrauch der sich entsprechend üppig entwickelnden Bodenvegetation." (Lützke und Simon, 1975). Die Verdunstungsmenge von April bis September durch eine Wiese und einen 28-jährigen, 12.6 m hohen Kiefernbestand II. Bonität, beide auf grundwasserfernem Sand, Eberswald (DDR), gibt Lützke (1969) mit 460.7mm (100%, Kiefern) bzw. 384.9 mm (84%, Wiese) an. Molchanov (1960) stellte Rückgänge im Wasserverbrauch mit zunehmender Bodentrockenheit bei *Calamagrostis epigeios* fest, Welkeerscheinungen wurden bei Bodenfeuchtegehalten unter 3% des Bodentrockengewichtes beobachtet, Wachstumsrückgänge aber auch bei zu hohen Wasserge-

halten registriert. Maximale Evapotranspiration in Grasgesellschaften ist bei Durchschnittstemperaturen von 15.80C, einer Niederschlagshöhe von 320 mm und einem Sättigungsdefizit von 3.6 mb (Mittel der fünf wärmsten Monate) zu erwarten.

Auf Schlagflächen in der Voronezh-Region (UDSSR) wurden folgende Verdunstungsmengen ermittelt:

Tab. 1.1: Gesamtverdunstung in mm auf Sandböden (nach Molchanov, 1960)

Table 1.1: Total evaporation (mm) on sandy soils (after Molchanov, 1960)

Vegetation	Jahr	Monat					Gesamt
		V	VI	VII	VIII	IX	5 Monate
Artemisia sp.,	1948	-	79.5	112.0	54.6	18.5	-
Calamagr. ep.	1949	76.6	80.3	103.2	44.2	13.4	318.7
Calamagrostis	1948	-	56.0	93.9	41.4	23.4	-
epigeios	1949	63.8	66.0	97.5	50.4	32.2	310.0
Festuca	1948	-	63.0	72.4	53.1	32.0	-
ovina	1949	60.1	52.4	87.4	35.7	13.4	249.0
Veronica sp.	1948	18.0	61.3	93.6	43.5	17.4	233.8
Unbewachsener	1948	-	38.0	56.0	38.2	29.3	-
Boden	1949	39.7	46.9	66.4	37.8	7.6	198.4

Für den niederschlagsarmen Zeitraum 25.4.- 28.8.1976 geben Fardjah und Lemee (1980) für einen geschlossenen, natürlichen Buchenhochwald, einer mit Calamagrostis epigeios vergrasten, und einer vegetationslosen Freifläche auf lessiviertem Boden bei Fontainebleau eine Evapotranspiration von 114 mm (= 0.91mm/Tag Freifläche), 167 mm (= 1.34mm/Tag Buchenwald) und 177 mm (=1.41mm/Tag Vergrasung) an.

Nach der Aufforstung kommt auch der artspezifische Wasserverbrauch der Forstpflanzen zum Tragen. Näherungswerte für die jährliche Gesamtverdunstung unterschiedlicher Kulturen sind in Tab. 1.2 angeführt.

Tab. 1.2: Jährliche Gesamtverdunstung in verschiedenen Forstkulturen (nach Lützke und Simon, 1981)
Table 1.2: Annual evaporation in different forest cultures (after Lützke and Simon, 1981)

		Douglasie	Buche	Lärche	Kiefer
Pflanzenzahl/ ha	Ende	4000	14000	5600	14000
mittl. Höhe (cm)	1978	82	110	163	124
Trockensubstanz- erzeugung (t/(ha * Jahr))	1977	0.10	0.20	0.37	0.80
	1978	0.16	0.98	0.44	2.16
Grundwasserneu- bildung D (mm/Jahr)	1977	428	461	372	362
	1978	492	476	392	292
Differenz Nieder- schlag - D (mm/Jahr)	1977	314	281	369	379
	1978	283	299	383	483

In Abhängigkeit von den meteorologischen Bedingungen und der Vegetationsentwicklung treten auch jahresweise Unterschiede in der Verdunstung auf, ist 'der Wasserverbrauch im ersten Jahr nach dem Kahlschlag in jedem Bereich der Schlagfläche geringer als in den folgenden Jahren' (Molchanov, 1960).

1.4 Bodenwasser und Kulturerfolg, Einfluß der Konkurrenz-vegetation

Das Verhältnis der Kulturpflanzen zum Bodenwasserhaushalt auf Kahlschlagflächen läßt sich am einfachsten als Spannungsfeld zwischen den Extremen "Zuviel" und "Zuwenig" charakterisieren. "Die Beziehungen zwischen Bodenwassergehalt, Bodenwassersaugspannung und ungesättigter hydraulischer Leitfähigkeit limitieren die Wasserentzugsrate vom Boden her, während die Pflanze selbst über Wurzeldichte, Wurzeltiefe und Wurzelentwicklung die Aufnahme rate beeinflussen kann." (Ehlers, 1975)

Mit zunehmenden Versorgungsschwierigkeiten wird die Transpiration eingeschränkt. Erste Anzeichen einer Reduktion zeigen windexponierte 2-jährige Lärchen (*Larix decidua*), 3-jährige Fichten (*Picea abies*) und 4-jährige Zirben bei Bodenwasserpotentialen von -40 KPa. Bei -150 KPa wird die Transpiration stark herabgesetzt (Havranek und Benecke, 1978). Zu ähnlichen Ergebnissen bei ver-

schiedenen Koniferenarten gelangten Sands und Rutter (1959), Lopushinsky und Klock (1974). G. und M. Jarvis (1963) stellten bei 2-jährigen Fichten Transpirationseinschränkungen auch bei zu hohen Bodenwassergehalten fest. Die Wachstumsrate war wie bei Kiefern und Birken vermindert. Das Ausmaß der Reduktion der Transpirationsrate bis zur gänzlichen Einstellung der stomatären Verdunstung sowie die Rückwirkung auf die Photosyntheseleistung differieren zwischen den einzelnen Arten beträchtlich. Ebenso bestehen intraspezifische Unterschiede zwischen an verschiedene Standorte angepaßte Pflanzenkollektiven. Auf die enge Beziehung zwischen Wasserhaushalt und Mineralstoffernährung (siehe Darstellungen in Heinsdorf, 1973; Glatzel, 1976) sei in diesem Zusammenhang hingewiesen.

Die Problematik und Schwierigkeiten bei der Aufforstung vernäßter Standorte sind bekannt. Minderung und Abhilfe werden in der Regel von technischen Maßnahmen - Drainagierung - in Verbindung mit Hügelkultur erwartet. Bei einem begrenzten Wasserangebot hingegen treten die Forstpflanzen verstärkt in Konkurrenz mit der Schlagvegetation.

Nach einer ausführlichen, älteren Darstellung von Wittich (1938) überwiegt auf Sandböden bis etwa Anfang Juni der Verdunstungsschutz durch die Vegetation. Danach war ein meist sehr starker Umschwung zu beobachten, trocknete der Boden je nach Pflanzendecke mehr oder minder tief bzw. stark aus. Von den untersuchten Gesellschaften setzten *Calamagrostis epigeios* und Süßgrasdecken den Feuchtigkeitsgehalt des Bodens stärker als *Aira (Deschampsia) flexuosa*, Heidelbeere und Heide herab. Dabei war der unterschiedliche Wasserentzug in den einzelnen Profilschichten für die Lebensfähigkeit des Jungwuchses vor allem in Trockenperioden von besonderer Bedeutung. Die Konkurrenz mit der Bodenvegetation um das Wasserangebot war in Untersuchungen von Hanschke (1968), Heinsdorf (1978), Sands und Nambiar (1984), Gjerstad et al. (1984), Carter et al. (1984), und Radosevich (1984) der limitierende Faktor für Überleben und Wachstum von Koniferenkulturen. In bestimmten Vegetationsgemeinschaften tritt Lichtmangel als zusätzlicher Stressor auf (Burschel und Schmaltz, 1965; Hanschke, 1968).

Die komplexen Zusammenhänge zwischen der Konkurrenzkraft einzelner Arten wie Vergesellschaftungen und deren zeitliche und räumliche Auswirkungen auf Haushaltsgrößen sind erst vereinzelt in Ansätzen bekannt. Die Entwicklung der Bodenwasserverhältnisse im Profil unter einem ausführlich dokumentierten Calamagrostisbestand beschreiben Fardjah und Lemee (1980), die unter anderem ein weniger starkes Anhalten der Austrocknung unter der Oberfläche feststellten und dies auf Tauerträge und den Verdunstungsschutz durch die Auflage zurückführen. Die im Unterschied zu einem Buchenaltholz rasche Wiederbefeuchtung tieferer Bodenschichten werden der Versickerung in Wurzelkanäle und einer gradientenbedingten Exsorption lebender Graswurzeln zugeschrieben.

Wie sehr bei ähnlichen gesellschaftsspezifischen Verhältnissen das pflanzenverfügbare Wasserangebot vor allem in trockenen Jahren von den Bodeneigenschaften bestimmt wird, zeigt die Untersuchung von Hall und Jones (1983) im Needwood Forest District (U.K.): Während im Sandboden die verfügbaren Vorräte verbraucht waren, wurden die Pflanzenwurzeln im tonreichen Stagnogley, in dem ein Großteil des Wassers unter hoher Spannung gebunden war, noch mit geringen Mengen weiterversorgt. Die bodenphysikalischen Gegebenheiten sind vor allem für die Wirksamkeit forsttechnischer Entwässerungsmaßnahmen ausschlaggebend.

Die Arbeiten verdeutlichen, daß das Phänomen "Wasserstreß" in Forstkulturen Ausdruck zahlreicher, interdependenter, dynamischer Faktoren wie Grundwasserspiegel und Bodeneigenschaften, Struktur, Genotypologie und Interferenz innerhalb der Phytozönose sowie klimatische Rahmenbedingungen ist. Die Auswirkungen von Maßnahmen zur positiven Beeinflussung des Bodenwasserhaushaltes für die Nutzpflanzen sind daher letztlich stets Ergebnis mehrerer Reaktionen eines Systems.

1.5 Auswirkungen von Kultur- und Pflegemaßnahmen auf Bodenwasserhaushalt und Wachstum in Aufforstungen

Vorrangiges Ziel biologischer Maßnahmen vor allem auf Standorten mit extremen Bodenwasserverhältnissen ist es, die Auswirkungen schlagphasenbedingter Veränderungen zu minimieren, den Streß für

die Kulturpflanzen möglichst gering zu halten. Wesentliche Voraussetzung für eine günstige Ausgangssituation ist die Verwendung optimal geeigneten Pflanzenmaterials und die Aufforstung im entsprechenden Verfahren (weiterführende Darstellungen von Schmid-Vogt, 1970; Gürth 1970, 1976, 1977).

Zur Verringerung oder Steigerung der verfügbaren Wassermenge kann der Bodenwasserhaushalt durch Einwirkung auf den Verbrauch über verschiedene Eingriffe und Maßnahmen wie Pflanzenzahl und Pflanzverband, Vorwaldgehölze neben den vorgesehenen Wirtschaftsbaumarten, Pflegemethodik und Pflegeintensität, beeinflusst werden.

In Untersuchungen von Schulin und Richard (1984) waren auf verschiedenen vernässten Hanggley-Böden der Vernässungsgrad, die Gründigkeit und die Durchlüftung in der obersten Zone des Hauptwurzelaumes der entscheidende Standortfaktor für den Anwuchserfolg der Fichte. Die Meinung, daß "feuchte Stellen, Sümpfe oder Naßgallen... am besten durch dichtere Auspflanzung entwässert werden" (Sigmond, 1912), wird seit langem vertreten, doch ist die Möglichkeit einer physiologischen Entwässerung im Kulturstadium sehr begrenzt, wie Wasserpotentialmessungen in einer unbehandelten Fichtenkultur auf stark vernässtem Boden gezeigt haben (Glatzel 1982). Durch eine üppige Gras-, Stauden- und Strauchvegetation wurden die oberflächennahen Bodenwasservorräte zwar etwas stärker ausgeschöpft, tiefere Schichten blieben hingegen fast ganzjährig voll wassergesättigt. Vor allem in höhergelegenen, niederschlagsreichen Gebieten spielt der Wasserverbrauch von Grasgesellschaften als ausgleichender Faktor gegenüber dem hohen Niederschlagsangebot eine völlig untergeordnete Rolle (Wieser et al. 1984).

Eine wirksamere Entwässerung ist durch eine ergänzende Zwischenpflanzung bestimmter, raschwüchsiger Vorwaldbaumarten zu erwarten, wie die in Tab. 1.3 dargestellten Ergebnisse aus Serienversuchen zum Wasserverbrauch von Holzpflanzen (Braun, 1974) schließen lassen.

Tab. 1.3: Wasserverbrauch junger Vorwaldbaumarten (nach Braun, 1974)

Table 1.3: Water use of young pioneer forest trees (after Braun, 1974)

	Alnus glutinosa		Salix alba	
	1971	1972	1971	1972
Höhe in cm				
Beginn der Veg.-Per.:	105	231	243	349
Ende der Veg.-Per.:	231	286	349	429
Blattfläche in m ² :	-	4.12	-	5.18
Wasserverbrauch in l:	249	369	422	824

Bei den zweijährigen Versuchen mit geringer Stückzahl waren sowohl Salix wie Alnus auch in praktisch sauerstofffreiem Milieu in der Lage zu überleben und zu wachsen, wobei der Wasserverbrauch von Alnus stärker als von Salix eingeschränkt wurde. Durch den höheren Verdunstungsbedarf ist ein Boden unter Birkenvorwald trockener als ein Freilandboden (Baumgartner, 1956). Besseres Douglasienwachstum unter einem Birkenschirm auf Pseudogley werden von Hesmer und Günther (1968) auch auf eine Verminderung der Staunässe zurückgeführt, die Beseitigung der Grasschicht auf dem physiologisch flachgründigen Boden aber als entscheidend für die Kulturentwicklung erachtet.

Die rasche Wirksamkeit und Effektivität physiologischer Entwässerungen haben Versuche im Weidegebiet Westaustraliens gezeigt (Greenwood et al., 1985): nach Abtrieb des ursprünglichen Waldes vernäßte Bereiche sollten zur Steigerung der Verdunstungsmenge durch Aufforstung mit Eukalyptusarten wieder nutzbar gemacht werden. Fünfjährige Kulturen mit LAI-Werten ähnlich dem saisonalen Mittel der Weidevegetation wiesen aufgrund des tiefreichenden Wurzelsystems und der Advektion wesentlich größere Verdunstungsraten auf. Bei jährlichen Niederschlägen von 680 mm betrugen Evaporation und Transpiration der Weide 390 mm, bei Eucalyptus maculata und Eucalyptus globulus hingegen 2.300 mm bzw. 2.700 mm.

"Die Schlagflora ... entzieht, abgesehen von ihrer häufig verdämmenden Wirkung, durch Transpiration dem Boden meist große Wassermengen. Diese Verluste lassen sich durch Mähen und Liegenlassen

der Pflanzen je nach der Häufigkeit des Eingriffes mehr oder minder einschränken. Die Wirkung beruht nicht nur auf der Verringerung der transpirierenden Blattfläche, sondern zum Teil auch darauf, daß bei häufigem Mähen die Schlagflora ein flacheres Wurzelsystem entwickelt und somit ihr Wasserverbrauch auf eine kleinere Bodenzone beschränkt bleibt. ...für den Erfolg der verschiedenen Kulturmethoden ist in erster Linie die Frage entscheidend, wie weit es ihnen gelingt, die Konkurrenz der Bodenvegetation auszuschalten." (Wittich, 1959)

Die Aussagen Wittichs entsprechen weitverbreiteten Ansichten in der forstlichen Praxis. Erst in jüngerer Zeit wurden mit zunehmenden Rentabilitätsüberlegungen genauere Untersuchungen zur Wirkung verschiedener Eingriffe vorgenommen.

Nach Lanz (1974) muß die Kulturpflege auf zur Trockenheit neigenden Standorten darauf ausgerichtet sein, die Wasserkonkurrenten schon im Frühjahr nicht nur in der oberen Sproßzone, sondern auch in der Rhizosphäre auszuschalten. Daher wird die Wasserbilanz durch manuelles Freischneiden nur unwesentlich verbessert. Auf die Ausschaltung der Nährstoff-, Wasser- und Lichtkonkurrenz während der Hauptwachstumszeit durch Herbizide reagierten auch als "optisch nicht ausreichend freigestellt" bonitierte Kulturen von verschiedenen Koniferen mit Mehrzuwächsen, im Gegensatz zu einer frühzeitig freigeschnittenen Parzelle (Roediger, 1968). Von ähnlichen Ergebnissen eines mehrfaktoriellen Versuches mit Fichten und Douglasien berichtet Huss (1973). Weder die chemische noch die mechanische Bekämpfung von *Calamagrostis epigeios* und *Deschampsia flexuosa* hatte signifikante Auswirkungen auf Ausfallprozent und Trockengewicht der oberirdischen Teile junger Fichten auf vergleyten und pseudovergleyten Böden (Muhle und Huss, 1972). Im Gegensatz dazu reagierte das Wachstum der Fichtenwurzeln auf der Reitgrasfläche stark positiv sowohl auf die mechanische wie auf die chemische Konkurrenzregelung. Die Bekämpfung von Adlerfarn (*Pteridium aquilinum*) zeigte hingegen in allen Parametern deutlich günstige Auswirkungen. Nach Untersuchungen von Huss und Wachendorff (1977) wurde in Fichten- und Kiefernkulturen auf neun Flächen unterschiedlichen Ausgangssubstrates und Bewuchses nur durch die totale Beseitigung der konkurrierenden Bodenvegetation das Dickenwachstum deutlich gefördert. Mechanische wie chemische

Maßnahmen hatten hingegen keinen Einfluß auf Ausfälle und Sproßlängenwachstum, zogen aber Steigerungen des Wurzelhalsdurchmessers der Forstpflanzen nach sich. Auf dem trockeneren, vergrasteten Kiefernstandort war eine besonders starke Wurzelkonkurrenz festzustellen, das Abschneiden oberirdischer Teile blieb deshalb gänzlich ohne Wirkung.

Fichtenkulturen auf vernäßigem, dichtem Pseudogley und auf mäßig frischer Parabraunerde zeigten je nach Bodenvegetation und Maßnahme unterschiedliche Reaktionen (Olberg, 1974). Die Auswirkungen des Freischneidens auf die Stoffproduktion der Forstpflanzen waren relativ gering und nicht gesichert, die chemische Unkrautbekämpfung zeigte nur bei starker Konkurrenz vor allem durch *Calamagrostis epigeios* deutlich positive Auswirkungen. Eine Bodenflora aus Weidenröschen, Disteln, locker verteilten Gräsern und Himbeersträuchern hatte auch bei Höhen von 1.5 m - 2.0 m keine wesentlichen Wachstumseinbußen der Kulturen zur Folge. Die im Vergleich zu Gräsern geringe Konkurrenzkraft zahlreicher Dikotyledonen kommt auch in den Untersuchungsergebnissen von Hanschke (1968) zum Ausdruck. In einer abschließenden Bewertung der Versuchsanlage von Olberg nach elf Jahren wird festgehalten, daß die ursprünglichen Wirkungen zunehmend abgeklungen waren, fast keine Unterschiede in der Höhen- und Durchmesserentwicklung der Pflanzen mehr festgestellt werden konnten (Olberg-Kallfass, 1979). Der geringe Effekt einer chemischen oder mechanischen Konkurrenzregulierung auf mäßig frischen bis feuchten und wechselfeuchten Böden wird unter anderem durch die Ergebnisse der Arbeiten von Münch (1973,I), Olberg-Kallfass (1982) und Dimitri et al. (1982) bestätigt.

Der Konkurrenz um das verfügbare Bodenwasser kommt demnach zumindest auf weniger trockenheitsgefährdeten Standorten nicht die Bedeutung zu, die der Bodenvegetation in der forstlichen Praxis diesbezüglich beigemessen wird.

1.6 Problemstellung

Als vernetztes, komplexes System unterliegt der Wasserhaushalt von Forstkulturen in den ersten Jahren nach einer Kahlschlägerung einer besonderen Dynamik. Arbeiten zu diesem Thema befassen sich

in der Regel mit speziellen Teilbereichen vor allem der Pflanzenphysiologie und -klimatologie. Ergebnisse werden häufig unter Laborbedingungen gewonnen, ein Zusammenfügen der einzelnen Beiträge mit unterschiedlichen Grundlagen ist nur sehr beschränkt möglich.

Die Auswirkungen verschiedener Kultur- und Pflegemaßnahmen auf den Bodenwasserhaushalt im Anwuchszeitraum wurden bisher wenig untersucht, die raschen ökosystemaren Veränderungen einer Schlagfläche werden in den Betrachtungen kaum berücksichtigt. Hinweise sind meist empirischer Natur, zumal für die waldbauliche Praxis aus Beobachtungen und Erfahrung gezogene Schlußfolgerungen für ausreichend erachtet wurden. Jüngere Ergebnisse zur Erfolgskontrolle stellen die rentabile Wirksamkeit von Pflegemaßnahmen und damit verbreitete Betriebspraktiken zur Diskussion. Der Umstand, daß zwar die Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf die Nutzpflanzen, nicht aber Ursachen und mögliche Einflüsse auf Haushaltsgrößen näher bekannt sind, war Anlaß, die Zusammenhänge zwischen Pflanzzahl, Konkurrenzvegetation, Pflege und Bodenwasserhaushalt im ungesicherten Kulturstadium näher zu untersuchen. Ein Parzellenversuch in einer Fichtenkultur auf wechselfeuchtem Boden mit weitgehend homogener Konkurrenzvegetation (*Calamagrostis epigeios*) soll die Vergleichbarkeit unterschiedlicher Behandlungen erleichtern. Die begrenzten materiellen und personellen Mittel erforderten die Beschränkung der Arbeit auf die Untersuchung weniger Parameter. Über die Erfassung der Niederschlagsmengen und der Ermittlung der Interzeptionsverluste sollen anhand der registrierten Bodenwasserverhältnisse Rückschlüsse über deren Beeinflussung gezogen werden. Die Bodenvegetation als ein wesentlicher Faktor soll näher untersucht, deren Biomassen- und Blattflächenentwicklung sowie Nährstoffhaushalt dokumentiert werden. Eine mehrjährige Beobachtungsdauer soll die Erfassung dynamischer Aspekte ermöglichen.

2. BESCHREIBUNG DER VERSUCHSFLÄCHE

2.1 Lage und Bestandesgeschichte

Die Versuchsfläche liegt im Dunkelsteinerwald, Niederösterreich - 48°20' nördlicher Breite, 15°32' westlicher Länge, - an der Straße von Wolfenreith nach Oberwölbling in einer Seehöhe von 500m über NN. Mit ca. 5% Neigung nach Süden exponiert ist sie Teil eines Unterhanges, der in einen flachen, staunassen Quellbereich des Halterbaches übergeht. Die Fläche, vegetationskundlich im außeralpinen (böhmisches) Fichten-Tannen-Buchenwaldgebiet, ist von Fichtenbeständen unterschiedlichen Alters umgeben. Waldeigentümer ist das Benediktinerstift Göttweig - Revier Paltmühl, Unterabteilung 6b1.

Das Grundstück gelangte als Ackerboden im vorigen Jahrhundert in den Besitz des Stiftes und wurde mit Fichten aufgeforstet. Die Endnutzung des fast zur Gänze rotfaulen Bestandes erfolgte 1982 im Alter von 90 Jahren. 1983 wurde die Fläche (0.45 ha) für dieses Forschungsprojekt ausgesucht.

Die Abbildung 3.1 (Seite 28) gibt einen allgemeinen Überblick über die Lage der Versuchsfläche. Von besonderer Bedeutung ist der Westrand, der wie der westliche Südteil von einem Altbestandesrest (Alter 95 Jahre, Oberhöhe 34m) gebildet wird.

2.2 Klima

Die der Versuchsfläche am nächsten gelegene Niederschlagsmeßstelle, Maria Langegg-Gansbach, liegt ca. 5 km westlich in einer Seehöhe von 530 m über NN und liefert seit 1897 Niederschlagsdaten. Die Angaben in Tab. 2.1 wurden den Beiträgen des hydrographischen Dienstes entnommen und geben die Monats- und Jahressummen sowie Tagesmaxima der Niederschläge in M. Langegg-Gansbach von 1971 bis 1980 wieder. Für Vergleichszwecke im weiteren Umkreis steht die Station Maria Laach am Jauerling zur Verfügung.

Tab. 2.1: Monats- und Jahressummen sowie Tagesmaxima der Niederschläge von 1971-1980 (Station M. Langegg-Gansbach)

Table 2.1: Daily maxima, monthly and annual total precipitation from 1971 to 1980 (weather station M. Langegg-Gansbach)

Zeit- raum	Summen bzw. mittlere Summen in mm												Beobachtetes Tagesmaximum		
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	Jahr	mm	Datum
1971	4	23	42	25	50	68	21	60	45	27	45	11	421	24,8	30.05.
1972	24	162	20	121	97	47	147	40	29	9	21	2	719	90,0	15.02.
1973	12	22	24	28	25	142	71	41	80	11	34	18	508	38,3	29.06.
1974	24	14	11	9	68	101	83	40	10	39	41	54	494	27,6	14.06.
1975	15	22	34	27	51	140	191	110	28	49	24	20	711	48,4	30.06.
1976	36	9	6	43	91	31	165	51	48	30	64	17	591	74,0	23.07.
1977	26	55	40	57	24	31	43	41	52	18	17	34	438	22,0	31.07.
1978	18	20	20	44	44	81	66	34	24	9	22	13	395	25,3	21.06.
1979	29	38	49	75	22	107	86	92	49	7	74	29	657	32,4	06.04.
1980	16	16	31	66	53	66	49	64	22	68	66	25	542	32,4	12.10.
1971-1980	20	38	28	50	53	81	92	57	39	27	41	22	548	90,0	15.02. 1972
1901-1980	27	31	31	46	78	90	100	82	54	40	40	31	650	113,2	03.05. 1910

Geringere Niederschlagsmengen im Winter und ergiebigere Ereignisse in den Sommermonaten, vor allem in Form von Starkregen, kennzeichnen die Niederschlagssituation. Die mittleren monatlichen Häufigkeiten von Niederschlagsmengen sind in Tabelle 2.2 wiedergegeben.

Tab. 2.2: Mittlere monatliche Häufigkeiten der Niederschläge von 1971 - 1980 (Station Maria Langegg-Gansbach)

Table 2.2: Average monthly precipitation frequencies from 1971 to 1980 (weather station M. Langegg-Gansbach)

Tages- summen in mm	Mittlere Anzahl der Tage in der Jahresreihe 1971 - 1980												Jahres- reihe
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII	
ohne	22	20	23	19	20	18	19	21	22	25	20	22	250,5
0,1- 0,9	2	3	2	3	3	2	2	1	2	2	2	3	27,0
1,0- 4,9	5	4	4	6	5	5	5	5	3	3	5	5	55,2
5,0- 9,9	1	1	1	1	2	3	2	2	1	1	2	1	19,1
10,0- 19,9	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	9,6
20,0- 39,9	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	3,2
40,0- 59,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,5
60,0- 84,9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
≥ 85,0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0,1
0,1- > 85,0	9	8	8	11	11	13	12	10	8	6	10	9	114,8

Für die nähere Umgebung der Versuchsfläche stehen keine weiteren Daten von Klimakenngrößen zur Verfügung. Für den Bereich Dunkelsteinerwald / Paltmühl gibt der Österreichische Atlas für die Periode 1901-1950 ein Monatsmittel der wirklichen Temperaturen von ca. - 30°C im Jänner und ca. 170-180 °C im Juli an. Die Sonnenscheindauer im Winter wird mit ca. 25%-30%, im Sommer mit ca. 55%-60% der möglichen Dauer angegeben.

2.3 Geologie und Boden

Der Dunkelsteinerwald ist geologisch der südöstliche, zum Moldanubium gehörige Ausläufer der Böhmisches Masse, die als Rest eines variszischen Hochgebirges bereits mit Ende des Paläozoikums zu einem flachen Rumpfgebirge umgeformt war. Seit dieser Zeit kam es nach Thenius (1962) im wesentlichen nur mehr zu einer Bruchtektonik. Blattverschiebung und Absenkung einzelner Schollen führten zu zahlreichen Störungen in der zonalen Anordnung der Gesteinsgruppen. An eine von Amphiboliten und Kalksilikatmarmoren durchsetzte Gruppe im westlichen Teil des Dunkelsteinerwaldes, die sich in mehreren mächtigen Lagen von Aggsbach bis Wolfenreith verfolgen läßt, schließt sich flach überlagernd, ebenfalls mit SSW gerichteter Achse, Gföhler Gneis. Daran grenzen stark gefaltete, lagen- und schollenförmige Granulitmassen, die den Ostteil des Dunkelsteinerwaldes aufbauen (Schaffer, 1951). Diese glimmerarmen, durchgehend geschieferten Granulite bilden auch das Ausgangsmaterial für die Bodenbildung auf der Versuchsfläche, die folgendes Pseudogleyprofil aufweist:

Tab. 2.3: Bodenprofilaufbau auf der Versuchsfläche

Table 2.3: Soil profile description for the sample plot

L/F(H)	2.5-5.0 cm; Streu und Grobmoder aus Fichten- und Bodenvegetationsresten
Ah-biog. (inf.)	0-3 cm; stark lehmiger Sand bis sandiger Lehm; krümelig mitunter schwach plattig; dunkelgrau bis schwarz; intensiv durchwurzelt
AP	3-12 cm; Übergangshorizont; schwammige bis schwach

plattige, fahlockere Grundmasse mit meist deutlich abgegrenzten grauen, blockig-krümeligen Wurmgängen; gut durchwurzelt

- P 12-40 cm; sandiger Lehm; fahlocker; schwammiges bis massiges Kohärenzgefüge mit teilweise plattigen Einschaltungen im oberen Bereich; kleine Konkretionen; wenig durchwurzelt
- PS 40-55 cm; Übergangshorizont mit deutlicher Zunahme an Bindigkeit, Farbintensität und Konkretionsgröße; einzelne Wurzeln
- S 55-95+ cm; plastischer, schwach sandiger Lehm; massig, sehr dicht mit intensiv dunkler, orangebrauner Färbung, teilweise schwarz marmoriert mit erbsgroßen Konkretionen; in unteren Bereichen zunehmend Einschlüsse von grusigem Granulitgneis

Die bodenchemischen Verhältnisse sind in den Tabellen 2.4 und 2.5 und in den Abbildungen 2.1 und 2.2 dargestellt.

In Tabelle 2.4 sind Mächtigkeit und Trockenmasse des Auflagehumus sowie darin enthaltene Nährstoffmengen als Mittel aus dreizehn Stichproben von je 38.5 cm² Fläche angeführt. Die Streuung ist in Prozent des Mittels in Klammer angegeben.

Die im Spätherbst 1983 angetroffenen Verhältnisse in der Auflage lassen auf eine bis dahin ausreichende Umsetzung der Streu schließen. Ein höherer Anteil an frischer, im Zuge der Endnutzung angefallener Streu, sowie gewisse Auswaschungsverluste in der seit mehr als einem Jahr ungeschützten Humusdecke kennzeichnen den Auflagebereich, in dem ca. 13% der in den obersten 40 cm des Profils insgesamt vorhandenen Stickstoffmengen gebunden sind. Eine Gegenüberstellung mit den 1986 im Rahmen der Calamagrostisuntersuchung gewonnenen Daten hat gezeigt, daß die Auflage ungeachtet der mit dem Kahlschlag verbundenen, insbesondere für die Bodenorganismen gravierenden Änderungen (Anstieg des Bodenwassers, verstärkte Einstrahlung u.ä.) relativ stark abgebaut wurde. Die

dabei freigesetzten Nährstoffmengen wurden sehr wahrscheinlich größtenteils in den Stoffkreislauf des Grasbestandes eingebaut und damit den Kulturpflanzen vorerst entzogen.

Tab. 2.4: Trockenmasse und Nährstoffgehalte in der Auflage

Table 2.4: Dry matter and nutrient contents in the litter layer

Merkmal	Dim.	L-Horizont		F-Horizont		Summe
		Mittel Streuung (%)		Mittel Streuung (%)		L und F
Mächtigkeit	mm	19	(29)	19	(36)	38
Trockenmasse	t·ha ⁻¹	17	(47)	27	(43)	44
C-Gehalt	%	47	(8)	39	(15)	18.8
	t·ha ⁻¹	8.0	(53)	10.8	(51)	
N-Gehalt	%	1.10	(19)	1.17	(17)	510
	kg·ha ⁻¹	185	(32)	325	(37)	
C/N Verh.		43	(28)	33	(21)	37
K-Gehalt	%	0.192	(46)	0.126	(30)	64
	kg·ha ⁻¹	30	(37)	34	(38)	
Ca-Gehalt	%	0.502	(30)	0.435	(23)	206
	kg·ha ⁻¹	84	(39)	122	(43)	
Mg-Gehalt	%	0.078	(37)	0.116	(29)	43
	kg·ha ⁻¹	12	(35)	31	(45)	
P-Gehalt	%	0.078	(19)	0.084	(14)	37
	kg·ha ⁻¹	13	(32)	24	(48)	

In Tabelle 2.5 sind für die einzelnen Profilabschnitte des Mineralbodens der Prozentgehalt an Gesamtstickstoff, die Mengen an austauschbarem Kalium, Kalzium und Magnesium in mg·kg⁻¹ Feinbodentrockenmasse sowie das C/N-Verhältnis angegeben. Die Vorräte an diesen Nährstoffen sowie an Kohlenstoff und Stickstoff und die pH-Werte im Mineralboden sind in den Abbildungen 2.1 und 2.2 dargestellt. Die Werte für den Abschnitt 0 - 40 cm wurden aus dreizehn, die für 50-95 cm aus fünf Stichproben ermittelt. Das Profilsegment 40-45 cm wurde aus methodischen Gründen nicht ausgewertet (Einzelheiten zur chemischen und physikalischen Bodenanalyse siehe Millbacher 1987).

Tab. 2.5: C/N-Verhältnisse und Nährstoffgehalte im Mineralboden
Table 2.5: C/N-ratios and nutrient contents in the mineral soil

Mineral- bodenab- schnitt (in cm)	Gehalt an Gesamt- N %	Gehalt an austauschbarem			C/N Verhältnis
		K	Ca in mg * kg ⁻¹	Mg	
0-5	0.176	66	250	52	20.9
5-10	0.095	35	150	35	16.8
10-20	0.064	28	190	46	14.1
20-30	0.043	23	340	91	13.1
30-40	0.031	24	420	140	12.9
50-60	0.030	49	940	370	9.1
60-70	0.031	55	1060	440	8.1
70-80	0.027	52	1100	460	8.1
80-95	0.022	55	1280	530	8.1

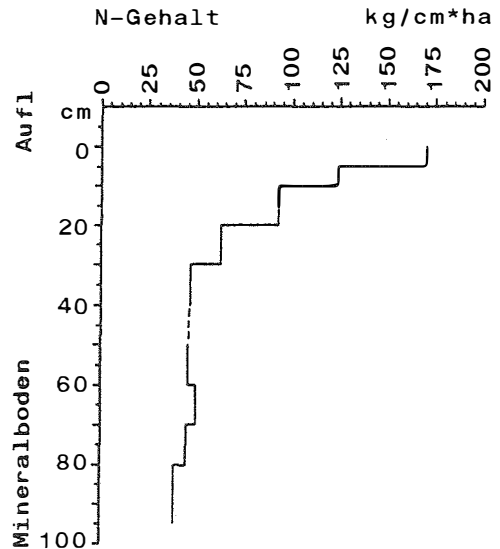
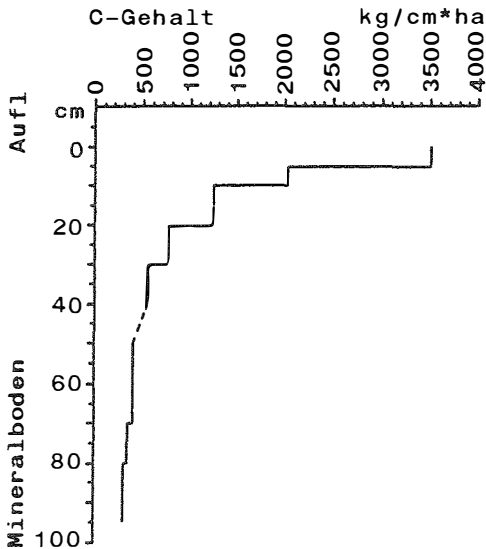


Abb. 2.1: N- und C-Vorräte in den Mineralbodenhorizonten
Fig. 2.1: N- und C-stores in the mineral soil horizons

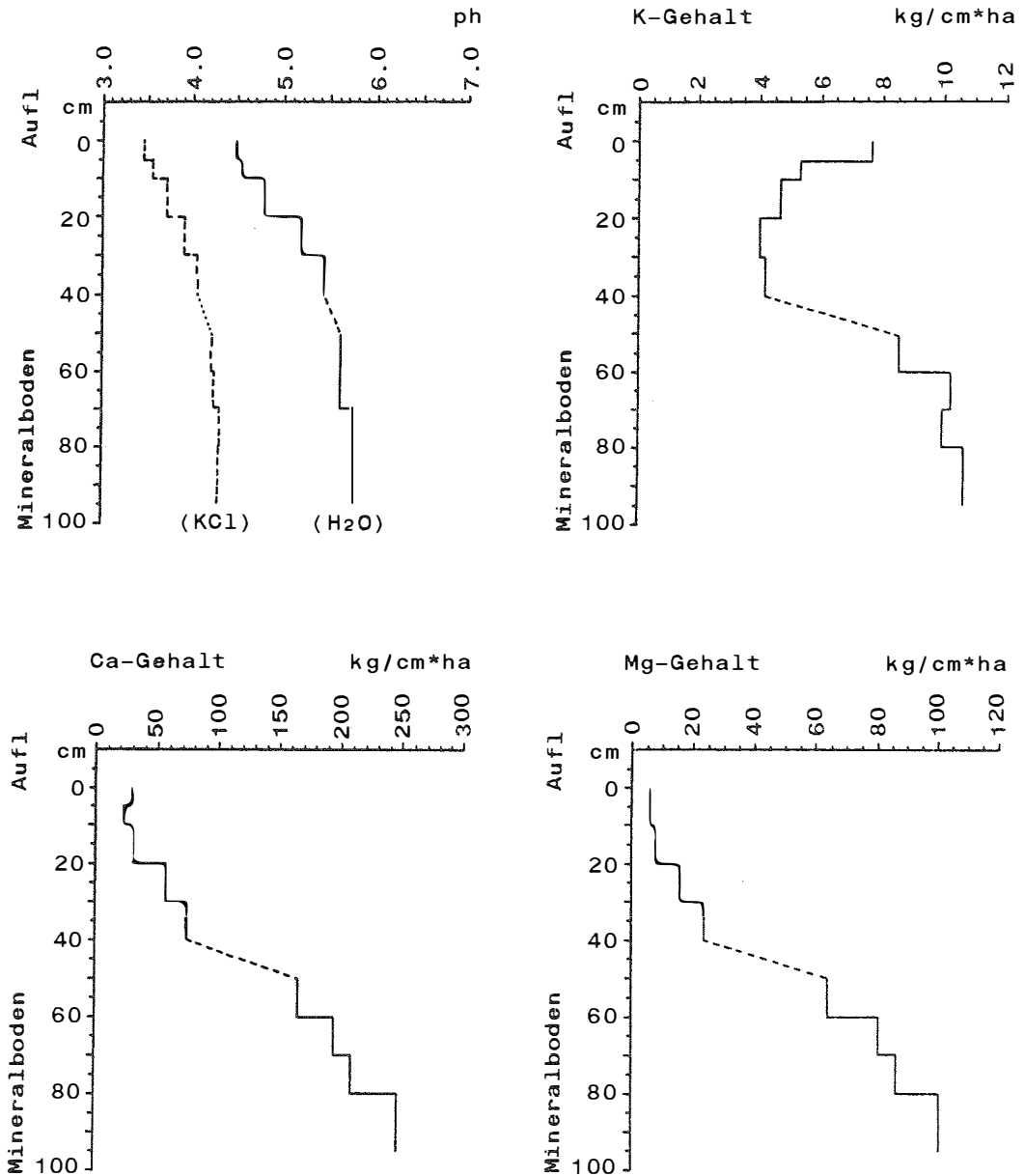


Abb. 2.2: Verteilung der pH-Werte in Wasser und 0.1 m KCl-Suspension sowie K-, Ca-, Mg-Vorräte (Ammoniumazetatauszug) in den Mineralbodenhorizonten

Fig.2.2: Distribution of pH-values in water and 0.1m KCl-dilution and K-, Ca-, Mg-reserves (ammonium-acetate extraction) in the mineral soil horizons

Die chemischen Bodenanalysen lassen im Verlauf der pH-Werte sowie in den Kalzium- und Magnesiumvorräten eine deutliche Versauerung des Oberbodens erkennen. Die ausgeprägte Basenarmut insbesondere der Schichten bis 40 cm dürfte auch mit der vorhergehenden landwirtschaftlichen Nutzung zusammenhängen. Der höhere Kaliumgehalt im obersten Profilbereich weist auf Auswaschungsverluste in den Auflagen hin. Die Stickstoffversorgung kann noch als durchschnittlich angesehen werden.

Auf die bodenphysikalischen Verhältnisse wird in Abschnitt 4.4.1 eingegangen.

3. VERSUCHSMATERIAL und METHODIK

3.1 Anlage der Versuchsfläche

Die Kahlschlagfläche wurde im Frühjahr 1984 gezäunt und Mitte April in folgender Anlage aufgeforstet (siehe auch Abb. 3.1):

Teilfläche (15 x 30m)	Pflanzverband	Folgebehandlung
A	Fichte 2x2 Schwarzerlen- zwischenbau	unbehandelt
B	Fichte 2x2	unbehandelt
C	Fichte 1x1	unbehandelt
D	Fichte 2x2	1x jährlich aussicheln der Reihen
E	Fichte 2x2	unkrautfrei durch flächigen Herbizideinsatz

Die Pflanzen - Fichte (*Picea abies*) 2/2, Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) 2/0 - wurden im Landesforstgarten Gansbach ausgehoben und am selben Tag wurzelbeschnitten im Winkel-(Fichte) und Loch-flachpflanzverfahren (Erle) ausgesetzt. Wegen der verbliebenen Wurzelstöcke war die Einhaltung exakter Abstände in den Reihen nicht immer möglich, woraus sich auch Abweichungen in den Pflanzzahlen der Parzellen ergeben. Die Randreihen einander angrenzender Teilflächen wurden, um eventuelle wechselseitige Einflüsse auszugrenzen (Bergel, 1973) nicht erfaßt. Diese "Distanzstreifen" boten Raum zur Installierung diverser Geräte und ermöglichten auch eine weitgehende Aussparung besonderer Kleinstandorte (z.B. Frattenbereiche). Die restlichen sechs Reihen (zwölf in Parzelle C) wurden markiert und es standen somit für Untersuchungen zur Verfügung:

In Parzelle "A" 94 Fichten und 68 Schwarzerlen, auf den Teilflächen "B" 93, "C" 334, "D" 96 und "E" 91 Fichten. Obwohl sämtliche Nadelbäume präventiv mit Insektizid behandelt wurden (Tauchverfahren, Wirkstoff DDT), waren im Spätsommer 1984 schwere Schäden nach außergewöhnlich starkem Auftreten der zweiten Generation von

von *Hylobius abietis* zu verzeichnen. Um eine vertretbare Weiterführung des Projektes zu gewährleisten, wurden im April des nächsten Jahres ca. die Hälfte der Fichten ersetzt (Pflanzmaterial 2/2, Forstgarten Aggsbachmarkt).

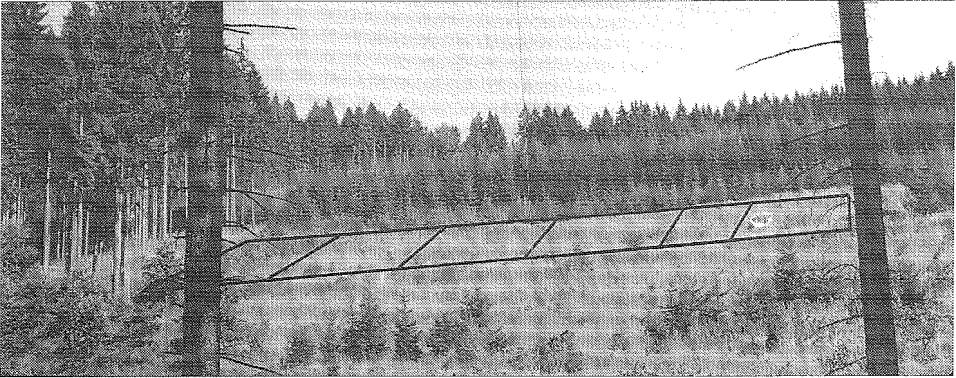
1985 ergab sich daher folgende Ausgangssituation:

Teil- fläche	verbliebene		ersetzte Fichten	
	Stück	%	Stück	%
A	40	44	50	56
B	38	41	55	59
C	153	46	181	54
D	41	40	55	60
E	39	43	52	57

Als Termin für die mechanische Freistellung wurde möglichst praxisbezogen Mitte Juli gewählt, zumal einerseits zu diesem Zeitpunkt der frische Grasbestand voll entwickelt war und andererseits das nachwachsende Gras keine Überlagerungsgefahr bei Schneedruck mehr darstellen konnte. Die Reihen wurden dabei 80 bis 100 cm breit ausgesichelt, die oberirdische Frischbiomasse somit um 40% bis 50% reduziert.

Auf Teilfläche E wurde die austreibende Bodenvegetation unmittelbar nach der Aufforstung durch Anwendung des systemischen Blatt-/Bodenherbizides Hexazinon (Handelsname "Velpar") beseitigt. Jene Grashorste, die im Folgejahr teilweise nachtrieben, teilweise von den Rändern her einwuchsen, wurden Ende Juli unter sicherer Abschirmung der Fichten mittels Kontaktherbizid (Gramoxone) bekämpft. Da mit dieser Behandlung jedoch lediglich eine Niederhaltung erreicht wurde, war eine weitere Spritzung im Frühjahr 1986 nötig (Präparat "Round-up"-Glyphosate). Die Wahl der Mittel entsprach deren Anwendung im Betrieb, ebenso die Ausbringung mittels Rückensprüngerät.

Abbildung 3.1 gibt einen Überblick über die Anlage und Umgebung der Versuchsfläche. Der obere Teil zeigt die Ansicht gegen NNW im Herbst 1989. Die ursprünglich vegetationsfreie Parzelle E war zu diesem Zeitpunkt wieder von *Calamagrostis* besiedelt. In der nachfolgenden Grundrißskizze sind die installierten Niederschlags-sammler in den bezeichneten Parzellen sowie die Werbebereiche für die Vegetationsuntersuchung eingetragen.



Versuchsfläche im Herbst 1989 - Ansicht gegen NNW

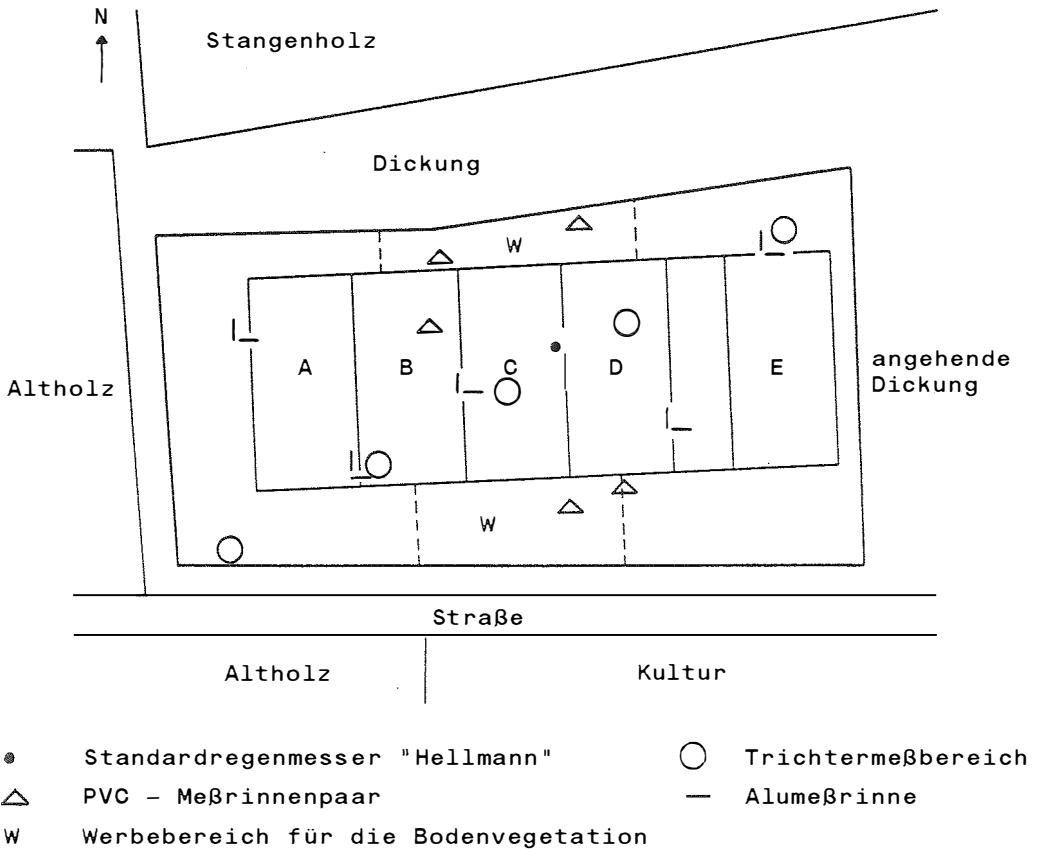


Abb. 3.1: Versuchsfläche Palzmühl - Übersicht
Fig. 3.1: View and map of the experimental area

3.2 Forstpflanzen

3.2.1 Untersuchungen an den Forstpflanzen

Die Pflanzen der Versuchsfläche wurden numeriert und nach ihrem Setzen sowie am Ende jeder Vegetationsperiode vermessen. Erhoben wurden jeweils Ausfälle, Gesamtlänge, Terminaltrieblänge und Sproßbasisdurchmesser. Mit weitgehender Übereinstimmung (Hanschke 1968; Roediger, 1968; Huss, 1973; Peer 1976) eignet sich unter den einfach zu erhebenden Größen der Durchmesser an der Sproßbasis noch am besten zur Feststellung von Wachstumsreaktionen in Forstkulturen. Auf das Problem der Meßstelle oder Fehlergebnisse durch unbemerkte Verunreinigungen wiesen unter anderen Münch (1973,II) und Bergmann (1971) hin. Aus den gewonnenen Daten wurde als Maß für die Stufigkeit das Verhältnis Gesamtlänge zu Durchmesser (H/D-Wert) abgeleitet.

Die Problematik pathologischer Verdickungen der Sproßbasis infolge Wuchsschädigungen ist bekannt. Es schien jedoch besser, die Ermittlung des Wurzelhalsdurchmessers auch nach den Rüsselkäferschäden beizubehalten und auch als Vitalitätsindiz eine ergänzende Beschreibung des Schadensverlaufes vorzunehmen.

Bei der Auswertung der Daten wurden teilweise signifikante Inhomogenitäten sowohl im Pflanzmaterial 1984 als auch bei dem zur Nachbesserung verwendeten festgestellt. Dies mag angesichts der relativ geringen Individuenzahl bedingt sein durch die Verwendung von praxisgerechtem Pflanzgut ohne spezielle Vorsortierung, wodurch infolge einer breiteren Streuung Unterschiede in den erhobenen Größen auch nicht in einer Parzelle konzentriert, sondern in den Teilflächen verschieden auftraten. Auch mittels Kovarianzanalyse waren keine für alle Parameter eines Kollektives eindeutigen Ergebnisse zu erzielen.

3.2.2 Entwicklung der Forstpflanzen

Läßt man den Ersatz der jeweils am stärksten käfergeschädigten Pflanzen außer acht, so waren die Ausfälle sowohl bei den verbliebenen wie auch bei den nachgebesserten, befallsfreien Fichten marginal und mit 3% in Parzelle C (1984-1986) am größten. Die ge-

ringen Ausfallprozente sind angesichts bekannter Erfahrungen wohl vor allem auf die sorgfältige Behandlung der Pflanzen zurückzuführen.

Bei den Schäden durch *Hylobius* war folgender Verlauf zu beobachten: Vom gesamten Pflanzmaterial waren im Herbst 84 in den Parzellen A 40%, B 24%, C 33%, D 16% und E nur 8% ungeschädigt, so daß mit der Nachbesserung zwar in den Flächen A bis D eine weitgehende Gleichstellung erreicht werden konnte, in Parzelle E aber überdurchschnittlich viele, sehr stark geschädigte Fichten verbleiben mußten. Bereits im Folgejahr war die Situation sehr verändert. Spuren der Schädigung waren zwar bei allen betroffenen Pflanzen zu finden, doch zeigten die Fichten der unkrautfreien Parzelle E die vitalste Reaktion: die Fraßstellen der meisten Pflanzen waren so überwachsen, daß eine deutliche Abgrenzung zum ungeschädigten Gewebe nicht mehr möglich war. Auch die Fichten der Flächen A, B und C glichen die Schäden ähnlich aus. Deutlich schwächer reagierten die Pflanzen in der gegrasten Parzelle D - die meisten Fraßplätze waren nur mäßig überwachsen, Fraßgrenzen stellenweise gut sichtbar. Dieser Unterschied war tendenziell auch 1986 zu beobachten.

Tabelle 3.1 gibt für die einzelnen Parzellen die Entwicklung der Fichten während der Vegetationsperioden 1984, 1985 und 1986 zum jeweiligen Aufnahmezeitpunkt wieder. Angeführt sind die aus den Datenerhebungen errechneten Mittelwerte getrennt für "Verbliebene" und "Nachgebesserte" Pflanzen. Der Entwicklungsverlauf der Schwarzerlen in Teilfläche A ist in Tab. 3.2 dokumentiert.

Ausgangsdifferenzen in den Gesamtlängen nahmen bis zum Ende der Untersuchung etwas zu - bei den Fichten der mit Erlen bestockten Fläche A und der unkrautfreien Parzelle E relativ etwas stärker, die Pflanzen der gegrasten Fläche D fielen dagegen deutlich zurück. Auch in den Höhenzuwächsen lagen die mechanisch freigestellten Fichten der Teilfläche D merklich hinter jenen der anderen Parzellen. Auf diesen verlief die Terminaltriebentwicklung in Anbetracht der unterschiedlichen Ausgangssituation ohne merkliche relative Veränderungen.

Waren nach der Pflanzung zwischen den Fichten der Parzellen keine

Tab. 3.1: Mittlere Sproß- und Terminaltrieblänge, mittlerer Wurzelhalsdurchmesser und Stufigkeit der Fichten in den Parzellen nach der Pflanzung (F) und am Ende der Vegetationsperioden (H) 1984 - 1986

Table 3.1: Average length of total shoot, terminal shoot, diameter at stem base and ratio of diameter at stem base to shoot length of the spruce trees on the sample plots after planting (F) and at the end of the vegetation periods (H) 1984 to 1986

S p r o ß l ä n g e n i n c m							
Parz.	84 F	Verbliebene			Nachgebesserte		Fichten
		84 H	85 H	86 H	85 F	85 H	86 H
A	50.4	58.1	65.3	93.7	46.8	61.3	71.2
B	49.6	57.9	62.3	86.3	39.6	51.4	59.9
C	48.2	55.4	60.8	82.7	42.3	54.7	64.1
D	45.6	52.3	53.4	70.4	45.1	56.5	62.9
E	49.0	57.6	60.8	88.6	43.6	55.3	65.9

T e r m i n a l t r i e b l ä n g e n i n c m							
Parz.	84 F	Verbliebene			Nachgebesserte		Fichten
		84 H	85 H	86 H	85 F	85 H	86 H
A	22.9	9.4	7.2	29.9	25.7	14.2	12.3
B	19.6	9.0	5.4	24.5	21.4	12.6	9.3
C	20.0	8.6	6.3	22.3	23.1	12.9	11.0
D	19.4	7.8	4.4	16.2	26.4	12.0	6.6
E	24.7	9.6	6.0	29.2	25.3	12.5	11.4

W u r z e l h a l s d u r c h m e s s e r i n m m							
Parz.	84 F	Verbliebene			Nachgebesserte		Fichten
		84 H	85 H	86 H	85 F	85 H	86 H
A	9.2	10.0	11.3	14.1	9.4	9.8	11.0
B	9.3	10.7	11.4	14.0	8.8	9.4	10.2
C	9.1	10.0	11.0	13.2	8.8	9.2	10.2
D	9.3	10.2	11.1	13.4	8.8	9.8	11.1
E	9.4	11.6	17.3	24.1	9.1	10.8	15.7

S p r o ß l ä n g e / W u r z e l h a l s d u r c h m e s s e r (H/D-Wert)							
Parz.	84 F	Verbliebene			Nachgebesserte		Fichten
		84 H	85 H	86 H	85 F	85 H	86 H
A	56	59	59	68	51	64	65
B	54	56	56	63	46	56	60
C	54	56	57	64	48	60	63
D	50	52	49	53	52	59	57
E	53	50	36	37	48	52	43

sicheren Unterschiede in den mittleren Sproßbasisdurchmessern vorhanden, so nahm im weiteren Verlauf der Durchmesser am Wurzelhals bei den Pflanzen auf der unkrautfreien Teilfläche E gegenüber den anderen deutlich zu. Ein Vergleich der Durchmesserzunahmen in der jeweils zweiten Vegetationsperiode zwischen den verbliebenen und nachgebesserten Fichten läßt keinen Einfluß der überwachsenen Käferfraßstellen erkennen. Entsprechend der stärkeren Zunahme des Sproßbasisdurchmessers bei den Fichten in der herbizidbehandelten Parzelle sinkt auch deren H/D-Wert -im Gegensatz zu den Pflanzen der unbehandelten Flächen, die an ursprünglicher Stufigkeit verlieren. Der H/D-Wert der Fichten in der gegrasteten Parzelle bleibt hingegen mehr oder weniger unverändert.

Tab. 3.2: Mittlere Sproß- und Terminaltrieblänge, mittlerer Wurzelhalsdurchmesser und H/D - Wert der Schwarzerlen in Parzelle A nach der Pflanzung (F) und am Ende der Vegetationsperioden (H) 1984 - 1986

Table 3.2: Average length of total shoot, terminal shoot, diameter at stem base and ratio of diameter at stem base to shoot length of the alder trees on sample plot A after planting (F) and at the end of the vegetation periods (H) 1984 to 1986

Alnus glut. Parz. A	84 F	84 H	85 H	86 H
Sproßlänge (cm)	66	105	162	216
Terminaltl. (cm)	--	41.1	65.3	49.7
Wurzelhalsd.(mm)	7.2	12.2	19.1	30.4
H/D - Wert	94	90	87	72

3.2.3 Zusammenfassende Bewertung

Sowohl die älteren, wie auch die nachgebesserten Fichtenkollektive wiesen eine verhältnismäßig große Streuung auf, die aufgrund der relativ geringen Pflanzzahlen in gewissen Ausgangsunterschieden in einzelnen Größen (z.B. Terminaltrieblänge) zwischen den Parzellen zum Ausdruck kam. Dessen ungeachtet zeichneten sich im Laufe der Untersuchung Differenzierungen in der Entwicklung der Pflanzen zwischen den Teilflächen ab: Auf der dem Bestandesrand nächsten Parzelle A mit Erlenzwischenbau wie auch auf der unkrautfreien Fläche E waren die Fichten von vergleichsweise bestem Wuchs, wobei die Pflanzen von "E" angesichts des deutlich größeren Wurzelhalsdurchmessers und der besonders vitalen Reaktion

auf die Rüsselkäferschädigung günstiger zu beurteilen wären. Gegenüber den Fichten aller anderen Parzellen zeigten jene der reinen weise gegrast Fläche D geringere Zuwächse, auch schienen betroffene Pflanzen die Fraßschäden schlechter zu verkraften.

Diesen Beobachtungen entsprechen auch Ergebnisse bekannter Untersuchungen: Eine Zunahme des Sproßbasisdurchmessers in Fichtenkulturen nach chemischer Unkrautbekämpfung fanden z.B. Roediger (1968), Huss (1973), Olberg (1974) und Huss und Wachendorf (1977). Bei mechanischer Freistellung waren hingegen keine gesicherten Unterschiede zu den unbehandelten Flächen bzw. nur sehr geringe Zuwächse zu verzeichnen. Keiner der Autoren fand eine Steigerung des Längenwachstums nach mechanischer oder chemischer Behandlung, Roediger berichtet von geringeren Jahrestrieben nach mechanischer Freistellung und führt dies auf Freistellungsschock zurück.

Es ist aber darauf hinzuweisen, daß bei der vorliegenden Untersuchung infolge der relativ kleinen Kollektive und der teilweise unterschiedlichen Ausgangslage einer Interpretation nur bedingte Aussagekraft zukommen kann. Die Angaben sollen lediglich mögliche Unterschiede zwischen den Parzellen in der Wechselbeziehung Fichten / Bodenwasserhaushalt andeuten.

3.3 Bodenvegetation

Die mit dem Kahlschlag verbundene tiefgreifende Änderung insbesondere der lichtenergetischen Verhältnisse begünstigte die rasche Ausbreitung der heliophilen Grasart *Calamagrostis epigeios*. Vereinzelte Horste, die an hellen Plätzen schon im ehemaligen Bestand vorhanden waren, und auch die bereits mehrjährige Vergrasung der angrenzenden Kulturen weitete sich in der für diese Grasart typischen rhizomalen Vermehrungsart und Dynamik (Faille und Fardjah, 1977) auf der Lichtung aus. Dabei wurden hauptsächlich während der Vegetationsperiode 1983 nahezu alle krautigen Pflanzen verdrängt, andere Grasarten (*Deschampsia caespitosa* und *flexuosa*, *Juncus effusus*) konnten sich auf kleinen Stellen halten. War der Bestand im Frühjahr 1984 noch von teilweise unterschiedlicher Bewuchsdichte gekennzeichnet, stellenweise einzelne Lücken anzutreffen, so erschien die Vergrasung 1985, in der vier-

ten Vegetationsperiode nach der Schlägerung uniform und voll entwickelt, und bot Gelegenheit zu folgenden Untersuchungen:

* Biomasse - 1985 wurden von Beginn der Vegetationsperiode an bis in den fortgeschrittenen Absterbeprozess im Spätherbst in ca. 20-tägigen Abständen an insgesamt 11 Terminen Proben von der oberirdischen Biomasse geworben. Wesentlicher Aspekt bei der Werbung ist die Abstimmung von Größe und Anzahl der Probeflächen in Zusammenhang mit artspezifischem Habitus und Sozialität, wobei nach Wiegert (1962) bei Grasbeständen von einer Annäherung der Biomasse an ein Zufallsverteilungsmuster ausgegangen werden kann. An jedem Termin wurden vier Probeflächen à 50x50 cm, je zwei im oberen und unteren Randbereich der Versuchsfläche (siehe Abb.3.1), nach der okular beurteilten Flächenrepräsentativität ausgewählt. Entnahmen nahe bereits früher beernteter Flächen wurden so vermieden, Hindernisse (Wurzelstöcke u.ä.) blieben ausgespart. Die Biomasse über dem Mineralboden bzw. durchwurzelten Auflagefilz wurde am Ort in die Kompartimente "Frischgras" (= Gesamtheit der bis zum Erntezeitpunkt während des Jahres gewachsenen oberirdischen Biomasse) und "Altgras" (= Ansammlung sämtlicher Calamagrostisreste aus früheren Perioden - Rückstände anderer Arten waren nur sehr vereinzelt anzutreffen) getrennt. 1986 wurde die Werbung beim Erscheinen der ersten Triebe (19.4.), einige Tage vor dem Höhepunkt der Blüte (21.7.) und während des fortgeschrittenen Absterbeprozesses (16.10.) vorgenommen. Von jeder Probefläche wurden auch drei Bohrkern von je 45 cm Länge (70 mm Durchmesser) gewonnen, die Wurzel- und Rhizommasse aus den Profilsegmenten 0-5, 5-10, 10-20, 20-30 und 30-45 cm ausgewaschen (Siebmaschenweite 1mm), Wurzelreste des früheren Fichtenbestandes weitestgehend entfernt. Methodische Hinweise zur Untersuchung der unterirdischen Biomasse von Grasökosystemen können bei Schuster (1964), Dahlman und Kucera (1965), Speidel und Weiss (1971), Sator und Bommer (1971), Faille (1977,I), Ellis und Barnes (1973) Faille und Fardjah (1977), San Jose et al.(1982) gefunden werden. Das Trockengewicht der Biomassenkompartimente wurde bei 105°C bis Gewichtskonstanz für jede Einzelprobe bestimmt.

* Blattfläche - Die Blattfläche wurde als projizierte Fläche - somit unter Einbeziehung auch dreidimensionaler

Teile wie Stiele, Blattscheiden oder Knospen - am frischen Material mit einem Lambda Instr. Corp. LI-3100 Blattflächenmeßgerät bestimmt. Für jeden Werbetermin 1985 und 1986 wurden von jeder Probefläche je fünf Alt- und Frischgrasstichproben gezogen. Zur Messung wurden die Spreiten im Unterschied zu Stielen und Blütenständen zwischen eine Klarsichtdoppelfolie gelegt, um die gänzlich flache Ausbreitung während des Meßvorganges zu gewährleisten und Unterschätzungen - in Vorversuchen bis zu 25% - zu vermeiden. Im Mittel wurden rund 14% der Frischgras- und 9% der Altgrasbiomasse einer Probefläche gemessen. Eine detaillierte Beschreibung der Methodik ist in Millbacher (1987) enthalten, Angaben zur Blattflächenermittlung bei Grasbeständen können Arbeiten von Geyger (1971), Evans (1972) und Robson (1973) entnommen werden.

* Nährstoffhaushalt - Die Nährstoffverhältnisse in der Vergrasung wurden 1985 und 1986 zu drei ausgewählten Werbeterminen untersucht: Zu Beginn der Vegetationsperiode mit Erscheinen der ersten Triebe, während der Blüte sowie im fortgeschrittenen Absterbeprozess. Für die Ermittlung der Nährelementkonzentrationen wurden die einzelnen zur Blattfläche gemessenen Stichproben der Altgras- und Frischgraskompartimente und die gesamte Wurzel- und Rhizommasse jedes Bohrkerns getrennt und ohne Wiederholungen analysiert. Ermittelt wurden jeweils der Gehalt an Gesamtstickstoff nach Kjeldahl, die K-, Ca-, Mg- und Mn-Konzentrationen in 1n Ammoniumacetatlösung mittels Atomabsorptionsspektroskopie (AAS, Perkin-Elmer 3030) und colorimetrisch der P-Gehalt in gleicher Aufschlußlösung (Beckman DB-G Spektralphotometer).

3.4 Untersuchungen zum Wasserhaushalt

3.4.1 Niederschläge

Zur Ermittlung der Freilandniederschläge wurden 10 Aluminiumrinnen (V-Profil 3000 mm lang, 100 mm breit mit 200 mm hohen, senkrechten Seitenwänden), und ein Standardregenschner Typ "Hellmann" in einer Meßhöhe von 1.0 m installiert. Es wurde geachtet, daß im Aufstellbereich die Auffangfläche nicht von Teilen des Grasdaches überragt wurde. Der Meßzeitraum - April 1984 bis Oktober 1986 -

erstreckte sich jeweils über die Vegetationsperiode.

Zur Untersuchung des Einflusses der Bestandesränder auf die Niederschlagsverteilung wurden im Zeitraum Mitte April bis Ende Oktober 1986 ergänzend Messungen mit PVC-Trichter (22.0 cm Durchmesser, Ablaufwinkel 50°, 2.5 cm senkrechte Randkante) vorgenommen: An fünf Stellen entlang der Diagonale zwischen den Teilflächen A und E wurden jeweils einer in 1.0 m Auffanghöhe und ein weiterer in Bodenniveau installiert. Dessen Meßebene befand sich - um Spritzeintrag weitestgehend zu vermeiden - fünf cm über der Bodenoberfläche. Zusammen mit der aufschlagdämpfenden Wirkung der Auflageschicht, von der ein ähnlicher Effekt wie bei ausgebrachten Fasermatten (Helvey und Patric, 1983) angenommen werden kann, erschien dies als ausreichender Schutz. Demgegenüber mußten durch Abprall von Tropfen an den Auffangflächen unter Umständen geringe Verluste in Kauf genommen werden. Die Verdunstungsverluste aus den Behältern sind nach Untersuchungen von Mitscherlich et al. (1966) vernachlässigbar, auf besondere Schutzvorrichtungen (Heuveldop, 1973) wurde daher verzichtet. Der Aufstellbereich war im Umkreis der 2.5-fachen maximalen Calamagrostishöhe durch chemische Behandlung von Grasbewuchs befreit.

Die Ablesung sämtlicher Niederschlagstotalisatoren erfolgte während der Vegetationszeit je nach Häufigkeit und Intensität der Niederschläge 2 bis 4 mal pro Woche. Die Verteilung der Geräte auf der Versuchsfläche ist in Abb. 3.1 (Seite 28) ersichtlich.

3.4.2 Interzeption

3.4.2.1 Messungen auf der Versuchsfläche

Im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Kulturen und auch zu vielen Grasgesellschaften war auf der Versuchsfläche eine dicke Schicht meist horizontal gelagerter Altgrasschichten in die Interzeptionsermittlung miteinzubeziehen (vgl. Haynes, 1940). Lysimeter-modifizierte Meßmethoden (Horton, 1919; Burgy und Pomeroy, 1958; Mc Millan und Burgy, 1960; Rijtema, 1965) sind bei längeren Untersuchungszeiträumen nur in unmittelbarer Institutsnähe praktikabel, daher wurde indirekt über Niederschlagsdifferenzen gemäß der Gleichung $N_0 = N_d + N_s + N_i$ ermittelt (N_0 = Niederschlag

über dem Bestand, N_d = durch- und abtropfender Niederschlag, N_s = Stammabfluß, N_i = Interzeptionsverdunstung).

Auf diese Weise untersuchten Musgrave und Norton (1937), Clark (1937, 1940), Haynes (1940), Beard (1955), v. Eimern (1964), Fardjah und Lemee (1980), v. Hoyningen-Huene (1981), Butler und King (1982, I) durch-/abtropfenden Niederschlag und zum Teil auch den Stammabfluß in verschiedenen Grasgesellschaften mit nach Anzahl, Form und Auffangfläche unterschiedlichen Sammelvorrichtungen. Angaben darüber sind im Anhang (Kap. 8) zusammengestellt.

Schmale, lange Rinnen bieten relativ ungünstig proportionierte Auffangflächen, ihre Funktionsfähigkeit unter der Altgrasschicht ist schwer zu überwachen. Die Sammlung in ähnlich kleinen Regennessern wie von Fardjah und Lemee erprobt, schien angesichts des vorhandenen Bestandesaufbaues ebenso weniger geeignet. Deshalb wurden im Mai 1984 vier PVC-Rinnen Typ A (400 mm lang, 100 mm breit, Halbkreisprofil) angefertigt und mit 6% Neigung in entwickelte Calamagrostishorste integriert. Die bestehende soziologische Struktur und die Lagerung der Altgrasreste blieben praktisch ungestört. Die Auffangfläche, 4 bis 6 cm über dem Boden, war von bogenartig, locker gelagerter, toter Vegetation überdeckt und so gewählt, daß mit dem heranwachsenden Frischgrasbestand nahezu die gesamte oberirdische Biomasse in die Messungen miteinbezogen wurde (Abb. 3.2). Die unterschiedlich schwach ausgeprägte Auflage war in der Regel bereits dicht von Rhizomen und Feinwurzeln durchzogen, der speicherbare Niederschlagsanteil ist nach Zinke (1967) daher weniger als Interzeptionsverlust sondern eher als Teil des Bodenwassers anzusehen. Um den Einfluß der windgerichteten Orientierung des Grasbestandes auszugleichen, waren jeweils zwei Rinnen um 90° verschwenkt. Der aufgefangene Niederschlag floß über einen Schlauch in ca. 70 cm entfernte, im Boden versenkte Behälter. Der gesammelte Inhalt wurde im Zuge der anderen Niederschlagsmessungen bestimmt.

Im Frühjahr 1985 wurden die Rinnen um sechs weitere ergänzt. Zwei entsprachen Bautyp A, die anderen vier waren mit senkrechten Seitenwänden versehen (U - Profil). Dieser Typ (B) wurde im gegraststen Bereich eingesetzt und sollte 1985 Anhaltspunkte für die Entwicklung der Interzeptionsspeicherung nachwachsender Calamagrostishorste liefern. Mit dieser Konstruktion sollte ein Aus-

springen der in der unbedeckten Phase direkt einfallenden Tropfen verhindert werden.

1986 waren alle zehn Geräte wieder direkt vergleichbaren Verhältnissen, die Abb. 3.2 veranschaulichen soll, ausgesetzt. Der linke Teil zeigt eine der Meßstellen im Spätsommer. Ist der Blattbereich zu dieser Zeit noch ca. 60cm hoch, so ist die nach mehreren Frostereignissen fortgeschrittene Horizontallagerung im November über der teilweise freigelegten Meßrinne (rechtes Bild) gut zu erkennen.

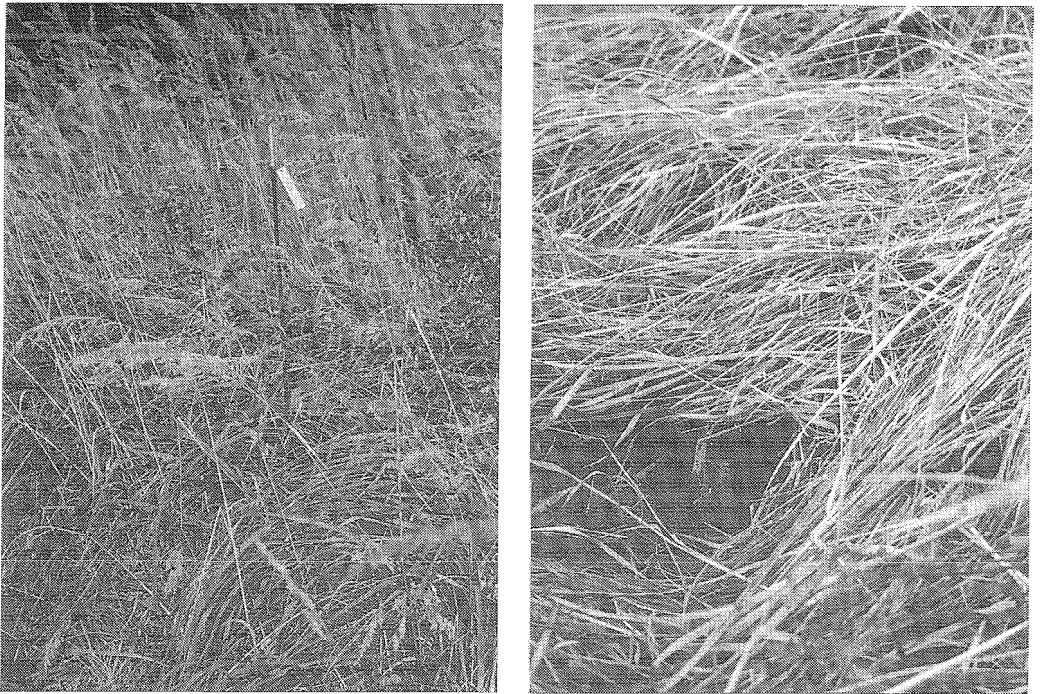


Abb. 3.2: Meßstelle für den durch- und abtropfenden Niederschlag (Nd) in der Vergrasung im Spätsommer (links), teilweise freigelegte Meßrinne im November (rechts)

Fig. 3.2: Measuring plot for throughfall (Nd) in a late summer grass stand (left), partial exposed gauge in November (right)

Die Funktionskontrolle der Rinnen mittels Durchblasen der Schläuche erwies sich für die ständige Überprüfung meist als völlig ausreichend (Wie Stichproben und die Kontrollen am Ende jeder Vegetationsperiode gezeigt haben, waren die Rinnen von Calamagrostisresten stets überlagert, jedoch nie "ausgekleidet"). Eine zu häufige Störung der Verhältnisse konnte so vermieden werden. Nach längeren Starkregen waren die Löcher mit den Sammelbehältern wassergefüllt und Messungen wegen des Auftriebes der Sammelflaschen teilweise nicht möglich.

Mit den Rinnen ließ sich der durch- und abtropfende Niederschlag in der Vergrasung erfassen, der Abfluß an Stielen und Blättern blieb unberücksichtigt. Die Ermittlung dieser Komponente ist - von lysimetermodifizierten, labormäßigen Methoden abgesehen - nur unter wesentlicher Störung der interdependenten Alt-/Frischgras-Bestandesstruktur möglich, die getrennte Untersuchung im Freiland am heranwachsenden Material mit Hilfe nötiger Vorrichtungen (Halterungen - Clark (1937, 1940), Beard (1955, 1956), v. Hoyningen-Huene 1981), Lattexabdichtungen in künstlichen Kulturen - Haynes (1940), Merriam (1961), Bulatkin et al. (1980), Butler und King (1981)) mit entsprechenden Unsicherheiten behaftet, eine einigermaßen realistische Bestimmung der Abflußmenge unwahrscheinlich.

3.4.2.2 Messungen im Labor

Frisch- und Altgrasbestand wirken sich infolge verschiedener Lagerung und morphologischer Struktur unterschiedlich auf die Interzeptionsvorgänge aus. Es ist anzunehmen, daß sich das Interzeptionsverhalten des Altgraskompartimentes - kontinuierliche Zersetzungsaktivitäten unterstellt - weniger ändert, als das des heranwachsenden Frischgrasbestandes. Um Anhaltspunkte für die Niederschlagsspeicherung in der Altgrasschicht zu gewinnen, wurden im Labor an zwölf Altgrasproben ergänzende Messungen vorgenommen. Die Ermittlung der möglichen Speicherkapazität durch mehrminütiges Eintauchen (Lowdermilk, 1930; Fardjah und Lemee, 1980), gibt angesichts der horizontalen, oft dachähnlichen Struktur der Altgrasschicht, nur ein unbefriedigendes Bild von den natürlichen Verhältnissen. Daher wurden die Biomassen - bei Gras-ernten auf 0.25 m² großen Probeflächen im Juli und Oktober gewon-

nen - nach Wägung ihres Frischgewichtes möglichst natürlich auf gleicher Fläche über einen Feingitterrost angeordnet und mit einer Gießvorrichtung bewässert. $90 \text{ l} \cdot \text{m}^{-2}$, in 15 Minuten ausgebracht, sollten eine ausreichende Benetzung gewährleisten. Nach dem Austropfen der Proben wurde deren Gewicht, danach deren Trockenmasse (105°C , 24 Stunden) ermittelt (analoge Methoden siehe Molchanov, 1960). Der unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalt des zu verschiedenen Zeitpunkten gewonnenen Materials sollte eine gewisse Variationsbreite gewährleisten.

3.4.3 Bodenwasserhaushalt

3.4.3.1 Laboruntersuchungen

Zur Ermittlung bodenphysikalischer Kennwerte wurden 13 Bohrkernprofile (Durchmesser 70 mm) in einer Tiefe bis 55 cm und fünf von 50 bis 95 cm gewonnen. Weitere Untersuchungen erfolgten an mittels Stechzylinders gewonnenen, ungestörten Proben. Dazu wurden aus fünf Profilgruben in Tiefen von 2-5 cm und 12-15 cm jeweils zwei, in 27-30 cm, 42-45 cm, 57-60 cm und 87-90 cm je eine Probe entnommen. Am aufbereiteten Material wurden bestimmt:

- * Grobskelettanteil in den einzelnen Abschnitten der Bohrkernprofile,
- * Trockenraumdichte ρ_t nach Trocknung der ungestörten Zylinderproben (105°C bis zur Gewichtskonstanz) als Quotient Feststoffmasse/Gesamtvolumen,
- * Feststoffdichte ρ_s an ofentrockenem Probenmaterial für die einzelnen Tiefen jeder Profilgrube mittels Micromeritics Auto-Pycnometer 1320,
- * Porenanteile: Der Gesamtporenanteil ergibt sich aus der Formel $n = 1 - \frac{\rho_t}{\rho_s}$; die Fein- und Mittelporenvolumina wurden mittels Druckplattenapparatur bestimmt, die Grobporenvolumina als Differenz auf 100% errechnet.
- * Wasserpotential- Wassergehaltskennlinien wurden aus den Ergebnissen der Druckstufenuntersuchung kPa 5,10, 50, 100, 200, 500 und 1.500 abgeleitet. Grundsätzliche verfahrenstechnische Hinweise dazu erörtert Schewczik (1975).

3.4.3.2 Freilanduntersuchungen

Auf der Versuchsfläche wurden Bodenwasserpotentiale in verschiedenen Tiefen mittels Tensiometer registriert. In Verwendung standen Geräte mit Bourdonrohr-Manometern (Meßgenauigkeit besser als 2 KPa) und speziellen Verschlüssen zur Wassernachfüllung (JET-Fill der Fa. Soil-Moisture). Auf jeder Parzelle wurden innerhalb eines Kreises um ihren Mittelpunkt (Radius 6 m) neunzehn Tensiometer - jeweils 5 Geräte in 15 und 30 cm Meßtiefe, je 3 in 45, 60 und 90 cm - zufallsverteilt gesetzt. Die insgesamt 95 Meßstellen wurden gekennzeichnet, die vorgefüllten Geräte nach Auftauen des Bodens eingesetzt (6./7.Mai 1984, 13.Mai 1985 und 26.April 1986). Die Manometer wurden zur Erfassung auch positiver Potentiale (Wasserstau) in den frühen Morgenstunden der nächsten Tage auf -10 KPa feinjustiert, die Tensiometer dabei auch auf mögliche Lufteinschlüsse wegen deren Einflüsse auf die Messungen (Towner, 1983) nochmals überprüft. Die Ablesung der Saugspannungswerte erfolgte je nach Witterungsverlauf alle zwei bis vier Tage am Abend, nur in Ausnahmefällen in den Morgenstunden. Wie Vergleiche ergaben, war es ohne Bedeutung, ob der Ablesegang von ca.70 Minuten in der bereits am längsten im Schatten liegenden Parzelle A begonnen oder beendet wurde. Die Meßperioden endeten mit den ersten Bodenfrösten: 1984 und 1985 in der letzten Oktoberwoche, 1986 bereits Ende September. Die Geräte mit Luftpolsterhauben zu schützen erwies sich praktisch als wirkungslos. Jeden Herbst fielen auf der unkrautfreien Teilfläche E fast sämtliche Manometer aus. Auf den vergrasten Parzellen hingegen wirkte die Altgrasschicht im bodennahen Bereich isolierend - Schäden an den Manometern traten nur vereinzelt auf. Angaben und Hinweise zur Tensiometrie sind u. a. bei Richards (1965), Benecke (1972) und Towner (1980, 1981, 1983) zu finden.

3.5 Auswertung

3.5.1 Horizonteinengung

Die mit einem Theodolit für den Mittelpunkt jeder Parzelle in 10 Abständen bestimmten Neigungswinkel wurden in Nomogrammform dargestellt, die Sonnenbahn zur Winter- und Sommersonnenwende, Tag-

Nachtgleiche und zum 15. jedes Monats unter Verwendung der Tabellen von Schindler (in Linke und Bauer, 1970) für wahre Ortszeit errechnet. Eine alternative Darstellungsweise der Beschattung durch einen Bestandesrand wird von Junghans (1966) beschrieben.

3.5.2. Niederschläge und Interzeption

Für jede Teilfläche wurden die Meßdaten der beiden Alurinnen gemittelt, die Ergebnisse parzellenweise verglichen (paarweiser Mittelwertsvergleich). Als Bezugsgröße für den Standardregenmesser dienten dabei die Durchschnittswerte aus den vier Rinnen der Parzellen C und D. Die Trichtermeßergebnisse wurden ebenfalls paarweise gemittelt und auch getrennt nach den beiden Meßhöhen verglichen. Die Ermittlung der Interzeptionsspeicherung des Grasbestandes erfolgte aus den Durchschnittswerten der Messungen mit den PVC-Rinnen - 1985 getrennt nach Bautypen (Typ A für die gesamte Vergrasung, Typ B für den heranwachsenden Frischgrasbestand), 1986 wurden nach Signifikanzprüfung beide Typen gemeinsam ausgewertet. Bezugsgröße für den Freilandniederschlag waren dem Aufstellbereich entsprechend wiederum die Mittel der auf Parzelle C und D installierten Alumeßrinnen. Die Daten der drei Vegetationsperioden wurden unter Ausgrenzung von Extremwerten auch einer gemeinsamen Analyse unterzogen. Vor den Berechnungen wurden sämtliche mittels der PVC-Rinnen gewonnenen Meßdaten um den aus Benetzungsversuchen erhobenen Haftwasserbetrag für Abflußschlauchstück und Rinne reduziert. Für die Bezugsgrößen (Alumeßrinnen) war keine Korrektur erforderlich.

3.5.3. Freilanduntersuchungen zum Bodenwasserhaushalt

Die erhobenen Saugspannungsmeßwerte wurden parzellenweise für die einzelnen Profilabschnitte gemittelt und um die Justierungsdifferenz (10 kPa) und das Geopotential der jeweiligen Tiefenstufe berichtigt. Die Ergebnisse wurden graphisch in Chronoisopleten-darstellung gebracht, die Potentialgrenzen zwischen den Horizonten ergaben sich durch Interpolation.

4. ERGEBNISSE UND DISKUSSION

4.1 Bodenvegetation

4.1.1 Biomasse

Abb. 4.1 zeigt die saisonale Entwicklung der oberirdischen Biomasse des Frischgrasbestandes 1985 anhand der Trockenmassen der einzelnen Proben zu jedem Erntetermin. Die Trockenmasse nimmt während der ersten zwei Monate exponentiell zu und steigt bis etwa Mitte Juli eher linear weiter. Mit Beginn der Blüte zu dieser Zeit ist die volle Entwicklung der Pflanzen annähernd erreicht, die damit einhergehende Änderung der Wachstumsdynamik kommt deutlich zum Ausdruck. Für den weiteren Entwicklungsverlauf ist in Übereinstimmung mit Untersuchungsergebnissen von Faille und Fardjah (1977) eine leichte Zunahme der Biomasse bis gegen Ende der Vegetationsperiode anzunehmen. Die während der Vegetationszeit abgestorbene Materie beträgt nach Duranton (in Faille, 1977, I) dabei insgesamt nur ca. 20% der am Ende der Wuchssaison vorhandenen Biomasse.

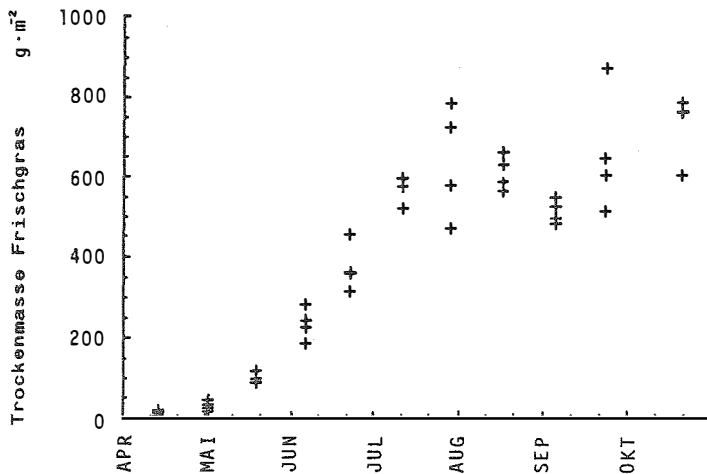


Abb.4.1: Entwicklung der oberirdischen Biomasse des Frischgrasbestandes 1985

Fig.4.1: Aboveground biomass growth of the living grass stand 1985

Wie die Abbildung als Beispiel gezeigt hat, kommen Unterschiede in der Halmdichte und Vitalität stärker zum Tragen, je näher die Pflanzen ihre volle Entfaltung erreicht haben – die Werte der Juliernte zeigen dies recht deutlich. Die Differenzen dürften weniger auf standörtliche Einflüsse zurückzuführen sein, sondern hauptsächlich mit der rhizomalen Vermehrungsart und der damit verbundenen soziologischen Struktur zusammenhängen. Bei den Altgrasresten ist die Streuung naturgemäß etwas größer, bei Detailuntersuchungen zur Biomasse wären bei gleicher Probeflächengröße wesentlich mehr Stichproben erforderlich.

Beim Altgraskompartiment, einer lockeren Schicht von Calamagrostisresten aus mehreren Vegetationsperioden, konnten okular zwei, vereinzelt drei Jahrgänge unterschieden werden: Der jüngste – aus den im Spätherbst abgestorbenen Pflanzen – hatte in der Regel keinen Bodenkontakt. Halme, mitunter auch Blätter blieben oft bis in den Frühsommer mehr oder weniger aufrecht stehen. Ein Großteil der dreijährigen Reste war bereits in rhizomdurchzogenem Auflagehumus bzw. Mineralboden eingemischt. Abb. 4.2 gibt den Entwicklungsverlauf der Frisch- und Altgrasbiomasse in den Vegetationsperioden 1985 und 1986 wieder. Der Altgrasbestand blieb während der Wuchssaison 1985 quantitativ relativ unverändert, die Trockenmasse – ca. $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ im Frühjahr – nahm vermutlich erst gegen Herbst geringfügig ab. Unterschiedlich war die Entwicklung 1986: Mit dem abgestorbenen Frischgrasbestand des Vorjahres wurde im April eine Durchschnittsmasse von $920 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ gemessen, die dann im Verlauf der Vegetationszeit auf etwa $500 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ zurückging. Die vergleichsweise wesentlich größere Altgrasmenge im Frühjahr 1986 und nachfolgende Reduktion ist sehr wahrscheinlich auf die Entwicklungsdynamik der Vergrasung zurückzuführen: Waren 1982 nur einzelne kleine Horste vorhanden, so hatte sich bis Ende 1984 schon ein einigermaßen flächendeckender, wenn auch noch lockerer und teilweise lückiger Bestand gebildet. Die Vergrasung erschien daher 1985 bereits voll entwickelt und dicht, die Hauptmasse der Altgrasschicht befand sich aber offenbar noch in einem frühen Zersetzungsstadium, somit war kaum ein quantitativer Abbau festzustellen. Im Frühjahr 1986 waren nach Ausaperung der Schneedecke die Altgrasreste unter der relativ mächtigen, abgestorbenen Frischgrasmasse nahe an den Boden gedrückt. Da für die Zerset-

zungsaktivitäten der Mikrofauna und -flora neben dem Pflanzengewebe, der Verfügbarkeit bestimmter Nährstoffe u.ä. insbesondere günstige, ausgeglichene Temperatur- und Feuchtigkeitsverhältnisse von Bedeutung sind, kann man annehmen, daß die im Vergleich zur obersten Altgrasschicht besseren Bedingungen zum Abbau eines Großteils der 2- und mehrjährigen, bereits stärker angegriffenen Calamagrostisreste entscheidend beigetragen haben.

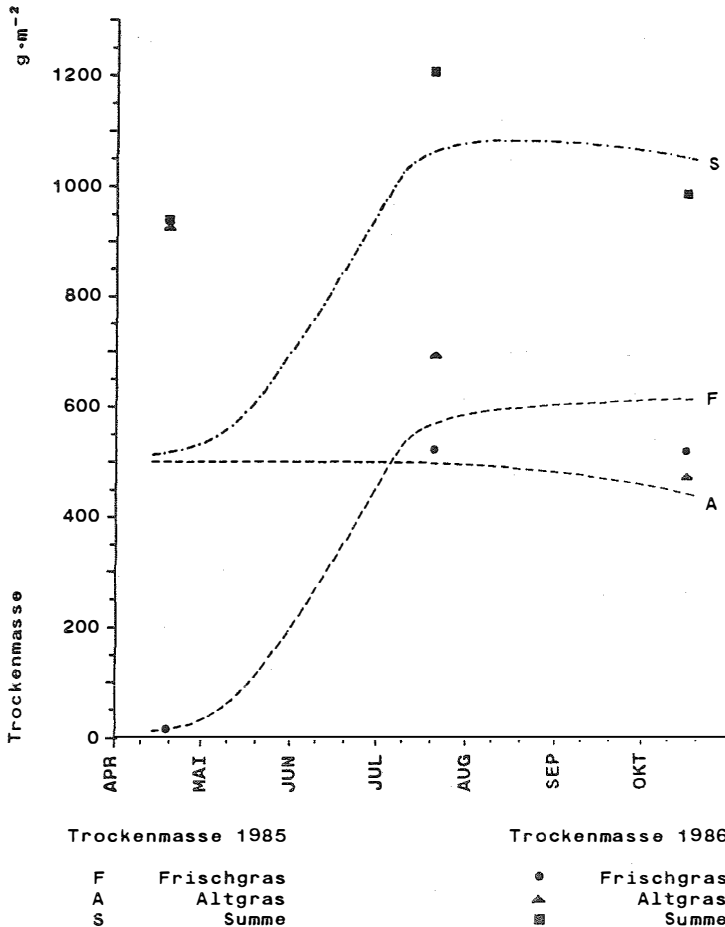


Abb.4.2: Oberirdische Biomasse der Calamagrostisvergrasung in den Vegetationsperioden 1985 und 1986

Fig.4.2: Aboveground biomass of the Calamagrostis-grass stand for the vegetation periods 1985 and 1986

Die Biomassenentwicklung der Altgrassschicht läßt schließen, daß die Vergrasung 1986/87, fünf Jahre nach dem Kahlschlag ihr standörtlich mögliches Niveau erreicht hat. Nach dieser Aufbauphase kann der Kreislauf von Wachstum und Zersetzung als voll entwickelt angesehen werden. Die Hauptmasse jedes periodisch absterbenden Bestandes wird dabei in zwei bis drei Jahren abgebaut. Wie Vergleichsmessungen auf der Versuchsfläche 1987 gezeigt haben, können vor allem bei ungünstigen Witterungsverhältnissen Abba verzögerungen auftreten. Unter normalen, ausgeglichenen Produktions- und Abbaubedingungen sind den Ergebnissen zufolge während der Wuchssaison jedoch keine größeren Schwankungen der oberirdischen Gesamtbiomasse zu erwarten. Die jährliche Nettoproduktion der Gesellschaft nimmt nach der expansiven Phase mit fortschreitender Alterung wieder ab und beträgt bei mindestens 6-8 Jahre alten Beständen unter guten Standortverhältnissen durchschnittlich 300 g Trockenmasse je m² (Faille 1977, I).

Die unterirdischen Organe von *Calamagrostis epigeios* lassen sich in stengelbürtige Ausläufer und Wurzeln unterscheiden. Erstere wachsen plagiogeotroph, dienen hauptsächlich der Vermehrung sowie der Ausbreitung und sind fast zur Gänze im obersten Bodenbereich, nur ausnahmsweise unterhalb von 10 cm anzutreffen. Die Wurzeln werden an den Nodien der Ausläufer gebildet und reichen wesentlich tiefer - Faille und Fardjah (1977) fanden sie in lessiviertem Boden bis nahe der Grenze zum festen Untergrund in 95 cm Tiefe. In Abb. 4.3 ist die Verteilung der unterirdischen Biomasse von *Calamagrostis* zu den drei Werbeterminen dargestellt. Die angegebenen Mittel aus den je 12 Proben setzen sich aus Rhizom-, Wurzel- und Nekromassen zusammen. Die Aussonderung von frisch abgestorbenen Teilen wurde wegen der methodischen Aufwendigkeit nicht vorgenommen. Faille und Fardjah (1977) nahmen als Totmasse bei Rhizome 5%, bei Wurzeln bis 10 cm Tiefe ca. 13% und bei Wurzeln von 10 bis 80 cm ca. 27% der entsprechenden Gesamtmasse an. Signifikante Unterschiede zwischen den unterirdischen Biomassen im April, Juli und Oktober konnten wegen der Streuung zwischen den kleinflächigen Bohrkernproben - 13% (Oktober) bis 39% (April) der jeweiligen mittleren Masse - nicht festgestellt werden.

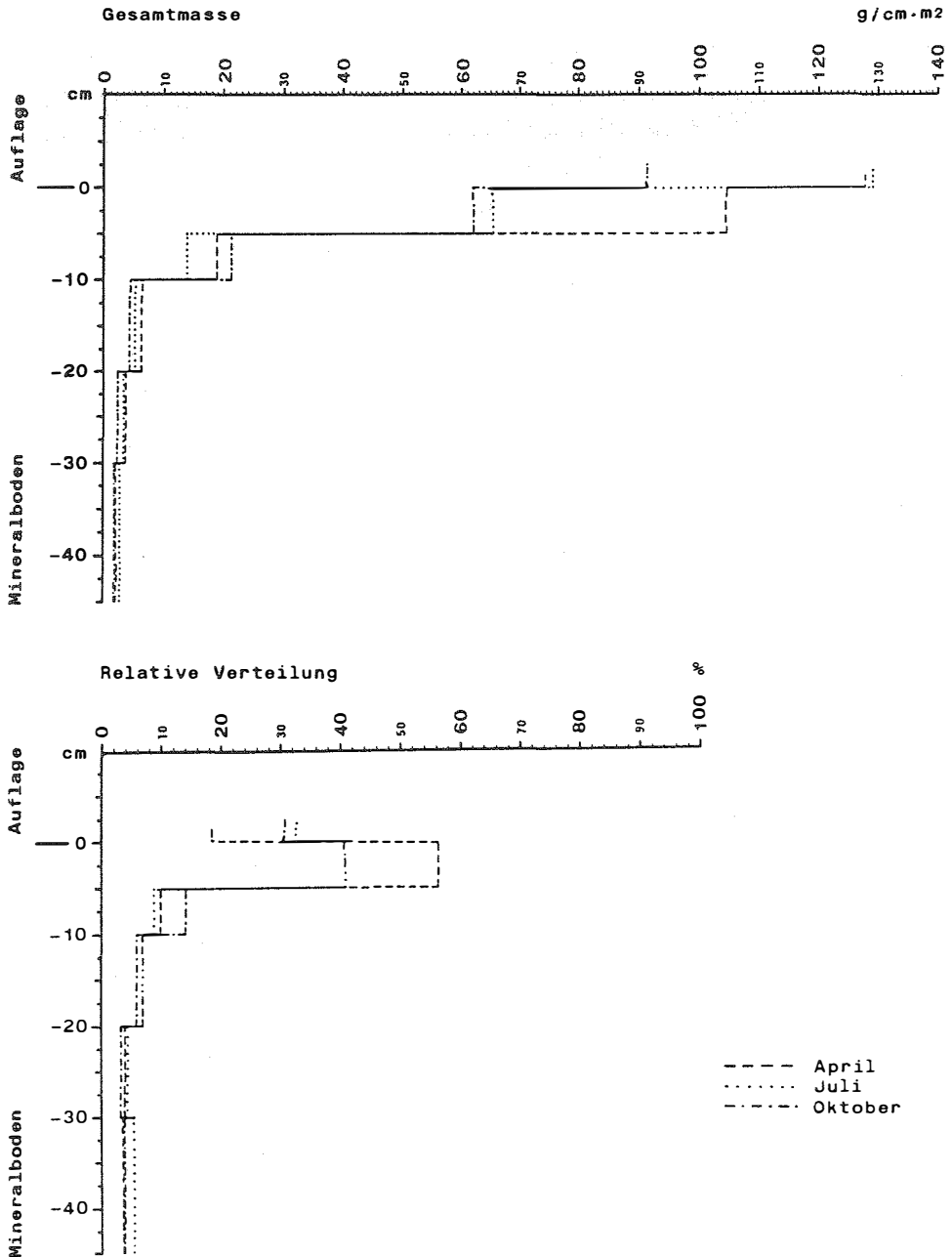


Abb. 4.3: Verteilung der unterirdischen Biomasse der Calamagrostisvergrasung 1986 im Bodenprofil

Fig. 4.3: Belowground biomass of the Calamagrostis-grass stand 1986 - distribution in the soil profile

Wie aus Abb. 4.3 hervorgeht ist mit durchschnittlich rund 70% der überwiegende Teil der unterirdischen Biomasse im Bereich bis 5 cm Tiefe konzentriert. Teilweise noch vorhandene Nadelstreuauflagen waren stets intensiv durchwurzelt, Rhizome hauptsächlich an der Grenzschicht zum Mineralboden anzutreffen. Dies dürfte neben dem erhöhten Nährstoffangebot aus dem Fichtenumus auch mit der oberflächennah dichten Bodenstruktur zusammenhängen. In Staukörpernähe waren nur mehr vereinzelt Feinwurzeln zu finden.

Die intensive Durchwurzelung im oberen Abschnitt bewirkt über Lockerungseffekte ein Ansteigen der Porosität aber auch eine starke Stimulation der Mikroflora im Wurzelbereich. Beides wirkt sich auf die Bildung von Humusstoffen und stabilen Aggregaten sehr günstig aus (Faille, 1977, II). Die abgestorbene Biomasse bildet wesentliche Einträge an organischer Substanz in den Boden. Lebensdauer, Erneuerungszyklus und Zersetzungsgeschwindigkeit unterirdischer Calamagrostisorgane sind nicht näher bekannt. Nach Dahlman und Kucera (1965) beträgt die durchschnittliche Umsatzzeit von Rhizom- und Wurzelmasse in einem Graslandökosystem (Central Missouri Prairie) ca. vier Jahre.

4.1.2 Blattfläche

Im Verhältnis zur Biomasse nimmt die Blattfläche des Frischgrasbestandes in den ersten beiden Monaten der Wuchssaison stärker, bis zur Blüte dann geringer zu und steigt bis zum Ende der Wachstumszeit mit dem Ersetzen abgestorbener Pflanzenteile nur mehr wenig an. Beim Altgraskompartiment ist die spezifische Fläche während der gesamten Vegetationsperiode annähernd gleich und damit eng an die Biomassenentwicklung gebunden. Abb. 4.4 zeigt die Entwicklung der projizierten Fläche des Frisch- und Altgrasbestandes in den Vegetationszeiträumen 1985 und 1986. Wurden vom Frischgrasbestand 1985 durchschnittlich $5.5 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ erreicht, so war die Fläche im Herbst 1986 entsprechend der niedrigeren Biomassenproduktion um ca. 1 m^2 kleiner. Bei der Altgrasmenge nahm der Flächenindex annähernd konstant mit der Biomasse ab: 1985 von durchschnittlich $5.5 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ zu Beginn der Wuchssaison auf ca. $5.0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$. Im Frühjahr 1986 wurden $10.5 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ gemessen, mit dem Abbau der Biomasse verkleinerte sich die Fläche bis Oktober gleichfalls um 50% auf $5.6 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$.

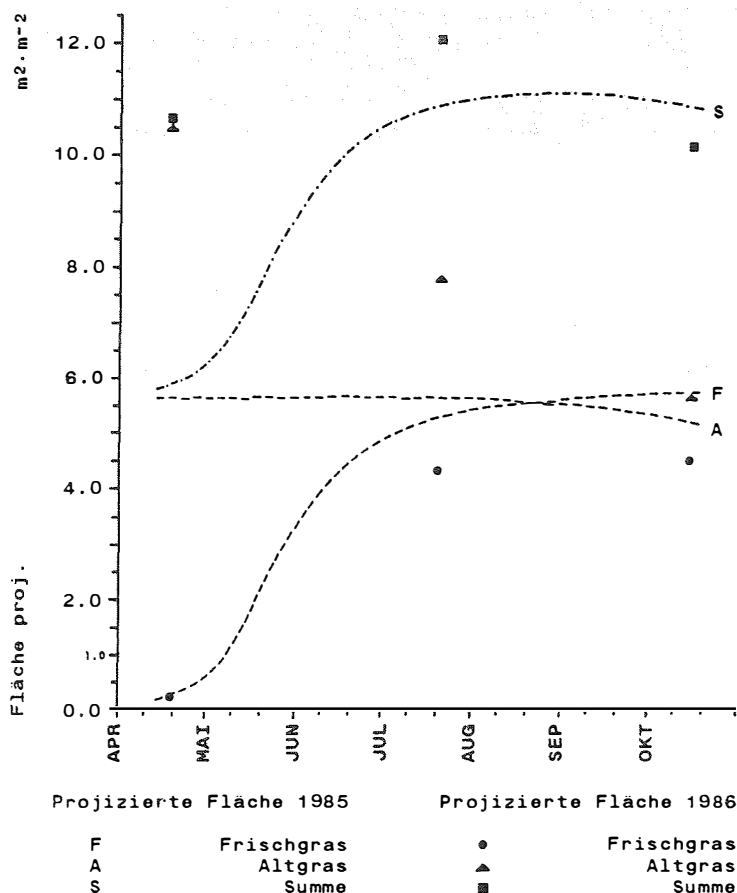


Abb. 4.4: Flächenwerte der Calamagrostisvergrasung in den Vegetationsperioden 1985 und 1986

Fig. 4.4: Area indices of the Calamagrostis-grass stand for the vegetation periods 1985 and 1986

Unter ausgeglichenen Rahmenbedingungen für Abbau der horizontal gelagerten Altgrasmenge und Wachstum des neuen Grasbestandes sind infolge der gegenläufigen Entwicklung im Verlauf der Vegetationsperiode keine wesentlichen Änderungen der Gesamtfläche des Grasbestandes zu erwarten. Wurden im Frühjahr 1986 insgesamt 10.7 m^2 projizierte Fläche pro m^2 gemessen, so war dieser Wert Mitte Juli nur um 1.3 m^2 größer, im Oktober mit $10.1 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ aber nicht viel

niedriger. Zum orientierenden Vergleich können die von Geyger (1971) veröffentlichten Werte projizierter Flächen unterschiedlich nährstoffversorgter Pflanzengemeinschaften herangezogen werden, die unter Einbeziehung sämtlicher grüner Teile am Ende der Wachstumsperiode bestimmt wurden. Bei maximaler Düngung ermittelte er an einer ungemähten Wiese $8.0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$, bei einem Weizenfeld $5.0 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ und für ein Maisfeld $5.2 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ (bzw. $1.3 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$ ungedüngt). Da Geyger in seinen Messungen nur lebende Pflanzenteile einbezogen hat, ist bei einem Vergleich mit dem Calamagrostisbestand oder Rückschlüssen auf die Assimilationsfläche noch die während der Vegetationsperiode abgestorbene Organmasse zu berücksichtigen.

Die Mittelwerte der spezifischen Fläche "SA" des Frisch- und Altgrasbestandes im Verlauf der Vegetationszeit 1985 und 1986 sind in Abb. 4.5 dargestellt

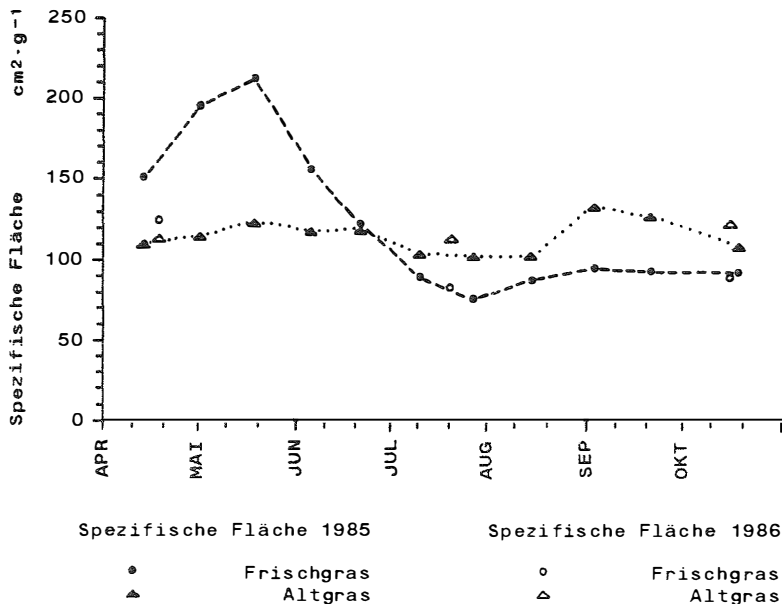


Abb. 4.5: Spezifische Fläche der Calamagrostisvergrasung in den Vegetationsperioden 1985 und 1986

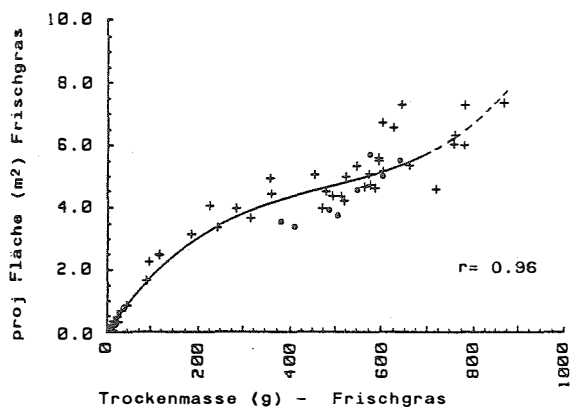
Fig. 4.5: Specific area of the Calamagrostis-grass stand for the vegetation periods 1985 and 1986

Nach dem raschen Aufbau von Assimilationsfläche im Frühjahr sinken die SA-Werte mit dem weiteren Wachstum und der Ausbildung der Halme ab Mitte Mai bis zur Blüte kontinuierlich auf ein Minimumverhältnis - ca. $90 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ -, das sich bis Ende der Periode nicht mehr wesentlich ändert. In diesem Zeitraum der vollen Entwicklung setzt sich der oberirdische Frischgrasbestand, wie Stichproben gezeigt haben, nach der Trockenmasse aus rund 1/3 Stielen (Blütenstände um 5%) mit einem Anteil an der projizierten Fläche (AI) von durchschnittlich 11% und 2/3 Spreiten (LAI 89% AI) zusammen. Die spezifische Fläche des Altgraskompartiments bleibt während der Abbauvorgänge relativ konstant, ist aber mit $115 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ im Vergleich zum ausgewachsenen Frischgrasbestand um etwa ein Viertel größer - ein Umstand, der teilweise auf Gewichtsverluste infolge Auswaschung zurückzuführen sein dürfte, wahrscheinlich vorwiegend aber auf die Vergrößerung der Fläche etwa durch Lösen der Blattscheiden von den Stielen oder Aufspaltung von Halmen, wie bei den Altgrasresten häufig als primäres Zersetzungstadium zu beobachten war.

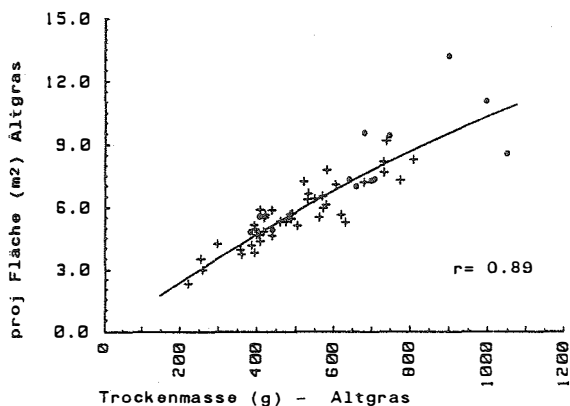
Die Beziehung zwischen Trockenmasse und projizierter Fläche ist in Abb 4.6 dargestellt. In der Streuung der Einzelprobenwerte für 1985 und 1986 kommen besonders die unterschiedlichen Anteile an Stielen und Spreiten zum Ausdruck. Die Funktion für den frischen Grasbestand entspricht der raschen Blattentwicklung zu Beginn der Vegetationsperiode und den durchschnittlichen Bestandesverhältnissen bis etwa 650 g Trockenmasse je m^2 .

4.1.3 Nährstoffhaushalt

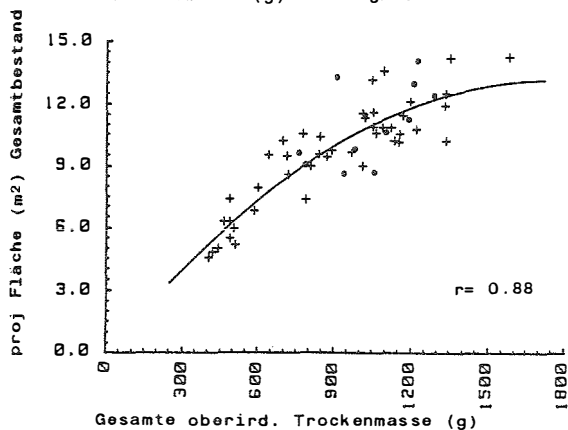
Abb.4.7 gibt die Konzentrationen einiger Nährstoffe in den untersuchten Kompartimenten der Vergrasung wieder. Die Gehalte in Prozenten der Trockenmasse wurden 1986 am Beginn der Wuchssaison bei 5 - 15 cm Sproßhöhe, während der Blüte sowie im fortgeschrittenen Absterbeprozess bestimmt. Sie entsprechen weitestgehend den Vergleichswerten der oberirdischen Biomasse des Vorjahres, wenn man von etwas größeren, wahrscheinlich saisonal bedingten Unterschieden in den Mn- und K- Konzentrationen bei den Altgrasresten absieht (max. Differenz bei K bis 40%). Die häufigsten Standardfehler der angegebenen Mittel liegen zwischen 15% und 25%, Maximalwert 38%.



$$y(m^2) = +0.00506 \\ +0.02168x \\ -0.375 \cdot 10^{-4}x^2 \\ +0.261 \cdot 10^{-7}x^3 \\ \text{für } x \text{ in g Trockenm.}$$



$$y(m^2) = -0.12717 \\ +0.01318x \\ -0.273 \cdot 10^{-5}x^2 \\ \text{für } x \text{ in g Trockenm.}$$



$$y(m^2) = -0.20054 \\ +0.01519x \\ -0.432 \cdot 10^{-5}x^2 \\ \text{für } x \text{ in g Trockenm.}$$

+ 1985

• 1986

Abb. 4.6: Beziehung zwischen oberirdischer Trockenmasse und projizierter Fläche der Calamagrostisvergrasung in den Vegetationsperioden 1985 und 1986

Fig. 4.6: Relation between aboveground dry matter and area indices of the Calamagrostis-grass stand for the vegetation periods 1985 and 1986

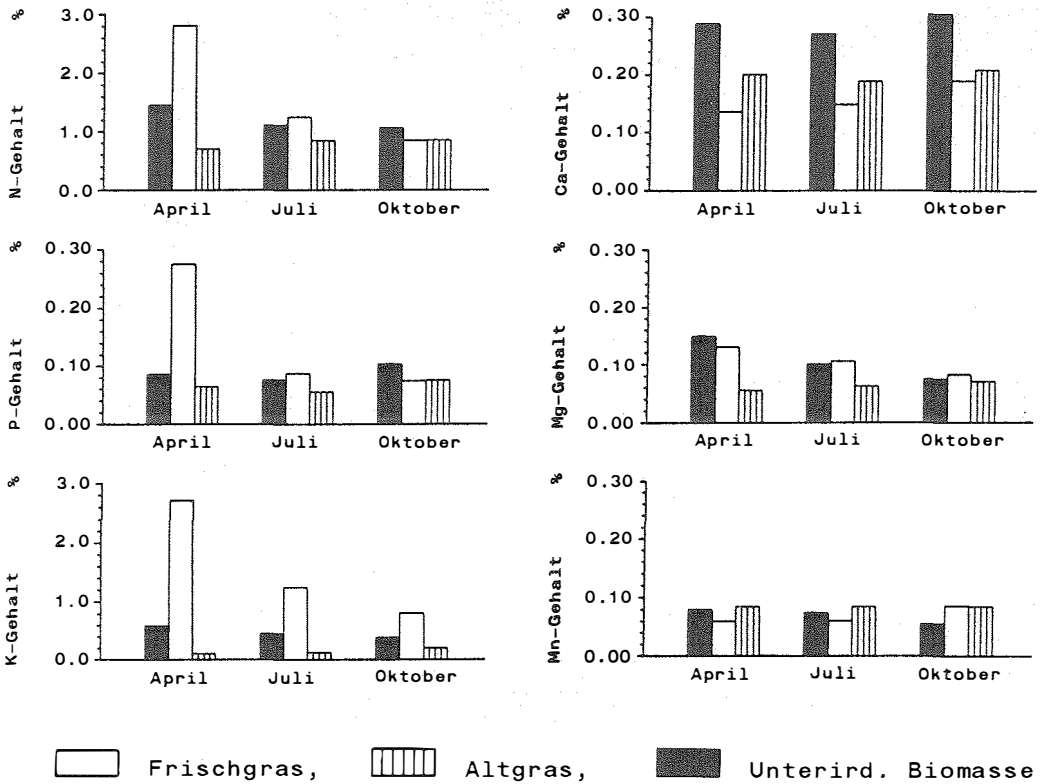


Abb. 4.7: Nährstoffgehalte in der Biomasse der Calamagrostisvergrasung im April, Juli und Oktober 1986

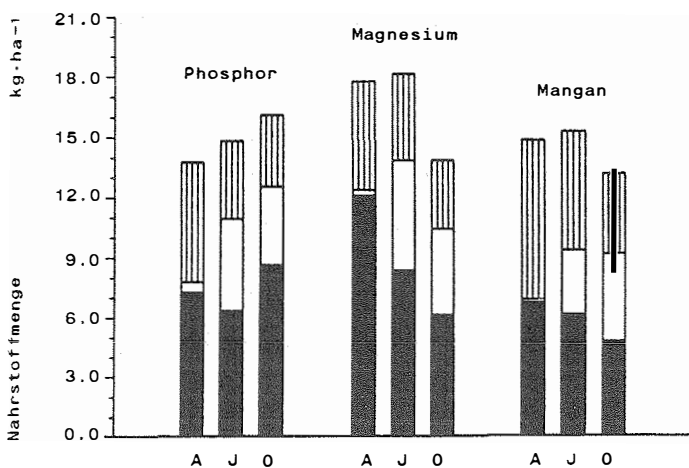
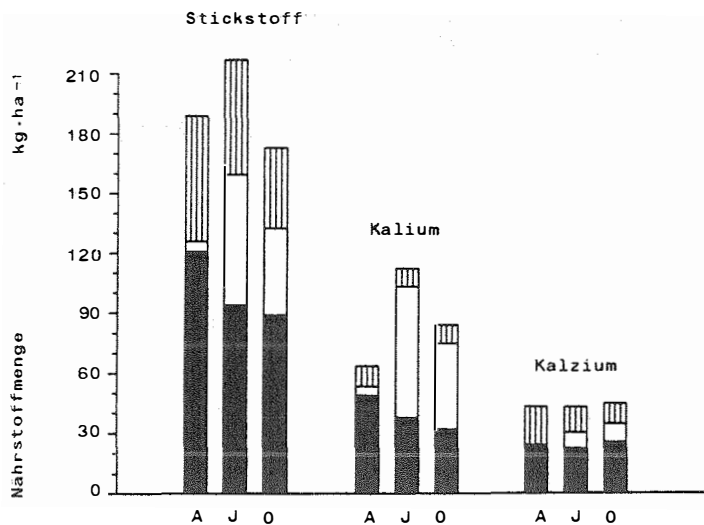
Fig. 4.7: Nutrient contents in the biomass of the Calamagrostis-grass stand in April, July and October 1986

Im Frischgraskompartiment sind die Gehalte an N, P, K und Mg zu Beginn der Vegetationsperiode am höchsten und nehmen bis Herbst deutlich ab. Die gegenläufige Entwicklung war – weniger ausgeprägt – bei Ca und Mn festzustellen. Neben diesen bekannten Phänomenen – größere Nährstoffkonzentrationen in jungen Geweben, Verdünnungseffekte im Zuge des Wachstums, Ansammlung weniger beweglicher Elemente und Anteilsveränderungen mit fortschreitender Alterung – fallen die sehr geringen Ca-Gehalte auf. (Im letzten Jahrgang von Fichtennadeln werden durchschnittlich vier mal höhere Werte gemessen – Fiedler et al., 1973). Detaillierte Angaben von Mineralstoffkonzentrationen in Waldgräsern können der Arbeit von Höhne und Fiedler (1963) entnommen werden. Auch in den Analysedaten der Altgrasmasse kommt dieses vegetationsbedingt kalziumarme Milieu zum Ausdruck – eine Gegenüberstellung mit den Unter-

suchungsergebnissen der Fichtenhumusaufgabe 1983 (Tab. 2.4, S.22) kann dies verdeutlichen. Der im Vergleich zum herbstlichen Frischgrasbestand wesentlich geringere K-Gehalt in der Altgrasmasse im Frühjahr weist auf größere Auswaschungsverluste während der Wintermonate hin. Veränderungen der Nährelementkonzentrationen im Jahresablauf - etwa im Zusammenhang mit dem Biomassenabbau während der Vegetationsperiode - konnten wegen der geringen Probenzahl nicht statistisch gesichert festgestellt werden. Es ist aber wahrscheinlich, daß sich stärkere Verluste an manchen Nährelementen bei jüngsten Calamagrostisresten und Anreicherungen bei Zersetzungsvorgängen (siehe Faille, 1977, I) überlagern.

Bei der unterirdischen Biomasse wurden am Beginn der Wuchssaison wie beim Frischgraskompartiment höhere Konzentrationen an N, K und Mg, aber auch an Mn gemessen. Der Mineralstoffgehalt der Wurzeln nimmt dabei mit steigender Tiefe zu (Faille; 1977, I). Vergleichsweise geringer waren die Konzentrationen aller untersuchten Elemente im Sommer. Der Ca-Spiegel blieb im gesamten Zeitraum auf niederem Niveau. Die Differenzen dürften je nach Nährstoff auf unterschiedliche Verlagerung in die oberirdischen Organe im Zuge des raschen Wachstums zurückzuführen sein. Es ist anzunehmen, daß auf der Versuchsfläche die Wurzelmasse zumindest bis November aktiv bleibt, sich in den Nährelementkonzentrationen vom Oktober daher noch entsprechende Veränderungen ergeben.

In Abb. 4.8 sind die Vorräte an Nährelementen in den einzelnen Kompartimenten der Vergrasung angegeben. Die Werte wurden aus den durchschnittlichen Trockenmassen und Stoffgehalten im April, Juli und Oktober 1986 sowie aus der mittleren saisonalen Wurzel- und Rhizommasse ($826 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) abgeleitet. Obwohl sich die Kompartimentmassen und Nährstoffspiegelwerte im Verlauf der Vegetationsperiode stark ändern, bleibt die Quantität der insgesamt festgelegten Nährstoffe in engeren Grenzen: zwischen ca. $175 - 215 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei N, $14 - 16 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei P, $43 - 45 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei Ca, $14 - 18 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei Mg und $13 - 15 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ bei Mn. Lediglich die K-Menge weist infolge der leichten Auswaschbarkeit und der damit verbundenen niedrigen Gehalte des Altgraskompartiments vergleichsweise große Unterschiede auf. Die in der Vergrasung zwischen April und Oktober 1986 im Mittel enthaltenen Nährstoffe entsprechen damit mengenmäßig bei N ca. 38%, bei P 40%, bei K 137%, bei Ca 21% und bei



Frischgras,
 Altgras,
 Unterird. Biomasse

Abb. 4.8: Nährstoffvorräte in der Biomasse der Calamagrostisvergrasung im April, Juli und Oktober 1986

Fig. 4.8: Nutrient stores in the biomass of the Calamagrostis-grass stand in April, July and October 1986

Mg 38% jenem Vorrat, der in der ursprünglichen Auflage aus Fichtenumus gebunden war. Die Mächtigkeit der Fichtenumusaufgabe betrug im Herbst 1983 rund 38 mm, im Jahresmittel 1986 waren ca. 20 mm anzutreffen (Bodenvegetationsstreu und Graswurzelraum eingeschlossen). Es ist - auch angesichts der Wurzelverteilung - naheliegend, daß ein Großteil der im Grasbestand festgelegten Nährelemente aus dem zersetzten Fichtenumus stammt, und so einer möglichen Verlagerung in tiefere Bodenschichten entzogen wurde.

Zusammenfassend ist festzuhalten: Die Forstpflanzen wurden 1984 in eine expansive Calamagrostisgesellschaft eingebracht, die sich in den beiden Folgejahren zu einer eigenständigen, vitalen Gemeinschaft mit ökosystemaren Merkmalen entwickelte. Im Kreislauf von Wachstum und Zersetzung finden zwar beträchtliche Verlagerungen zwischen den einzelnen Kompartimenten und Veränderungen innerhalb statt, nach der Aufbauphase der Gesellschaft ändern sich bei ausgeglichenen Witterungsverhältnissen im Verlauf der Vegetationsperiode aber weder die Gesamtbiomasse, noch deren projizierte Fläche oder die Nährstoffvorräte in quantitatv wesentlichem Maß. Die hohe Biomassenproduktion - insbesondere im unterirdischen Bereich - Wurzelverteilung, große Oberflächen und gebundene Nährstoffmengen lassen in Verbindung mit der jahreszeitlichen Dynamik vielseitige Einflüsse auf die Fichtenkultur erwarten. Positiven Effekten - etwa im Zusammenhang mit der hohen biologischen Aktivität in der gut remineralisierbaren Grasmasse und der damit verbundenen Zunahme an austauschbaren Basen (Faille; 1977, II) - stehen negative im Rahmen der Interferenz gegenüber.

4.2 Niederschläge und Horizonteinengung

4.2.1 Niederschlagssituation im Beobachtungszeitraum

In den Wintermonaten wurden die Niederschläge nicht laufend registriert sondern in drei offenen Behältern gesammelt und erst in Tauperioden abgelesen. Genaue Angaben zum jährlichen Gesamtniederschlag sind wegen der unbekannten Verdunstungsmengen nicht möglich. Bei weitgehender Übereinstimmung der Beobachtungen mit den langjährigen Mitteln der Meßstation Maria Langegg-Gansbach kann davon ausgegangen werden, daß ca. 70% bis 75% des Jahresniederschlages auf der Fläche während der Monate April bis Oktober fallen. In Tabelle 4.1 sind die in den Zeiträumen 1.4. - 31.10. 1984, 1985 und 1986 mit dem Standardregenschirm auf der Versuchsfläche registrierten monatlichen Niederschlagshöhen den langjährigen Durchschnittswerten der Station gegenübergestellt (die aus technischen Gründen unvollständigen Aufzeichnungen vom April 1984 bleiben unberücksichtigt).

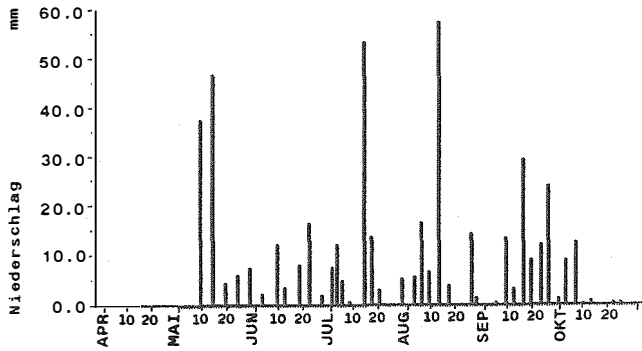
Tab. 4.1: Langjährige Niederschlagsmittel der Station M. Langegg-Gansbach im Vergleich zu den auf der Versuchsfläche mit Standardregenschirm registrierten monatlichen Niederschlagshöhen der Vegetationsperioden 1984 bis 1986

Table 4.1: Monthly precipitation in the open on the sample plot registered with a standard rain gauge in the vegetation periods 1984 to 1986 compared with longtime data of the weather station M.Langegg-G.

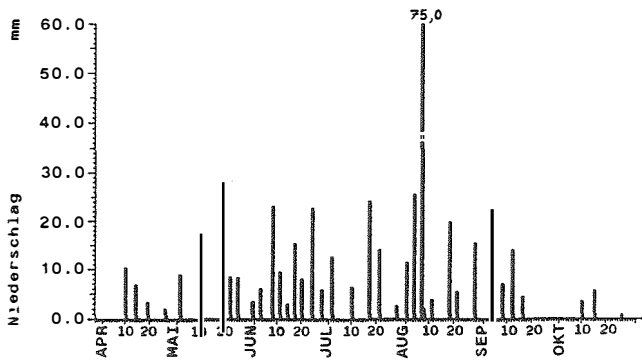
Monat	M.Langegg-Gansbach Monatsmittel		Versuchsfläche Palzmühl		
	1901-1980 mm	1971-1980 mm	1984 mm	1985 mm	1986 mm
April	46	50	--	22.8	20.5
Mai	78	53	102.0	74.1	68.9
Juni	90	81	52.5	93.6	98.4
Juli	100	92	93.2	71.3	64.8
Aug.	82	57	106.2	147.4	57.2
Sept.	54	39	92.7	48.1	35.8
Okt.	40	27	29.6	10.1	53.8
Gesamt	490	399	476.2	467.4	399.4

In Abbildung 4.9 ist die Niederschlagssituation in den Vegetationsperioden 1984 - 1986 detailliert wiedergegeben. Die mit dem Standardregenschirm gesammelten Niederschläge wurden in 2- bis 4-tägigen Abständen registriert. Jede erfaßte Menge ist somit Summe einer Beobachtungsperiode und als solche am Tag der Ablesung in die Graphik eingetragen.

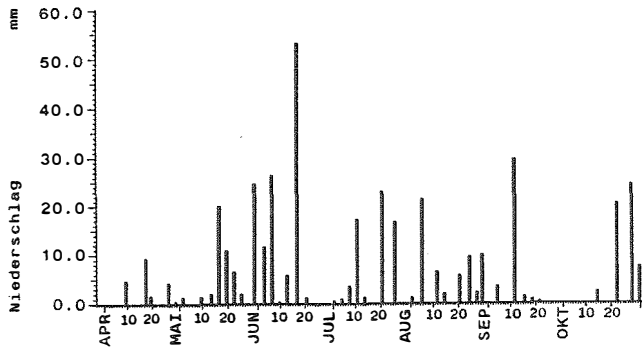
Die Gesamtniederschlagshöhe jeder der drei Perioden liegt im Bereich der langjährigen Mittel. Die Saison 84 war von überdurchschnittlich hohen Niederschlägen im Mai und im September gekennzeichnet, auch im August fiel deutlich mehr Regen. Im Juni wurden unterdurchschnittliche Mengen gemessen. Die großen Summen im Mai, Juli und August sind jedoch auf einzelne Ereignisse zurückzuführen. Die meisten anderen Regenfälle waren im Vergleich zu 1985 deutlich unergiebiger, die sommerliche Niederschlagssituation damit weniger ausgeglichen. War nach dem außergewöhnlich regenreichen September die niederschlagsarme Herbstperiode 1984 während der letzten zwei bis drei Oktoberwochen zu beobachten, fielen im Jahr darauf bereits ab Mitte September kaum nennenswerte Mengen - ebenso 1986, wo erst nach den ersten Frühfrösten wieder höhere Niederschläge registriert wurden. Die monatlichen Niederschlagshöhen in der Vegetationsperiode 1986 unterscheiden sich - von den August- und Oktoberwerten abgesehen - nur wenig von denen des Vorjahres und entsprechen für Mai, Juni und September den langjährigen Mitteln. Der Juli war hingegen in beiden Jahren etwas niederschlagsärmer. Vergleichsweise deutlich niedrigere Mengen waren jeweils im April zu verzeichnen, die aber zusammen mit dem restlichen Schmelzwasser ausreichten, den Boden, der zu dieser Zeit in tieferen Schichten noch gefroren war, bis an die Oberfläche zu vernässen. Auch im Oktober 1985 lag die Niederschlagssumme deutlich unter dem vergleichbaren Durchschnitt und entsprach nur zirka einem Fünftel der relativ großen Menge, die im Jahr darauf registriert wurde. Der außergewöhnlich hohe Wert im August 1985 ist auf einen eintägigen Starkregen zurückzuführen. Dieses Ereignis ist letztlich auch Ursache für die gegenüber dem Folgejahr deutlich größere Niederschlagssumme der Vegetationsperiode 1985.



1984



1985



1986

Abb.4.9: Freilandniederschläge 2- 4-tägiger Meßperioden auf der Versuchsfläche in den Vegetationsperioden 1984 - 1986
Fig.4.9: Precipitation in the open on the sample plot for the vegetation periods 1984-1986 (sampling cycle 2-4 days)

4.2.2 Niederschlagsmeßgeräte im Vergleich

Die Niederschlagsmessung ist in der Regel stets mit Fehlern behaftet, deren Ermittlung und Ausschaltung je nach geforderter Genauigkeit von Bedeutung ist. Von den wesentlichen Fehlerquellen - Haftwasser- und Verdunstungsverluste, Spritzein-/austrag und Abdrift - ist vor allem letztere bedeutsam. Diese, von Art, Form, und Größe des Niederschlages, den herrschenden Windverhältnissen, Gestalt und Material des Meßgerätes beeinflusste, je nach Ereignis und dessen Dauer unterschiedliche Größe ist Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (siehe in Sevruck, 1986; Weihe, 1974 und 1975; Lützke und Simon, 1975). Vor allem die Verschiedenheit der für diese Arbeit verwendeten Niederschlagstotalisatoren erschweren Vergleiche und es stellt sich die Frage nach der Repräsentativität der auf der Versuchsfläche mit den verschiedenen Gerätetypen erhobenen Daten. Die mit dem Standardregenschner ("SRm") gewonnenen Ergebnisse wurden den Monatssummen aus den gemittelten Meßwerten der vier benachbarten Alurinnen der Flächen C und D ("ARm") gegenübergestellt - das Verhältnis ist in Tab. 4.2 wiedergegeben.

Tab. 4.2: Ergebnisse der Niederschlagsmessung mit dem Standardregenschner (SRm) im Vergleich zu Mittelwerten für vier benachbarte Aluminiumrinnen (ARm)

Table 4.2: Standard rain gauge results (SRm) related to averaged precipitation data of four neighboured Alu-channels (ARm)

	1984	1985	1986
	SRm : ARm in %	SRm : ARm in %	SRm : ARm in %
April	-- *	92.3	90.7
Mai	97.5	94.0	96.1
Juni	97.8	97.1	97.4
Juli	99.7	95.3	99.9
Aug.	97.6	96.8	93.8
Sept.	97.5	93.8	95.2
Okt.	91.9	-- *	97.1
Mittel	97.6	94.8	96.4

* Fehlzeiten

Mit dem Standardregenmesser wurden gegenüber den Alurinnen systematisch niedrigere Werte gemessen - die Differenz beträgt im Mittel der drei Perioden 3.7%. In Monaten mit geringen Niederschlagssummen traten größere Abweichungen auf, die offenbar stärker ausfielen, je unergiebigere die Einzelereignisse waren.

Unterschiede in Windeinfluß, Taubildung oder Haftwasserverlusten bedingen Abweichungen in den Trichtermeßergebnissen zwischen den beiden Auffangebeneen "Bodenniveau" und "1.0 m Höhe". In Bodenniveau wurden stets größere Niederschlagsmengen gemessen, die Differenz der monatlichen Niederschlagssummen betrug im Mittel der Vegetationsperiode 6.6%. Etwas stärkere Abweichungen im Juli und August deuten auf vermehrten Windeinfluß im Zuge der sommerlichen Gewittertätigkeit. Möglicherweise hat auch stärkere Taubildung - wie in einigen Fällen zu beobachten war - Anteil an den Unterschieden. Ergebnisse der Niederschlagssammlung mit den Trichtern und den Alurinnen sind in Tab. 4.3 gegenübergestellt. Für den Vergleich wurden die Daten für die Meßbereiche "B", "C" und "E" verwendet (37 Beobachtungen je Totalisator). Angegeben sind die mittleren relativen Monatssummenwerte.

Tab. 4.3: Relative Monatssummen von Niederschlagsmessungen mit Trichter und Aluminiumrinnen in 1m Auffanghöhe (TRm "1m", ARm) und Trichter in Bodenniveau (TRm "Bn")

Table 4.3: Comparative monthly amount of precipitation registered by funnel gauges (TRm "1m") and Alu-channels (ARm) 1m above and with funnel gauges on ground level (TRm "Bn")

1986	ARm	TRm "Bn"	TRm "1m"
Monat	%	%	%
Mai	100	103.6	99.4
Juni	100	102.3	95.8
Juli	100	106.9	97.5
Aug.	100	107.6	95.5
Sept.	100	103.5	98.3
Okt.	100	103.0	98.0
Mittel	100	104.6	97.5

In den Ergebnissen der Tab. 4.3 zeigen sich merkliche Unterschiede

de zwischen den Sammelvorrichtungen: Wurden im Vergleich zu den Aluminiumrinnen mit den Bodenbehältern in jedem Untersuchungsmonat größere Mengen registriert – im Mittel um +4.6% –, so fingen die Trichter in 1m Höhe um durchschnittlich 2.5% weniger Niederschlag auf (Der Standardregenschirm im Vergleichszeitraum: -3.3%).

Es ist davon auszugehen, daß die Alumeßbrinnen aufgrund ihrer Bauweise, Maße und der versetzten Installierung verlässliche Ergebnisse liefern: Verdunstung aus den Sammelbehältern ist praktisch auszuschließen, Haftwasserverluste sind auch materialbedingt gering, Spritzwasseraustrag (Grunow, 1965) durch die relativ hohen Seitenwände unterbunden. Zwar sind auch die Alurinnen den Windströmungen ausgesetzt, doch dürfte dem Jeffons-Effekt bei dem kleinen, zylindrischen Standardmesser größere Bedeutung zukommen. Geringere Niederschlagshöhen in den in einem Meter Höhe installierten Trichtern hängen auch mit der anderen Materialbeschaffenheit (rauhere Oberfläche) und Bauweise (relativ geringer Seitenschutz, Schlauchableitung) zusammen, die größere Verluste an Haftwasser und in manchen Fällen auch Spritzaustrag erwarten lassen. Der Einfluß der Windströmung auf den Meßentgang ist nach Untersuchungen von Rodda et al. (1985) und Folland (1985) bei Verwendung von trichterförmigen Sammlern hingegen geringer als bei zylindrischen Geräten. Demgegenüber waren in Bodenniveau merklich größere Niederschlagshöhen zu verzeichnen – ein Umstand, der die Bedeutung des Jeffons-Effektes für die Standardniederschlagsmessung hervorhebt. Allerdings ist ein Einfluß des die Aufstellbereiche umgebenden Grasbestandes auf die gesammelte Niederschlagsmenge durch Luv- und Lee-Effekte bei größeren Windstärken nicht gänzlich auszuschließen. Verfälschungen durch Spritzwasser sind sehr wahrscheinlich minimal, Verdunstungsverluste aus den Behältern nach Untersuchungen von Mitscherlich et al. 1966) vernachlässigbar. Die vereinzelt festgestellten geringen Taumengen in den Sammelgefäßen sind zwar für den Wärmehaushalt, nicht aber für die Niederschlagsbilanz von Bedeutung.

4.2.3 Niederschlagsverteilung auf der Versuchsfläche

In Tabelle 4.4 sind die während der Vegetationsperioden 1984–1986 mit den Alurinnenpaaren registrierten, gemittelten Niederschlags-

höhen angegeben. Die Anzahl der Beobachtungen entspricht denen des Standardregennessers (1984 41, 1985 38 und 1986 43 Ablesungen). Werte, deren Differenz nicht signifikant ist (5% Irrtumswahrscheinlichkeit), sind strichliert verbunden.

Tab. 4.4: Summen absoluter Niederschlagshöhen in den Alumeßrinnen der Parzellen während der Vegetationsperioden 1984 (* ohne April), 1985 und 1986

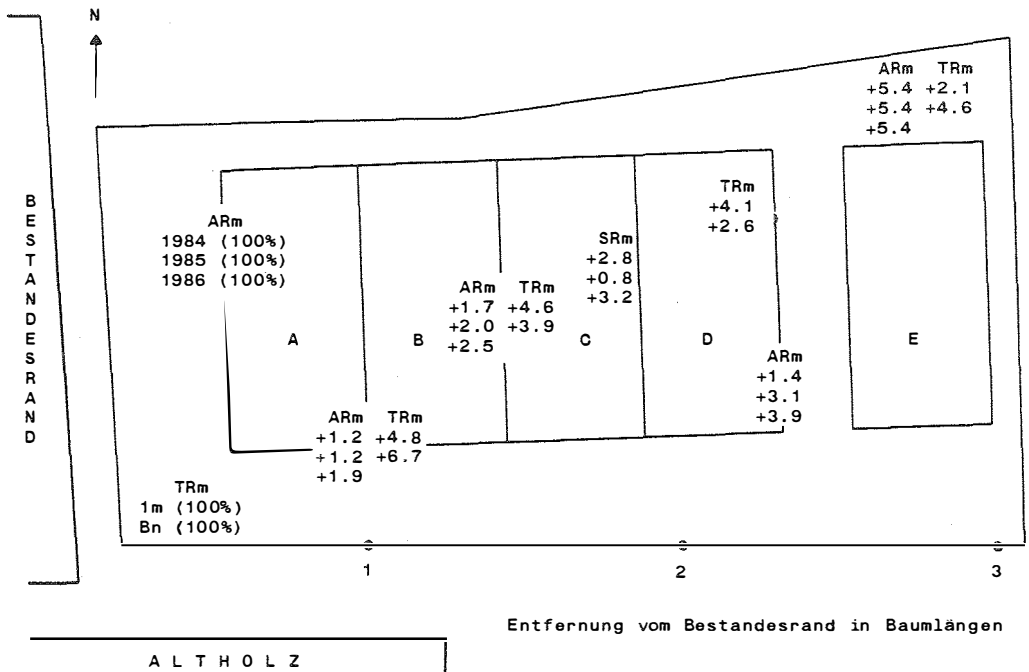
Table 4.4: Total amount of precipitation during the vegetation periods 1984 (* April data excluded), 1985 and 1986 registered with Alu-channels on the sample plots

Saison	Parzelle					Mittel
	A	B	C	D	E	
1984 *	480.6	<u>486.5</u>	<u>488.6</u>	<u>487.2</u>	506.6	489.6
1985	480.8	<u>486.7</u>	<u>490.4</u>	495.6	506.6	492.0
1986	401.4	<u>409.1</u>	<u>411.5</u>	416.9	423.1	412.4

In Entfernung vom Bestandesrand waren größere saisonale Niederschlagshöhen zu verzeichnen, wobei im Vergleich zu den übrigen Parzellen zwischen "A" und "B" wie auch "D" und "E" jeweils etwas größere Unterschiede auftraten. Nennenswerte Differenzen liegen aber nur zwischen den am weitesten auseinanderliegenden Teilflächen A und E: In allen drei Jahren erhielten die Rinnen auf Parzelle A im Vergleich um 5.1% weniger Niederschlag als auf E (100%), gegenüber D lagen die Unterschiede nur mehr zwischen 1.4% (1984) und 3.7% (1986).

Die auf der Fläche in den drei Perioden registrierten prozentuellen Unterschiede in der Niederschlagsverteilung sind in Abbildung 4.10 dargestellt. Als Bezugsgröße dienen die Ergebnisse der Meßeinrichtungen auf der dem Altbestand nächstgelegenen Parzelle A. Die Werte des Standardregennessers wurden für den Vergleich um die ermittelte Abweichung korregiert (3.7%). Die Trichtermeßergebnisse wurden getrennt für Bodenniveau und 1m Höhe ausgewertet. Abb. 4.10 können folgende Informationen entnommen werden:

* Mit den Alumeßrinnen wurden in zunehmender Entfernung vom Bestandesrand größere Niederschlagsmengen aufgefangen. Dieses Ergebnis ist statistisch signifikant.



TRm ... Trichtertotalisator ("1m" Höhe und Boden-
 ARm ... Alu-meßbrinnen niveau "Bn")
 SRm ... Standardregenschne-messer

Abb. 4.10: Prozentuelle Unterschiede in den saisonalen Niederschlagshöhen 1984, 1985 und 1986 zwischen bestandes-nahen (100%) und entfernteren Meßstellen

Fig. 4.10: Precipitation differences in percent between sample plots close to (100%) and in greater distance from the aged stand for the vegetation periods 1984 - 1986

- * Die Unterschiede in den Gesamtniederschlagshöhen zwischen den Parzellen sind jedoch gering - insbesondere zwischen den Teil-flächen B, C und D (kleiner 2%).
- * Sowohl in den mit dem Standardregenschne-messer wie auch in den mit den Trichtern ermittelten Niederschlagssummen kommt - mitbe-dingt von der Stichprobenzahl - die größere Streuung der mit kleinen Auffangflächen gewonnenen Ergebnisse zum Ausdruck. Wurde in unmittelbarer Bestandesnähe mit den Trichtern zwar deutlich weniger Niederschlag registriert, so zeichnen sich bei den anderen Parzellen keinerlei Tendenzen in der Nieder-schlagsverteilung ab.

4.2.4 Horizonteinengung

Ein Bestandesrand als Übergangsbereich und Geländestufe zeigt vielerlei Einflüsse auf das Kleinklima der angrenzenden Freifläche. Folgende Klimaelemente der Leeseite eines nach Osten exponierten Altholzrandes verlieren mit zunehmender Entfernung unterschiedlich an gestaltender Bedeutung:

- * geringere Globalstrahlung, die nach Flemming (1962) im Abstand von einem Fichtenaltholzrand im Westen von einer Baumhöhe ca. 83%, bei zwei bzw. drei Baumhöhen ca. 94% und 97% beträgt.
- * weniger direkte Sonnenstrahlung
- * herabgesetzte effektive Ausstrahlung infolge der Gegenstrahlung an den Randbäumen. Nach Geiger (1936) mindert ein 30 m hoher Bestand die nächtliche Ausstrahlung in einer Entfernung von 20m um ca. 20%, im Abstand von 37m und 60m um 10% bzw. 6%.
- * verminderte Windgeschwindigkeit; der Wind, der hinter einem Hindernis durch den vergrößerten Strömungsquerschnitt an Geschwindigkeit verliert, erreicht erst etwa beim 20-fachen der Hindernishöhe (Weihe, 1974) seine ursprüngliche Stärke. In Zusammenhang mit der wechselnden Schleppkraft steht die Niederschlagsverteilung.
- * weniger Taubildung - bedingt durch die herabgesetzte effektive Ausstrahlung - dafür längere Erhaltung des Tauniederschlages im Schattenbereich.
- * geringere Evapotranspiration als Folge dieser kleinklimatischen Gegebenheiten.

Ausschlaggebend für die der Entfernung zum Bestandesrand entsprechende kleinstandörtliche Zonierung sind die Strahlungs- und Windverhältnisse. Entsprechende Auswirkungen dieser beiden Klimakomponenten auf den Bodenwasserhaushalt sind im Detail kleinflächig schwer abschätzbar.

In Abbildung 4.11 ist jeweils für die Mittelpunkte der Parzellen A bis E die Horizonteingrenzung dargestellt. Eingezeichnet sind die Stundenwinkel ($N = 24h = 0h$), die wahren Ortszeiten und der Sonnengang zu Beginn der Jahreszeiten (21.3., 21.6., 23.9., 21.12.1985). Die Einengung durch den im westlichen Südteil der Fläche angrenzenden Altbestand ist für die direkte Besonnung von vergleichsweise geringer Bedeutung und kommt während der Vegeta-

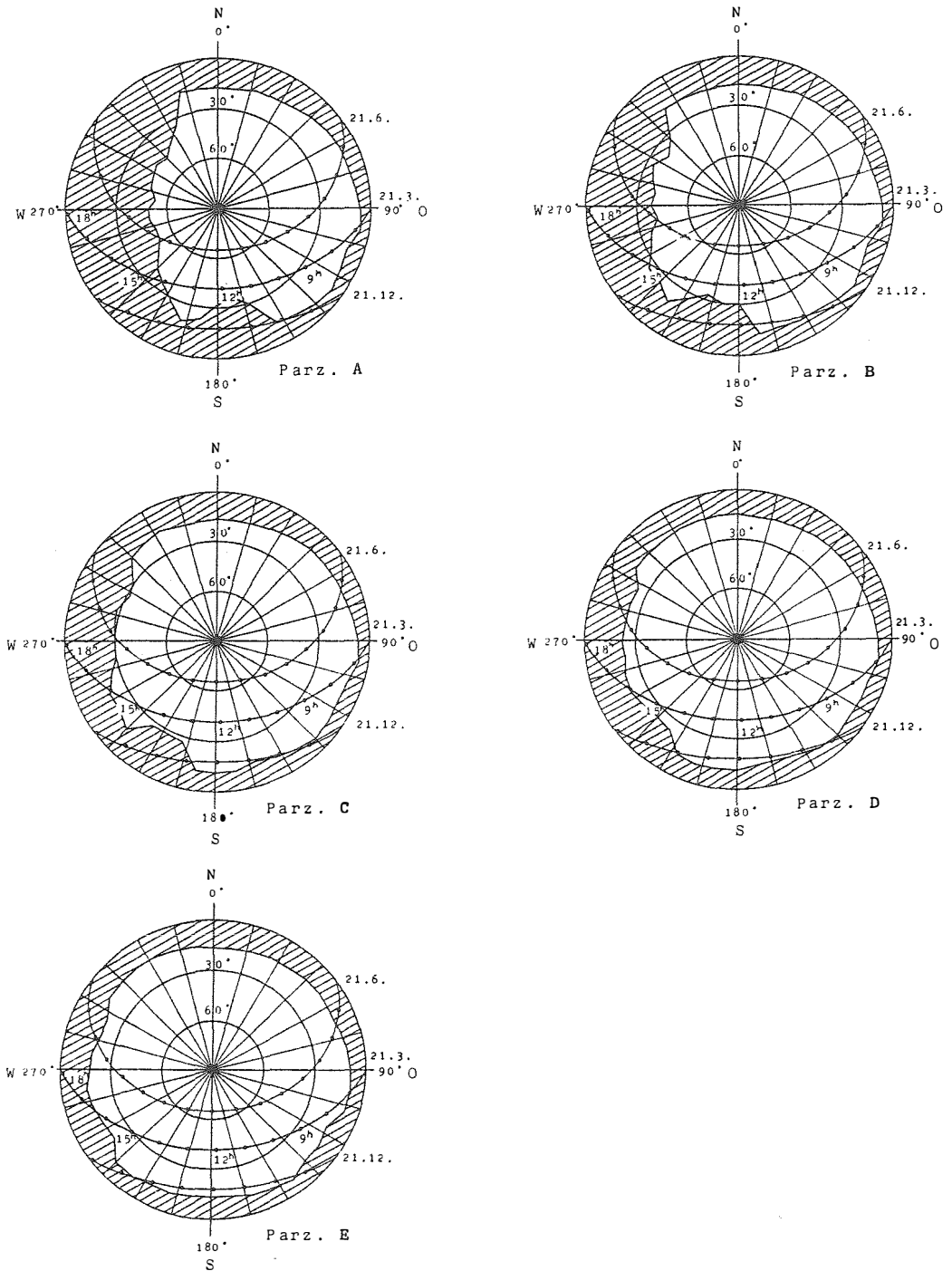


Abb. 4.11: Der Horizont um die Mittelpunkte der Versuchsparzellen
 Fig. 4.11: The horizon around the centers of the sample plots

tionszeit nicht zum Tragen. In den Wintermonaten ist die direkte Einstrahlung bei Parzelle A gänzlich unterbunden, bei "B" auf etwa $3/2$ Stunden am Vormittag beschränkt. Die Einengung durch den SW-Rand ist abgeschwächt noch auf Fläche C bemerkbar. Wesentlich größere Bedeutung kommt dem Westrand der Versuchsfläche zu, der in der Wachstumsperiode allein maßgeblich für die Beschattung ist. Während morgens alle Parzellen innerhalb kurzer Zeit - zwischen 645 und 700 (21.3., 23.9.) bzw. 515 und 530 (21.6.) - in direkten Lichtgenuß kommen, ist dessen Ende für die einzelnen Bereiche sehr unterschiedlich: Zu Frühlingsbeginn liegen bei mittlerem Sonnenstand zwischen Beginn der Beschattung der Flächen C und E nur etwa 25 Minuten, Parzelle B ist dann schon seit fast einer, Fläche A seit annähernd zwei Stunden im Schatten. Bis zur Sommersonnenwende weiten sich die Differenzen aus.

Die für die einzelnen Teilflächen graphisch ermittelten Zeitpunkte von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang am 15. jedes Monats der Wuchssaison und die daraus resultierenden Tageslängen im Vergleich zu den astronomischen Tageslängen zeigt Tabelle 4.5. Wie daraus hervorgeht, wird Parzelle A während der gesamten Vegetationsperiode wesentlich früher beschattet, nur 58% der theoretisch möglichen direkten Einstrahlung können insgesamt maximal erreicht werden. Auch für die angrenzende Fläche B ist die Tageslänge von 66% der astronomischen im Vergleich zu den übrigen merklich kürzer. Mit Verlusten von 28%, 25% und 23% sind die Unterschiede zwischen den Parzellen C, D, und E relativ gering.

Die Intensität der Sonnenstrahlung weist bekanntlich einen starken Tagesgang auf - sie ist in den Morgen- und Abendstunden gegenüber Mittag wesentlich geringer. Der Zeitraum der Abschirmung ist daher für den Strahlungsverlust von besonderer Bedeutung. Bei Kenntnis von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang kann zu Vergleichszwecken der Verlust an Sonnenstrahlung auf eine horizontale Fläche mit Hilfe der Angaben in Steinhauser et al. (1958, Tab. 16) ermittelt werden. Das Ergebnis für die Versuchsparzellen zeigt Tabelle 4.6. Zwischen den Teilflächen bestehen durch die Nähe des Bestandesrandes zweifellos gewisse Unterschiede in den Strahlungsbilanzen und deren Komponenten. Da keine Untersuchungen zum Strahlungsklima durchgeführt wurden, können die Angaben nur beispielhaft die mögliche Bedeutung der Horizontüberhöhung für den Strahlungshaushalt der einzelnen Parzellen aufzeigen.

Tab. 4.5: Zeitpunkte von Sonnenaufgang und Sonnenuntergang für die jeweilige Mitte der Versuchsparzellen und die daraus resultierenden Tageslängen im Vergleich zu den astronomischen Tageslängen - bestimmt für den 15. jedes Monats der Wuchssaison

Table 4.5: Time of sunrise and sunset for the centers of the sample plots, the resulting duration of days in comparison with the astronomical duration - determined for the 15th of each month of the vegetation period

15. des Monats	Astronomische Tageslänge	Sonnenaufgang	Sonnenuntergang	Tageslänge Parzelle A	Sonnenaufgang	Sonnenuntergang	Tageslänge Parzelle B	Sonnenaufgang	Sonnenuntergang	Tageslänge Parzelle C	Sonnenaufgang	Sonnenuntergang	Tageslänge Parzelle D	Sonnenaufgang	Sonnenuntergang	Tageslänge Parzelle E
APR	13:40	605	1415	8:10	605	1520	9:15	610	1605	9:55	615	1625	10:10	615	1700	10:45
MAI	15:15	540	1430	8:50	540	1535	9:55	540	1630	10:50	545	1710	11:25	545	1740	11:55
JUN	16:00	515	1430	9:15	515	1540	10:25	520	1640	11:20	525	1720	11:55	530	1745	12:15
JUL	15:35	520	1425	9:05	520	1530	10:10	525	1630	11:05	530	1710	11:40	530	1735	12:05
AUG	14:15	550	1415	8:25	550	1525	9:35	550	1610	10:20	555	1645	10:50	555	1715	11:20
SEP	12:45	630	1410	7:40	630	1520	8:50	630	1600	9:30	635	1615	9:40	640	1645	10:05
OKT	11:10	750	1355	6:05	750	1450	7:00	750	1530	7:40	750	1530	7:40	815	1535	7:20
%	100	58			66			72			75			77		

Tab. 4.6: Verlust an Sonnenstrahlung für die Parzellen der Versuchsfläche in % der möglichen Tagessumme infolge verspäteten Sonnenaufganges und verfrühten Unterganges

Table 4.6: Loss of direct radiation on the sample plots as percentage of the potential daily amount caused by delayed sun set and premature sunrise

15. des Mo- nats	Verlust an Sonnenstrahlung am Vormittag (1.Zahl) und am Nachmittag (2.Zahl) für die Parzellen der Versuchsfläche. Angaben in % der möglichen Tagessumme				
	A	B	C	D	E
APR	1 + 22 (23)	1 + 14 (15)	1 + 8 (9)	2 + 5 (7)	2 + 3 (5)
MAI	1 + 23 (24)	1 + 14 (15)	1 + 8 (9)	2 + 5 (7)	2 + 3 (5)
JUN	2 + 25 (27)	2 + 15 (17)	2 + 9 (11)	2 + 6 (8)	2 + 4 (6)
JUL	2 + 25 (27)	2 + 15 (17)	2 + 8 (10)	2 + 6 (8)	2 + 4 (6)
AUG	2 + 24 (26)	2 + 14 (16)	2 + 9 (11)	2 + 6 (8)	2 + 4 (6)
SEP	1 + 22 (23)	1 + 11 (12)	1 + 7 (8)	1 + 6 (7)	1 + 3 (4)
OKT	3 + 22 (25)	3 + 11 (14)	3 + 6 (9)	3 + 6 (9)	4 + 6 (10)

Die Ergebnisse der als Anhaltspunkte untersuchten Haupteinflußgrößen "direkte Strahlung" und "Niederschlagsverteilung" legen folgende Grundsituation auf der Versuchsfläche nahe: Die Sonnenstrahlung wird - durch den westlichen Bestandesrand - nur in der zweiten Tageshälfte wesentlich beeinträchtigt. Kommt die gesamte Fläche während des Vormittags in nahezu gleichen direkten Strahlungsgenuß, so ist mit dem zeitigen Sonnenuntergang eine deutliche Verminderung der direkten Energiezufuhr auf der randnächsten Parzelle "A" verbunden. Der frühe Schattenwurf ist auch noch auf Fläche "B" von gewisser Bedeutung. Die relativ geringen Unterschiede zwischen den übrigen Parzellen lassen hingegen keine nennenswerten Auswirkungen erwarten. Beim kleineren Anteil der jährlichen Globalstrahlung, der diffusen Himmelsstrahlung, sind diese Differenzen zweifellos geringer, da zumindest ein Teil der durch den Bestandesrand abgehaltenen Himmelsstrahlung von der Reflexstrahlung ausgeglichen wird. Der im westlichen Südteil an die Versuchsfläche grenzende Altholzteil hat auf den Energieeinput während der Vegetationsperiode faktisch keinen Einfluß. Da für die potentielle Evapotranspiration neben dem Sättigungsdefizit der Atmosphäre die zugeführte Energiemenge von ausschlaggebender Bedeutung ist, sind zumindest bei der randnächsten Parzelle "A"

auch gewisse Unterschiede im Wasserverbrauch gegenüber den anderen Flächen wahrscheinlich. Die mit der Entfernung des Bestandesrandes unterschiedlichen Taumengen sind zwar physiologisch relevant (Sigmond, 1912; Baumgartner, 1956; Hetsch und Heilig, 1981), spielen quantitativ im Wasserhaushalt aber kaum eine Rolle. Auch ist kein Einfluß über die Hintanhaltung der Transpiration zu erwarten, da am Morgen die gesamte Fläche uneingeschränkt der Einstrahlung unterliegt.

Demgegenüber ist der Wind als Energie- und Massentransportfaktor nicht nur für die Verdunstung sondern vor allem für die Niederschlagsverteilung von besonderer Bedeutung. Wie die Ergebnisse der Niederschlagsmessung gezeigt haben waren in zunehmender Entfernung vom Bestandesrand mit den Alumeßrinnen größere Niederschlagshöhen gesichert feststellbar nicht aber mit den Trichter-totalisatoren. Die Unterschiede in der Gesamtniederschlagshöhe zwischen den Parzellen waren dabei relativ gering. Merklich weniger Niederschläge wurden in der SW-Ecke der Fläche verzeichnet, die außerhalb des eigentlichen Untersuchungsbereiches und wahrscheinlich noch im Regenschatten eines Lee- bzw. im Stauabschnitt eines Luvfeldes liegt. In jenen Zonen, die etwa 0.4 (Flemming, 1964) / 0.5 (Weihe 1974) Hindernishöhen weit reichen, sind die Niederschlagsmengen bedingt durch den verengten Strömungsquerschnitt und der damit verbundenen stärkeren Schleppkraft des Windes am geringsten. Auf der Versuchsfläche wurde die Niederschlagsverteilung vom Altbestand nicht wesentlich beeinflusst. Zwar ist Westen als Hauptwindrichtung anzunehmen, doch dürfte die Waldbestandstruktur der Umgebung auf die Windverhältnisse modifizierend einwirken und einer ausgeprägten Leelage der Versuchsfläche entgegenstehen. Darauf wies im besonderen die vorherrschende Orientierung des Grasbestandes, die zumindest in Bodennähe ein häufiges Auftreten von Ostströmungen erwarten läßt. Man kann daher grundsätzlich davon ausgehen, daß sich die Parzellen der Versuchsfläche im Niederschlagseingang nicht nennenswert unterscheiden. Es ist aber wahrscheinlich, daß der randnahe Bereich (Parzelle "A") gegenüber den weiter entfernten Flächen geringfügig weniger Niederschlag empfängt.

4.3 Interzeption

4.3.1 Unterschiede zwischen den Vegetationsperioden

In Tab. 4.7 sind relative Meßergebnisse der Bodenrinnen (Nd) im Verhältnis zum Freilandniederschlag (No, Mittel der repräsentativen Alumeßrinnen auf den Parzellen C und D) zusammengestellt. Die für den Vergleich verwertbaren Beobachtungen - 1984 je 35 (9.6.-27.11.), 1985 je 27 (31.5.-8.11.) und 1986 je 36 (9.4.-31.10.) - wurden periodenweise summiert, für die fünf Meßbereiche die Resultate auch getrennt nach der Orientierung der Rinnen angegeben. (Spalte a: Nord/Süd, Spalte b: Ost/West). Die Meßstellen 4 und 5 wurden erst im Verlauf der Wuchssaison 1985 überschirmt, Altgrasbiomasse war daher nur im Folgejahr in die Messungen miteinbezogen.

Tab.4.7: Durchtropfender Niederschlag (Nd) im Verhältnis zur Freilandniederschlagshöhe (No) während der Vegetationsperioden 1984, 1985 und 1986

Table 4.7: Throughfall (Nd) in relation to the precipitation in the open (No) for the vegetation periods 1984 to 1986

Periode	No	Nd (%) in den Meßbereichen								
	%	1			2			3		
		a	b	$\bar{x}$	a	b	$\bar{x}$	a	b	$\bar{x}$
1984	100	107	91	(100)	61	70	(66)	-	-	-
1985	100	177	163	(170)	99	109	(104)	45	103	(74)
1986	100	58	135	(97)	12	79	(45)	42	81	(62)
		4			5					
		a	b	$\bar{x}$	a	b	$\bar{x}$			
1984	100	-	-	-	-	-	-			
1985	100	72	98	(85)	117	117	(117)			
1986	100	11	121	(66)	53	165	(109)			

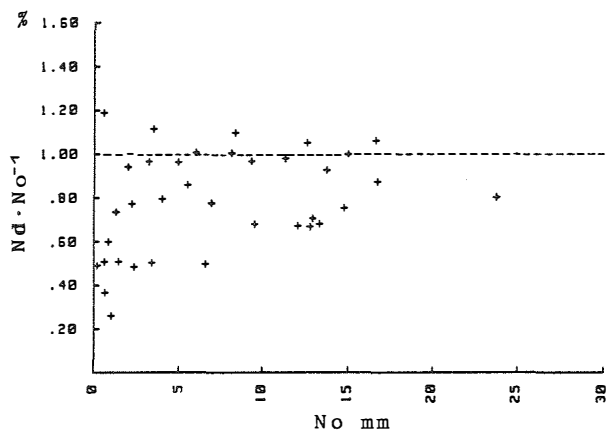
a: Bodenrinnen N-S orientiert;

b: Bodenrinnen O-W orientiert

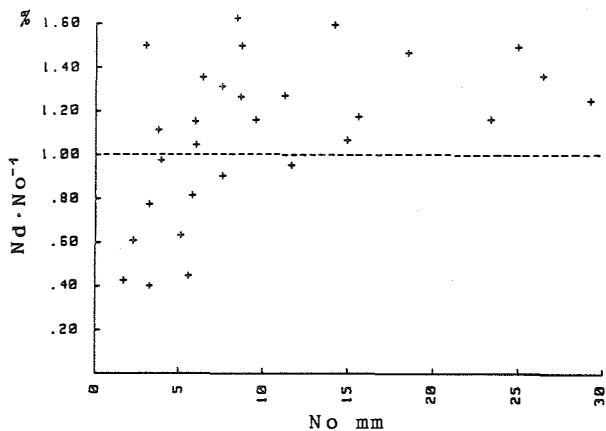
Wie Tab. 4.7 zeigt, wurden nicht nur zwischen den fünf Meßbereichen beträchtliche Unterschiede in den Niederschlagsmengen der am Boden installierten Rinnen (Nd) registriert, auch die windbedingte Ausrichtung des Grasbestandes - heranwachsende Blätter und zum

Teil auch noch die abgestorbene Biomasse waren verstärkt nach Westen orientiert - hatte Einfluß auf die Meßergebnisse der versetzt angeordneten Rinnen. So wurden in den gleichsinnig zur Bestandesrichtung gesetzten Sammlern (Spalte b) wahrscheinlich bedingt durch vermehrt einhängende Blätter größere Mengen aufgefangen als in den quer orientierten die eher durch überhängende Teile beschirmt waren - eine Erscheinung, die vor allem in der Periode 1986 zu beobachten war und auch im Meßbereich 1 auftrat, der für beide Vorjahre dem entgegengesetzte Ergebnisse zeigt.

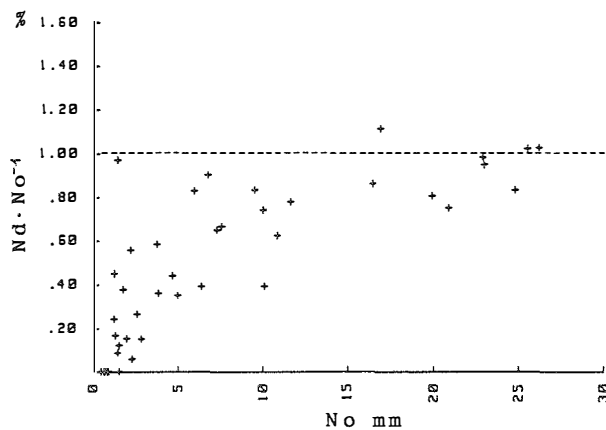
Bemerkenswert sind besonders die Unterschiede der drei Untersuchungsperioden in den relativen Niederschlagshöhen unter den Grasschichten. Abbildung 4.12 zeigt jeweils das Verhältnis zwischen dem Freilandniederschlag N_0 (nach den für den Interzeptionsmeßbereich repräsentativen vier Alumeßbrinnen der Parzellen C und D) und dem Durchschnitt der Meßwerte (N_d) jener vier PVC-Auffangrinnen, die 1984-1986 von den gleichen, unveränderten Stellen Daten lieferten. Bei Berücksichtigung von Freilandniederschlagshöhen bis zu 30 mm konnten für die Vegetationsperiode 1984 je 36, für 1985 je 29 und 1986 jeweils 41 Beobachtungen ausgewertet werden. Die gewonnenen Werte ergeben je nach Periode ein sehr unterschiedliches Bild der Niederschlagsverhältnisse in der Vergrasung. 1984 wurden in sieben Fällen (19%) mit den Bodenmeßbrinnen jeweils geringfügig größere Mengen im Vergleich zu den Freilandniederschlägen registriert. Demgegenüber übertrafen in der Periode 1985 die Werte von N_d die N_0 -Mengen in der Mehrzahl der Beobachtungen (66%). Ein direkter Zusammenhang zwischen der Freilandniederschlagsmenge und deren Überschreitung in den Bodensammlern ist wie auch bei den Daten für 1984 nicht feststellbar. Im Untersuchungszeitraum 1986 wurden in den Bodenrinnen nur dreimal (7%) etwas größere Mengen gegenüber N_0 gemessen. Bei Freilandniederschlagshöhen unter 5 mm waren die unter dem Grasbestand aufgefangenen Mengen bis auf einzelne Ausnahmen in jeder Periode wesentlich geringer - zwischen -14% (1985) und -71% (1986)- darüber nahmen sie rasch zu. (Die Haftwasserkorrektur fällt auch bei sehr unergiebigem Ereignissen kaum ins Gewicht). Neben den saisonalen Differenzen kommt in den Ergebnissen auch der Einfluß der jeweils spezifischen Niederschlagsereignisse gut zum Ausdruck: bei gleichem Freilandniederschlag waren die in den Bodenrinnen gesammel-



1984



1985



1986

Abb.4.12: Beziehung zwischen Freilandniederschlag (No) und durchtropfendem Niederschlag (Nd) in der Calamagrostisvergrasung während der Vegetationsperioden 1984 - 1986

Fig.4.12: Relation between precipitation in the open and through-fall in the Calamagrostis-grass stand during the vegetation periods 1984-1986

ten Mengen sehr unterschiedlich - ein Umstand der in erster Linie auf die Dauer, die Intensität und den Verlauf der Niederschlags-tätigkeit und die dabei wie nachfolgend herrschenden Temperatur-, Strahlungs-, Luftfeuchtigkeits- und Windverhältnisse zurückzuführen ist und weniger auf die Anzahl der bei der periodischen Entleerung der Meßgefäße erfaßten Ereignisse oder auf die geringfügigen, fallweisen Taugeinträge. Abbildung 4.12 verdeutlicht vor allem die Problematik der Ermittlung der Interzeption von Vergrasungen in Freilanduntersuchungen. Die jährlichen Veränderungen im Calamagrostisbestand - vor allem die Biomassenentwicklung, unterschiedliche Schnee- und Reiflasten auf den Altgrasdecken und umfeldbeeinflusste Windströmungen - bedingen Orientierung und strukturelle Umlagerungen, die für saisonale Meßergebnisse von Bedeutung sein können, wie die Darstellung gezeigt hat. Da bei vergleichbarer Meßtätigkeit in jeder der drei Perioden sämtliche Niederschlagsereignisse erfaßt wurden, sind die jährlich unterschiedlichen Ergebnisse mit Sicherheit auf solche Bestandesveränderungen zurückzuführen. Diese Entwicklungen waren auch bei den anderen Rinnen zu beobachten. Bei Vergleichen ähnlicher Interzeptionsuntersuchungen sollte diese Einflußgröße bedacht werden.

4.3.2 Biomassenentwicklung und Interzeption

Neben längerfristigen Entwicklungen des Grasökosystems und saisonalen Unterschieden unterliegt die Vergrasung auch den jährlichen gegenläufigen Zyklen von Wachstum und Zersetzung. Während dieser ändert sich zwar die gesamte oberirdische Biomasse quantitativ nicht wesentlich, vom Wechsel der Frisch- und Altgrasanteile sind jedoch Einflüsse auf die Bestandesinterzeption und deren Untersuchung zu erwarten. Wie sich der jährliche Entwicklungsgang in den Niederschlagsmengen unter dem Grasbestand ausdrückt, zeigt Abb. 4.13. Im oberen Teil der Graphik sind die im Verlauf einer Vegetationsperiode ablaufenden Veränderungen der oberirdischen Biomasse und deren projizierter Fläche für eine Calamagrostisvergrasung, die das standörtlich mögliche Produktionsniveau der Versuchsfläche erreicht hat, schematisch dargestellt. Im unteren Abschnitt sind die Mittelwerte für den durchtropfenden Niederschlag N_d in Prozenten vom Freilandniederschlag N_0 aufgetragen. Ausgewertet wurden die Meßergebnisse sämtlicher in entwickelten Gras-

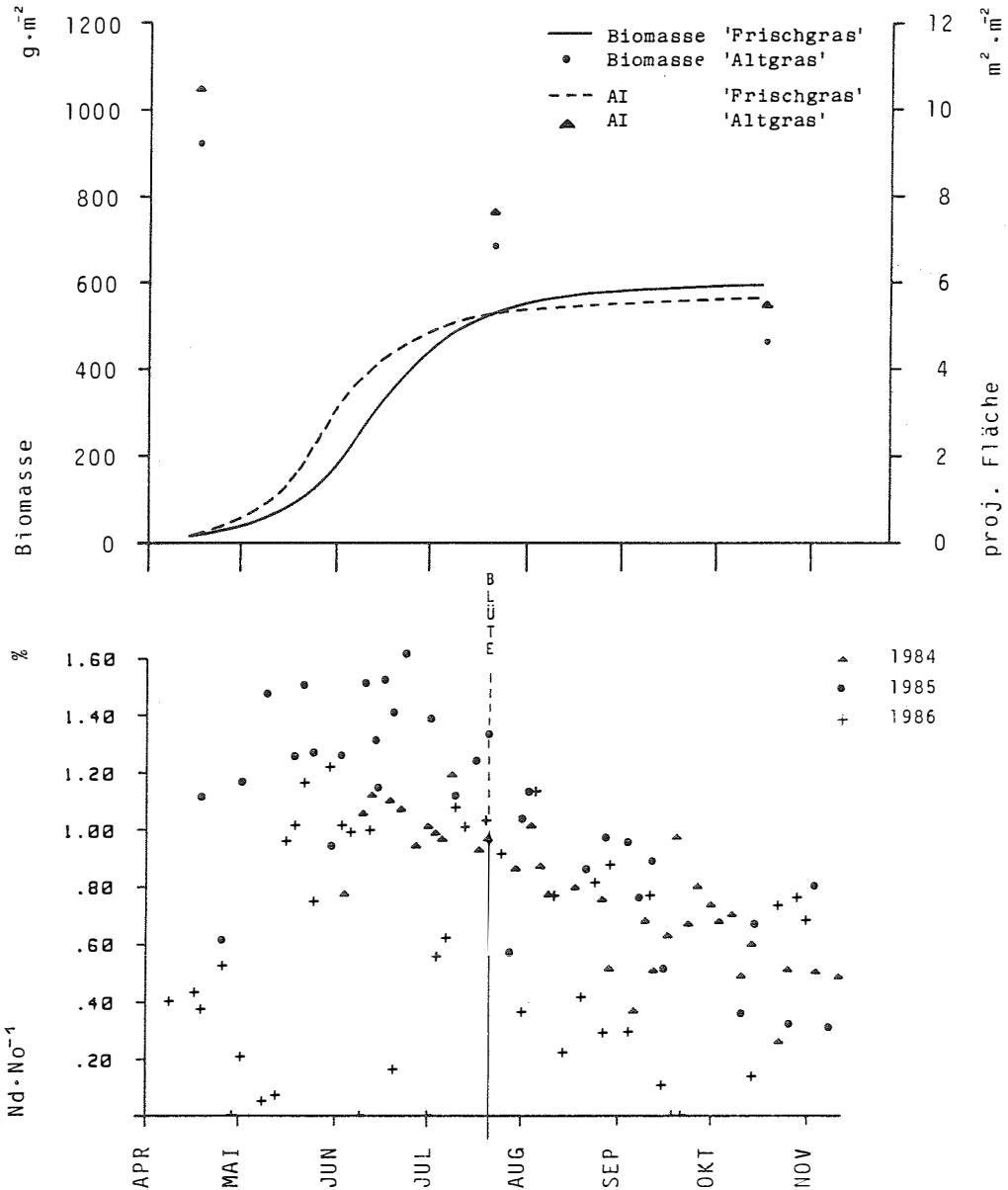


Abb. 4.13: Saisonale Entwicklung der oberirdischen Biomasse sowie deren projizierter Fläche (AI) und Niederschlagsverhältnisse im Calamagrostisbestand

Fig. 4.13: Seasonal development of the aboveground biomass and its projected area (AI) and the precipitation rate in the Calamagrostis-grass stand

horsten installierter - 1984 vier, 1985 sechs und 1986 zehn - Rinnen. Wie der obere Teil der Graphik zeigt, wird zu Beginn der Vegetationsperiode mit Entfaltung und Wachstum der Blätter die produktive Fläche rasch aufgebaut. Mit der späteren Ausbildung der Halme nimmt zwar die Biomasse weiter stetig zu, die Blattfläche wird jedoch nur mehr wenig vergrößert, bis mit Beginn der Blüte annähernd die volle Entwicklung der Pflanzen erreicht wird. Gegenläufig zum Heranwachsen des Bestandes wird von der Altgrasmenge etwa eine Jahresproduktion an oberirdischer Biomasse abgebaut. Am unteren Teil der Darstellung, den saisonalen Niederschlagsverhältnissen in der Vergrasung, ist mehrerlei bemerkenswert:

- * Die relativen Niederschlagshöhen unter dem Bestand zeigen im Jahresverlauf eine deutlich abnehmende Tendenz mit fortschreitender Vegetationsentwicklung. Dies war in allen drei Beobachtungszeiträumen festzustellen, 1985 am stärksten, im Folgejahr weniger ausgeprägt.

- * Weiters fällt auf, daß bis zur annähernden Vollentwicklung des heranwachsenden Frischgrasbestandes etwa Anfang Juli, zwischen Freiland- und durchtropfendem Niederschlag 1984 und 1986 kaum Unterschiede zu verzeichnen waren, 1985 der Eintrag in die PVC-Rinnen die Freilandmengen sogar übertraf.

- * Der Einfluß der zeitlichen Niederschlagsverteilung und der Registrierung mit Totalisatoren auf die Ergebnisse kommt besonders in den Meßwerten von April und Mai 1986 zum Ausdruck. In diesem Zeitraum wurden kleine Freilandniederschlagshöhen gemessen (vgl. Abb. 4.9), aber auch in den anderen Monaten wurden gegenüber den Vorjahren mitunter sehr geringe Ereignisse (unter 5 mm Freilandniederschlag) mit den Totalisatoren registriert. Die durch die Vergrasung entsprechend stark verminderten Niederschlagsmengen erscheinen in der Graphik als "besondere" Abweichungen.

- * Die Altgrasbiomasse im Frühjahr geht aus der gesamten oberirdischen Biomasse am Ende der Vegetationsperiode hervor. Der Unterschied zwischen den entsprechenden Bestandesniederschlagsverhältnissen ist deutlich und muß mit den zwischenzeitlichen Umlagerungen in Zusammenhang stehen.

Den Freilanduntersuchungen zufolge käme dem vorwiegend horizontal gelagerten Altgraskompartiment bei der Niederschlagsrückhaltung

wenig Bedeutung zu, wäre eine merkliche Abnahme der Bodenniederschlagshöhe erst mit der vollen Entwicklung des neuen Bestandes verbunden. Dieses Ergebnis ist wenig wahrscheinlich, zumal jedes Niederschlagshindernis interzipierend wirkt, und wird in den beiden folgenden Abschnitten näher untersucht.

4.3.3 Niederschlagsrückhaltung in der abgestorbenen Bestandes-schicht

Die Abschätzung des Interzeptionspotentials der abgestorbenen Biomasse wurde im Labor vorgenommen. Tabelle 4.8 zeigt die gemittelten Ergebnisse der untersuchten Proben, die nach unterschiedlichen Witterungsperioden gewonnen wurden. Der Ernte am 21.7.86 war ergiebiger Niederschlag vorausgegangen, die Werbung am 16.10.1986 erfolgte nach einer längeren Trockenperiode, die Altgrasreste vom 17.10.87 wurden nach wechselhafter Witterung in leicht feuchtem Zustand angetroffen. Die Streuung von Frisch- und Speichergewicht (Bezug: Trockenmasse) zwischen den einzelnen Stichproben war bei jedem Erntetermin sehr gering (zwischen 1% und 13% des Mittels).

Tab. 4.8: Interzeptionsspeicherung in der Altgrasbiomasse von *Calamagrostis epigeios*

Table 4.8: Interception storage in the dead layer of the *Calamagrostis*-grass stand

Interzeptionspotential der Altgrasbiomasse							
Probe	Speichergewicht - Frischeinwaage = Rückhaltemenge						Ofentrockengew.
	g	(%)	g	(%)	g	(%)	g (%)
21. 7.86	846	(486)	506	(291)	340	(195)	174 (100)
16.10.86	373	(316)	140	(119)	233	(198)	118 (100)
17.10.87	828	(404)	364	(178)	464	(226)	205 (100)
Speichermenge = Speichergewicht - Ofentrockengew.							
	g	(%)					
21. 7.86	672	(386)					
16.10.86	255	(216)					
17.10.87	623	(304)					

Wie Tab. 4.8 zeigt, ist bei der Bewertung der Altgrasbiomasse für die Niederschlagsrückhaltung zwischen Rückhalte- und Speichermenge zu unterscheiden: Die vorausgegangene lange Trockenperiode (16.10.86) ließe einen etwas größeren Benetzungswiderstand der lufttrockenen, stärker hydrophoben Altgrasreste erwarten. Während des kurzen "Niederschlagsereignisses" im Labor wurde jedoch nahezu die gleiche Wassermenge (1.98 g) pro g Trockensubstanz aufgenommen wie von der stark vorfeuchten Biomasse (1.95 g am 21.7.86). Beim nur sehr wenig feuchten Material vom 17.10.87 war die Auf-sättigung etwas größer (+ 15%) - wahrscheinlich mitbedingt durch eine bessere Leitfähigkeit. Es läßt sich daraus schließen, daß durch den Bewässerungsvorgang die Benetzungskapazität relativ genau abgedeckt wurde. Sie entspricht demnach bei einer Altgras-trockenmasse von $900 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ am Beginn der Wuchssaison einer Niederschlagshöhe von rund 1.8 mm. Die insgesamt gespeicherte Wassermenge war aber je nach Zustand der toten Biomasse unterschiedlich: 2.16 g Wasser pro g Trockensubstanz (TS) im lufttrockenen Material (16.10.86) bis $3,86 \text{ g g}^{-1} \text{ TS}$ in den stark vorfeuchten Altgrasresten. Dies zeigt, daß beim abgestorbenen Material die Ermittlung der Benetzungskapazität zur Beurteilung der möglichen Speichermenge nicht ausreicht. So war zwar die Benetzungskapazität der Altgrasreste unabhängig von deren inneren Zustand bei rund 2 g Wasser je g Trockensubstanz ausgeschöpft, doch wird ein Großteil dieses Oberflächenwassers nicht direkt verdunstet, sondern aufgesogen und zwischengespeichert. Ein nachfolgendes Niederschlagsereignis unterbricht die langsame Abgabe und führt erneut zur Aufsättigung. Ein Grenzwert für die aufnehmbare Wassermenge kann aus dieser Untersuchung nicht abgeleitet werden. Angesichts des hohen Vorsättigungsgrades der Altgrasreste vom 21.10.86 ist eine Aufnahmekapazität der toten Biomasse von ca. 4 g Wasser je g TS wahrscheinlich. Dies entspricht bei einer Trockenmasse von rund $900 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ am Anfang der Vegetationsperiode einer möglichen Niederschlagsrückhaltung von $3.6 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2}$, die mit dem saisonalen Abbau von ca. 50% auf $1.8 \text{ mm} \cdot \text{m}^{-2}$ im Herbst absinkt.

Die Speicherkapazität abgestorbener Grasschichten wurde bisher kaum untersucht. Die bekannten Arbeiten und einige Vergleichswerte der Niederschlagsrückhaltung in anderen Auflagen sind in Tab. 4.9 zusammengestellt. Daraus hervorzuheben ist die Untersuchung

von Fardjah und Lemee (1980), die bei einer Calamagrostisauflage von $370 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ eine Rückhaltekapazität von 1.5 mm ermittelten. Umgerechnet auf die Verhältnisse im Untersuchungsgebiet ergibt dies für eine Altgrasmasse von $900 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ eine Rückhaltekapazität von 3.65 mm.

Tab. 4.9: Niederschlagsrückhaltung in verschiedenen Auflagen

Table 4.9: Storage capacity of different litter layers

Niederschlagsrückhaltung in verschiedenen Auflagen			Rückhaltekapazität (mm·m ⁻²)
Autor	(Jahr)	Auflagezusammensetzung	
CLARK (1940)		Hordeum pusillum/ Bromus tectorum	1.7 - 2.3
		Weizenstrohmulch	4.8
FARDJAH et LEMEE (1980)		Calamagrostis epigeios trocken	1.5
HADRICH et HEUVELDOP (1978)		Lärchen-/Buchen- streu	14.9 %No
HOFFMANN (1982)		Fichtenrohhumus freilandexponiert	2.1
LOWDERMILK (1930)		Auflage unter Eichen/ "Chaparral-Vegetation"	15.0
		Kiefern-/Tannenbestand	6.6
MOLCHANOV (1960)		Fichtenstreu unter Be- stand mit Moosbewuchs	2.54 ¹ 3.34 ²
		Fichtenstreuauflage 5 - 7 cm	5.48 ¹ 16.71 ²
ROWE (1955) ³		Pinus ponderosa 20 - 25 Jahre	2.3
		140 - 160 Jahre	11.2
		Pinus radiata 5 - 10 Jahre	0.5
		25 - 30 Jahre	3.6

¹ nach 10 Minuten Bewässerung

² nach 20 Stunden Tränken

³ Abtropfzeit nach Sättigung: 60-72 Stunden

Wie die Ergebnisse gezeigt haben, sind wegen des besonderen Einflusses von Abfolge und Dauer der Ereignisse auf die jeweils gespeicherte Menge, eingehende Messungen in Verbindung mit klimato-

logischen Untersuchungen erforderlich, um den jährlichen Niederschlagsrückhalt in der Auflage befriedigend quantifizieren zu können.

4.3.4 Niederschlagsrückhaltung im lebenden Bestand

Bedingt durch erforderliche Mindestauffangflächen und -proportionen der Geräte ist vor allem im Frühstadium der Vegetationsentwicklung stets eine mehr oder weniger große Störung im Verteilungsmuster des Bestandesniederschlages zu erwarten. Die Auswirkungen der sich ändernden Bestandesstruktur auf die Meßergebnisse für den durchtropfenden Niederschlag zeigt Abb. 4.14.

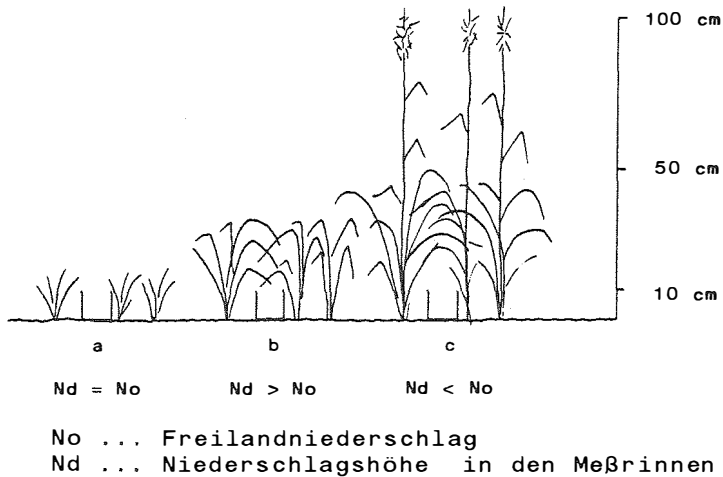


Abb. 4.14: Schematische Vertikalstruktur eines heranwachsenden Calamagrostisbestandes und Auswirkungen auf die Messung des durchtropfenden Niederschlages

Fig. 4.14: Model of the vertical structure of the annual Calamagrostis-grass stand and effects on the measurements of throughfall

Ist am Beginn des Wachstums die den Boden erreichende Niederschlagshöhe noch nahezu gleich jener im Freiland (a), so nehmen die zusätzlichen Einträge durch einhängende Blätter rasch zu und erreichen je nach deren Größe, Form, Oberflächenbeschaffenheit, Anzahl, Stiel-, Spreitenwinkel und anderem in einem bestimmten Wachstumsstadium ein Maximum (b). Mit der weiteren Entwicklung gewinnt die Schichtung über den Niederschlagssammlern zunehmend die

Struktur ungestörter mittlerer Grashorstbereiche (c), wird die gemessene durchtropfende Niederschlagshöhe ab einem bestimmten Zeitpunkt bestandesrepräsentativ, sofern Form und Proportionen der Sammelvorrichtung den natürlichen Zwischenflächen angepaßt sind.

Die Änderungen der Eintragssituation im Verlauf der Vegetationsperiode, die, wie Darstellung 4.13 gezeigt hat, in jedem der drei Untersuchungszeiträume zu beobachten war, läßt sich in Abbildung 4.15 deutlich verfolgen: Wiedergegeben sind die Freilandniederschlagsverhältnisse "No" der Vegetationsperiode 1985 (Bezugsbasis: Alumeßrinnen der Parzellen C und D) und jene Mengen "Nd" als Mittel eingetragen, die mit den vier Bodenrinnen (Bautyp B) im heranwachsenden Bestand ohne Einbeziehung von Altgrasbiomasse registriert wurden.

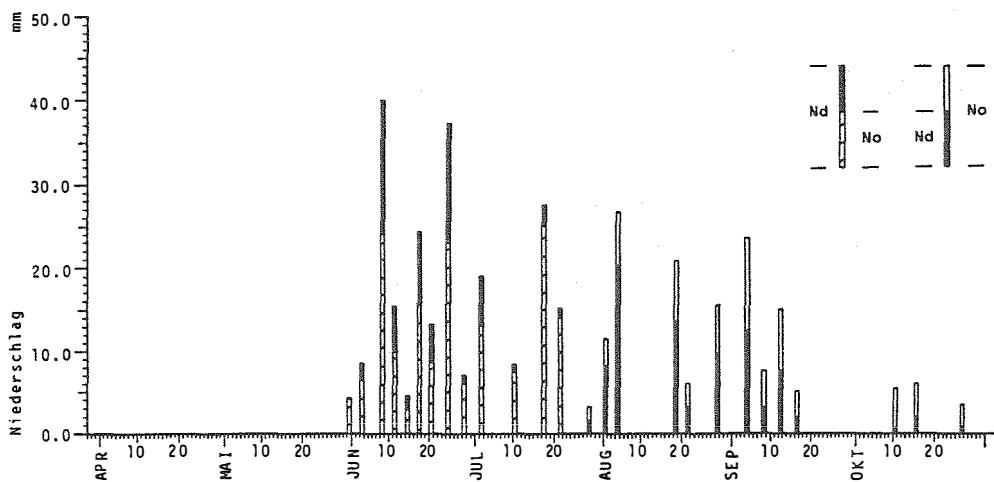


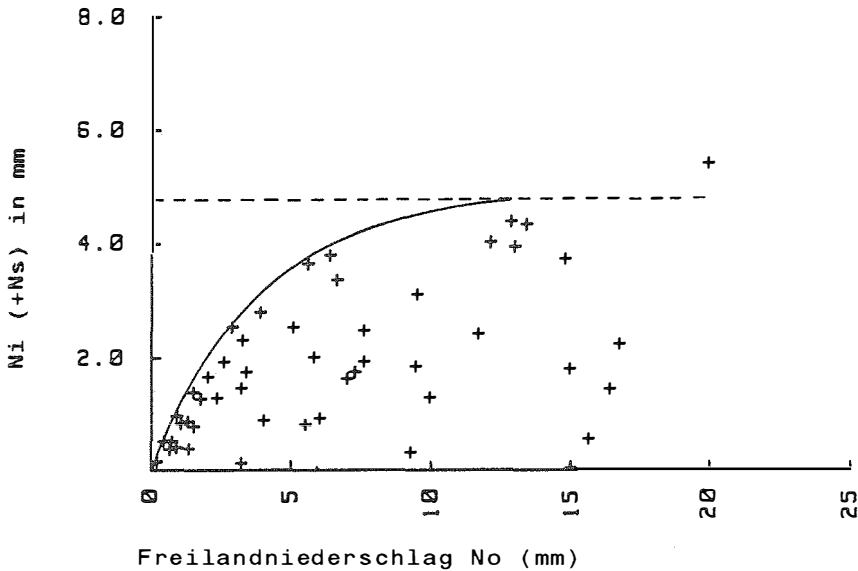
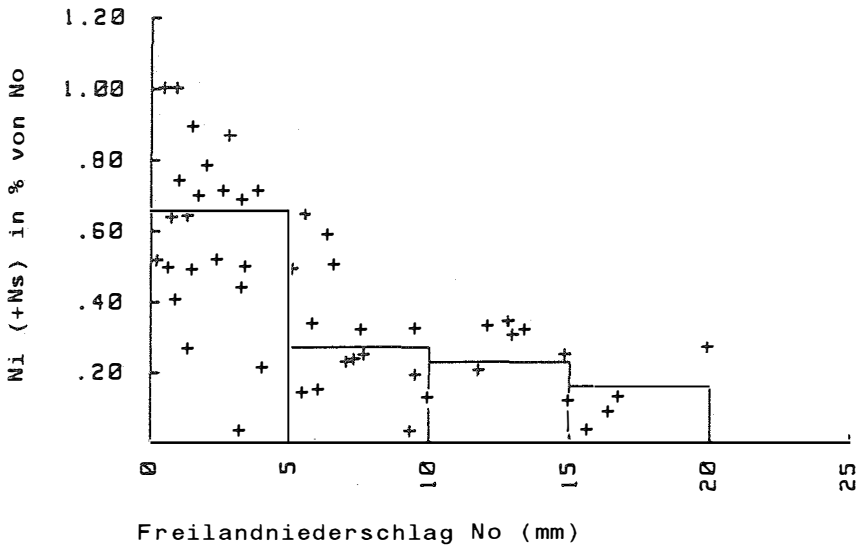
Abb.4.15: Freilandniederschlag (No) und durchtropfender Niederschlag (Nd) im heranwachsenden Calamagrostisbestand der Vegetationsperiode 1985 (ohne Altgrasschicht)

Fig.4.15: Precipitation in the open (No) and throughfall (Nd) in the growing up Calamagrostis-grass stand of the vegetation period 1985 (dead layer excluded)

Am Beginn der Meßtätigkeit waren keine merklichen Unterschiede zwischen Freiland- und Bodenniederschlagshöhe festzustellen. Mit der raschen Höhenentwicklung im Juni übertrafen vor allem in diesem Zeitraum die in der Vergrasung registrierten Mengen jene des

Freilandes um bis zu 60%. Im Folgemonat war das Verhältnis No/Nd annähernd ausgeglichen. Ab August – die Grasvegetation hatte ihre volle Entwicklung erreicht – wurden bis zum Ende der Vegetationsperiode unter dem Bestand nur 55% der No-Mengen mit einer durchschnittlichen Differenz zum Freilandniederschlag von 5.1 mm je Messung registriert. Dieser Prozentsatz entspricht nach Fardjah und Lemee (1980) dem Nd-Jahresmittel in einem Calamagrostisbestand, ist Beobachtungen auf der Versuchsfläche zufolge aber wahrscheinlich etwas zu nieder.

Die Zwischenflächen erhalten somit – wahrscheinlich im Unterschied zu mittleren Horstbereichen – während des stärksten Wachstums durch den Abtropfniederschlag aus den Rändern zusätzliche Einträge, bis mit zunehmender gegenseitiger Überschichtung diese Randzoneneffekte wieder verlorengehen. Für die folgende Abbildung 4.16 wurden daher nur die ab der Blüte gewonnenen Ergebnisse für den gesamten Calamagrostisbestand (Frisch- und Altgrasschicht) herangezogen. Ausgewertet wurden sämtliche Meßwerte bis 20 mm Freilandniederschlag (1984: 24 Beobachtungen ab 20. Juli, Mittel von 4 Rinnen, 1985: 13 B. ab 21. Juli, M. von 6 R., 1986: 15 B. ab 25.7., M. von 10 R.). Dargestellt ist die Differenz zwischen Freiland- und durchtropfendem Niederschlag ($No - Nd = Ni + Ns$) als Relativverhältnis (oberer Teil, Mittelwerte als Balkengraphik eingetragen) und in Absolutbeträgen (unterer Teil der Abbildung, Grenzverlauf manuell ermittelt). Mit den einzelnen Ergebnissen der Totalisatorenmessung kommen jeweils unterschiedliche Einflüsse zum Ausdruck, die insgesamt die komplexen Interzeptionsvorgänge (unter anderen von Horton, 1919; Leonard, 1967; Chü-San-LIN, 1968 und Weihe 1982 ausführlich beschrieben) wiedergeben. Wie dem oberen Teil der Abbildung zu entnehmen ist, erreichten in der vollentwickelten Vergrasung bei Freilandniederschlagshöhen über 5 mm 73% – 84% als durch- und abtropfender Niederschlag (Nd) die Bodenoberfläche. Der Anteil der Nd-Komponente an der gesamten Niederschlagshöhe ab der Blüte betrug im Mittel 72% von No (1984 wie 1985 76%, 1986 68%). Haynes (1940) hat in einem wüchsigen Blaugrasbestand unter der abgestorbenen Bestandesschicht (LAI_{ges.} = 12.9) mit sehr schmalen Rinnen einen Nd-Anteil von 43% No ermittelt. Unter dem Frischgrasbestand 1985 (ohne Altgrasschicht) wurden nur 55 % der Freilandniederschlagsmenge No registriert.



$$No - Nd = Ni + Ns$$

No ... Freilandniederschlag;
Nd ... durch- und abtropfender
Niederschlag

Ni ... Interzeptionsverdunstung
Ns ... Stengelabfluß

Abb. 4.16: Niederschlagsrückhaltung in einer vollentwickelten Calamagrostisvergrasung (oben: relativ, unten: absolut)

Fig. 4.16: Storage of precipitation in a fully developed Calamagrostis-grass stand - comparative (top) and absolute amount (below)

Dies und der Umstand, daß unter der Altgrasmasse zu Beginn der Wuchssaison kaum Unterschiede zum Freilandniederschlag festzustellen waren (vgl. Abb. 4.13), läßt schließen, daß nicht nur durch einhängende Blätter und andere Teile des Frischgrasbestandes bis Ende Juli sondern auch über die Altgrasschicht aus wahrscheinlich analogen Gründen zusätzliche Einträge stattgefunden haben. Mit der weiteren Überlagerung der Rinnen durch abgestorbene oder niedergebogene Frischgrasteile - eine Verringerung der Biomasse war nur von Herbst bis zur Installierung der Geräte im Frühjahr möglich - dürften auch die Einträge etwas abgenommen haben, womit der tendenzielle Rückgang der Nd- Mengen ab August (Abb. 4.13) zu erklären ist.

Auch im unteren Teil der Abb. 4.16 fallen die zahlreichen geringen Interzeptionswerte auf und weisen ebenfalls darauf hin, daß mit den Bestandesrinnen zumindest in einigen Fällen (siehe die Werte bei No 3.5, 6, 9 und 15 mm) nicht repräsentative, überhöhte Einträge registriert wurden - durch Abrinnen am Altgrasüberhang, überlagert von größeren Abtropfmengen infolge Windeinflusses (vgl. Grah und Wilson, 1944; Beard, 1955, 1956; Heuveldop, 1973; Mitscherlich, 1981) und ähnlichen Phänomenen. Demgegenüber ist nicht anzunehmen, daß für größere Freilandniederschlagsmengen auf Grund der Sammelerfassung mehrerer, ausschließlich geringer Ereignisse überhöhte Interzeptionsmengen errechnet wurden. Taubildung und Kondensation in den Sammelgefäßen war zwar vereinzelt zu beobachten, quantitativ aber unbedeutend.

Die Kurve deutet eine in der Vergrasung maximal interzipierte Niederschlagshöhe (ohne Berücksichtigung des Abflusses an den Stielen) von 4.7 mm ab Freilandniederschlägen von 13 mm an. Nimmt man die mittlere Altgrasbiomasse zwischen Blüte und Ende der Wuchssaison mit $575 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ an, so ergibt sich nach den Ergebnissen der Laboruntersuchung eine mögliche Niederschlagsrückhaltung im Altgrasbestand zwischen 1.15 mm (Benetzungs-) und 2.30 mm (Aufnahmekapazität) - je nach Art, Dauer und zeitlicher Abfolge der Niederschläge Ereignisintensität, Windeinfluß, Vorsättigungsgrad u.a.. Von kurzen unergiebigem Ereignissen abgesehen, wird die Aufnahmekapazität vor allem durch den länger anhaltenden Abtropfniederschlag, teilweise auch durch den an Berührungsstellen abgelenkten Stengelabfluß wahrscheinlich weitgehend aufgefüllt. Für den vollentwickelten Frischgrasbestand ($550 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$) ergibt sich

demnach rechnerisch eine Rückhaltemenge bis 2.4mm gegenüber 5.1mm nach den Feldmessungen 1985 (ohne Altgrassschicht), wovon noch ein unbestimmter Teil als Stengelabfluß den Boden erreicht.

Die Stielabflußkomponente (N_s) wird in der Literatur sehr unterschiedlich beurteilt: Clark (1937, 1940) konnte keine nennenswerten Mengen feststellen, ebenso wie Haynes (1940) bei sehr geringen Freilandniederschlägen. Beard (1955, 1956) schließt aus seinen Untersuchungen wie auch v.Eimern (1964) auf einen möglicherweise bedeutenden Einfluß des N_s -Anteils. Diesen errechneten Fardjah und Lemee (1980) für *Calamagrostis epigeios* mit 37%, nach v.Hoyningen-Huene (1981) liegt er etwa zwischen 14% (Roggen) und 30% (Hafer), nach Haynes (1940) bei 23% (Mais) des jährlichen Freilandniederschlags. Wie die Arbeiten zeigen, bestehen offenbar beträchtliche Unterschiede im Stielabfluß zwischen verschiedenen Grasarten. Dieses, bei Bäumen genauer untersuchte Phänomen ist verständlich, hängt doch der Abfluß an den Stengeln neben den Niederschlagsverhältnissen und -eigenschaften auch mit Habitus, Oberflächenbeschaffenheit und -eigenschaften der einzelnen Pflanzen zusammen.

Auch die interzipierte Niederschlagshöhe wird in verschiedenen Untersuchungen (siehe Anhang) sehr unterschiedlich bewertet. Ergebnisse einiger Arbeiten sind in Tab. 4.10 zusammengestellt. Der für *Calamagrostis* von Fardjah und Lemee mit Tauchversuchen (keine Tropfensimulation) im Labor ermittelte Wert erscheint im Vergleich als zu gering, die aus den Feldmessungen dieser Untersuchung abgeleiteten 5.1 mm überhöht. Der für den Frischgrasbestand errechnete mögliche Niederschlagsrückhalt von 2.4 mm ($N_s=0$) als maximale Interzeptionsmenge unterstellt, liegt demnach zwischen jenen von Getreide- und Grasbeständen.

Nach der von v. Hoyningen - Huene (1981) erstellten, auf verschiedene Kulturbestände anwendbaren Formel errechnet sich die maximale Interzeption

(1) Vergrößerung des LAI um die Fläche der Blütenstände

(2) $N_i \text{ max} = (0.935 + 0.498 \text{ LAI} - 0.00575 \text{ LAI}^2) \times \text{Reduktionsfaktor}$
1.0 - 0.65 je nach Hängen der Blätter

für den Frischgrasbestand der Versuchsfläche mit einem großen Anteil an hängenden Blättern mit $N_i \text{ max} = 2.0 \text{ mm}$ (Reduktionsfaktor 0.65 / = 2.4 mm bei Faktor 0.77).

Tab.4.10: Blattfläche und Interzeptionskapazität einiger Getreide- und Grasbestände

Table 4.10: Leaf area and storage capacity of cereals and grassland communities

Vegetation	Quelle	LAI	Ni max (mm)	Ni max · m ⁻² LAI (mm)
Andropogon f.	Clark (1940)	6.3	2.3	0.37
Calamagrostis ¹	Fardjah und Lemee (1980)	3.4	0.4	0.12
Winterweizen	Butler und King (1981)	2.3	2.2	0.96
Weizen	v. Hoyningen-Huene	2.5	2.1	0.84
Mais	(1981)	3.6	3.0	0.83
Calamagrostis ² (Frischgrasbestand der Versuchsfläche)		4.4	2.4 (5.1)	0.55 (1.16)

¹ Umrechnung Trockenmasse - proj. Fläche nach Abb. 4.6
(Reduktion LAI = 89% der proj. Fläche)

² Stengelabfluß nicht berücksichtigt

Den Ergebnissen zufolge dürfte die maximale Rückhaltekapazität des lebenden Calamagrostisbestandes, da ein Teil der ermittelten Menge als Stielabfluß dem Bodenniederschlag zuzurechnen ist, etwas geringer als die von Getreidekulturen sein.

4.3.5 Niederschlagsrückhaltung in der Vegetationsperiode

Bedingt durch die Unsicherheit der Untersuchungsergebnisse ist eine genaue Abschätzung der Niederschlagsrückhaltung nicht möglich. Potentieller Einfluß und Bedeutung der Interzeption für den Wasserhaushalt der Versuchsfläche wurden daher unter folgenden Annahmen, die als oberer Grenzbereich anzusehen sind, abgeleitet:

a) Von jener Niederschlagsmenge, die direkt oder über Zwischenspeicherung im Frischgrasbestand die horizontale Altgrasschicht erreicht, werden je nach Ereignis und Vorsättigungsgrad im Mittel 3 g Wasser · g⁻¹ Trockenmasse festgehalten.

b) Für den vollentwickelten Frischgrasbestand wird ab 13 mm Freilandniederschlag eine mögliche Rückhaltekapazität von 2.4 mm angenommen (50% = 1.2 mm für den Zeitraum Mai bis Ende Juli), gerin-

gere Mengen werden analog dem Kurvenverlauf in Abb.4.16 bewertet. Unter diesen Voraussetzungen ergeben sich abhängig von der Niederschlagssituation für die Vegetationsperioden 1984, 1985 und 1986 folgende prozentuelle Interzeptionsraten:

Frischgrasbestand $N_i = 11\% - 12\% N_o$

Altgrasbiomasse $N_i = 16\% - 20\% N_o$

Man kann annehmen, daß in sehr dichten Calamagrostisvergrasungen, (vgl. Habenberger, 1987) in denen der Niederschlag überwiegend indirekt, abtropfend und abfließend, den Boden erreicht, ein Viertel bis ein Drittel des saisonalen Freilandniederschlages zurückgehalten wird. Die interzeptierte Menge ist bei ausgeglichenen Niederschlagsverhältnissen der Biomassenentwicklung entsprechend bis Anfang Mai am geringsten, nimmt mit dem Wachstum des Frischgrasbestandes bis zu einem Maximum Ende Juli relativ rasch zu, mit fortschreitendem Abbau der Altgrasschicht bis Jahresende wieder etwas ab. Fardjah und Lemee (1980) geben den jährlichen Interzeptionsverlust in einem Calamagrostisbestand mit einer oberirdischen Biomasse von $300 \text{ g} \cdot \text{m}^{-2}$ (otro) mit 8% der Freilandniederschlagshöhe an (ohne Einbeziehung der zur Auflage gezählten Altgrasschicht). v. Hoyningen-Huene (1981) beziffert den Jahresrückhalt der durch die unterschiedlich lange Vegetationsdauer wesentlich beeinflusst wird, bei Sommergerste mit 4.7% (bzw. 8.3% für den Zeitraum April bis Oktober), bei Winterweizen mit 13.1% (bzw. 17.1%). Nach Hoffmann (1982) gehen unter Freilandbedingungen 36% der Niederschläge von Mai bis Oktober durch die Interzeption einer 6 cm mächtigen Fichtenrothumusauflage verloren. Die Streuinterzeptionsverdunstung in einem Lärchen-/ Buchenbestand mit Mull- bis Moderauflage von 2 cm betrug im mehrjährigen Mittel 14.9% des Freilandniederschlages (Hädrich und Heuveldop, 1978).

4.3.6 Zusammenfassende Bewertung

Die Untersuchungen zur Interzeption haben gezeigt:

* Rinnenmeßmethodik: Genauere Zusammenhänge vor allem zwischen der strukturellen Entwicklung eines Grasbestandes und dem für die Anwendung einer bestimmt proportionierten Meßvorrichtung geeigneten Zeitbereich sind unbekannt. Wie aus den Daten hervorging sind die daraus resultierenden Einflüsse vor allem auf die Nieder-

schlagssammlung mitunter beträchtlich. Dieser Umstand ist beim Vergleich von Untersuchungsergebnissen, die in Grasgesellschaften im Gegensatz zur Niederschlagsmessung unter Waldbeständen mit sehr verschiedenen Geräten gewonnen werden, besonders zu berücksichtigen. Die summative Erfassung von Ereignissen bei kurzen Meßintervallen ist demgegenüber für Ergebnisse über längere Zeiträume von untergeordneter Bedeutung. Die bisherige Meßmethodik sollte daher überdacht, die Entwicklung direkter Verfahren zur Ermittlung ereignisspezifischer Rückhaltemengen, etwa über elektronisch im Vertikalprofil zu erfassende Dichteänderungen, angestrebt werden.

* Saisonale Einflüsse: Jährliche Veränderungen der Grasgesellschaft, wie unterschiedlicher Biomassenaufbau, Folgen von Schnee- und Reiflasten auf Altgrasdecken, oder wegen umfeldbeeinflusster Windströmungen bedingen im Unterschied zu einschichtigen Getreidekulturen strukturelle Umlagerungen, die für saisonale Meßergebnisse von Bedeutung sein können und deren Verallgemeinerung erschweren.

* Tote Bestandesschicht: Teile des Niederschlages werden vom abgestorbenen Material unterschiedlichen Zersetzungsgrades aufgenommen und zwischengespeichert. Je nach Art, Dauer und zeitlicher Abfolge der Niederschläge, Ereignisintensität, Windeinfluß, Vorrächtigungsgrad und anderen Faktoren ergibt sich meist eine Rückhaltemenge, die über den Benetzungswert hinausgeht. Für die Altgrasschicht auf der Versuchsfläche wurde eine Benetzungskapazität von 2 g Wasser je g Trockensubstanz und eine Aufnahme- (Sättigungs-)kapazität von 4 g Wasser je g TS. ermittelt.

* Interzeptionskapazität im lebenden Bestand: Die Interzeptionskapazität pro m² Blattfläche ist sehr wahrscheinlich geringer als in Getreidekulturen.

* Saisonale Niederschlagsrückhaltung in der Vergrasung: Der Anteil der Interzeption an der Freilandniederschlagshöhe im Vegetationszeitraum kann bei dichten Calamagrostisvergrasungen mit bis zu 30% angenommen werden. Davon entfallen ca. 2/5 auf die lebende, 3/5 auf die abgestorbene Bestandesschicht. Die mögliche

Niederschlagsrückhaltung ändert sich mit dem periodischen Entwicklungszyklus der Grasgesellschaft im Gegensatz zu landwirtschaftlichen Beständen relativ wenig. Für den Beginn der Wachstumsaison werden 3.6 mm und mit Erreichen der vollen Bestandesentwicklung ein bis zum Herbst leicht rückläufiger Grenzwert von 4.7 mm als wahrscheinliche, potentielle Interzeptionskapazität der Vergrasung angenommen.

4.4 Bodenwasserhaushalt

4.4.1 Laboruntersuchungen

Tab. 4.11 gibt einen Überblick über Bulkdichten, Feststoffdichten sowie Feststoff- und Porenvolumina im Bodenprofil. Die Zahlen sind Durchschnittswerte - für die Abschnitte 2-5 cm und 12-15 cm je aus zehn, für die übrigen Segmente jeweils aus fünf Stechzylinderproben - und wurden auch für Abbildung 4.17 verwendet.

Tab. 4.11: Bulkdichte, Feststoffdichte, Feststoff- und Porenvolumina in den Mineralbodenhorizonten

Table 4.11: Bulk density, solid phase density, volume for the solid phase and pores in the mineral soil horizons

Mineralbodenabschnitt in cm	Bulkdichte g·cm ⁻³	Feststoffdichte g·cm ⁻³	Feststoffvolumen %	Porenvolumen (Streuung in % des Mittels)	
				%	s $\bar{x}$ in %
2- 5	1.183	2.58	45.8	54.2	(8.8)
12-15	1.383	2.66	52.0	48.0	(6.6)
27-30	1.517	2.70	56.2	43.8	(2.9)
42-45	1.581	2.70	58.6	41.4	(3.1)
57-60	1.642	2.74	59.9	40.1	(4.4)
87-90	1.679	2.70	62.2	36.8	(6.7)

Geringe Grobskelettgehalte in den Bodenschichten (Massenanteile zwischen 15% und 7%) und kleine Porenvolumina bereits in den oberen Horizonten kennzeichnen die bodenphysikalischen Gegebenheiten.

ten. Der Porenraum nimmt mit dem Ansteigen der Bulkdicke - bei annähernd gleichbleibender Feststoffdicke - bis zum Bereich des Staukörpers um weitere 15 Vol.% ab. Die Porengrößenverteilung im Boden ist in Abb. 4.17 dargestellt. Zur Charakterisierung wurden Wasserpotentialbereiche verwendet: für Grobporen von 0 bis -10 kPa, für Mittelporen I -10 bis -100 kPa, für Mittelporen II -100 bis -1.500 kPa und für Feinporen der Bereich unter -1.500 kPa (100 kPa = 1 bar).

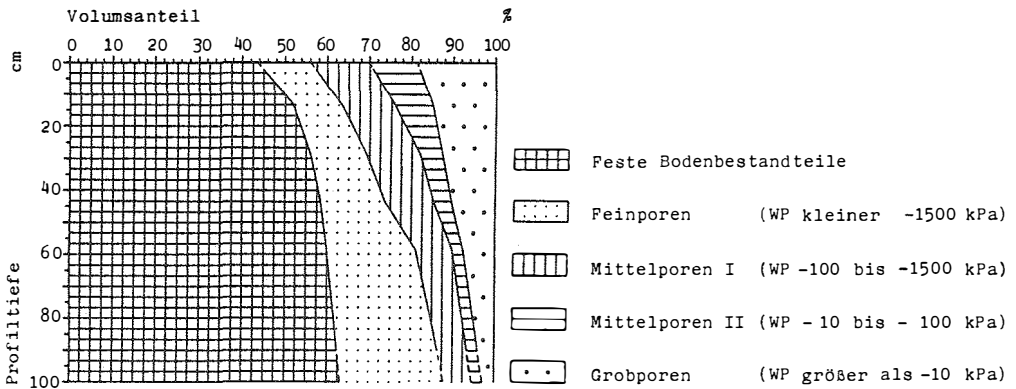


Abb. 4.17: Feststoff- und Porenvolumina im Bodenprofil
Fig. 4.17: Volume distribution in the soil profile for solid phase and four pore size classes

Die Kurven zeigen deutlich die stetige Verminderung vor allem des an sich niedrigen Grobporenanteils. Wasserleitung und Tiefensinkung werden dadurch erschwert und verzögert, sodaß es nach der Schneeschmelze und längerer Niederschlagstätigkeit zu Wasserstau kommt. Stärker steigt auf Kosten der Mittelporen mit zunehmender Tiefe der Feinporenanteil, sinkt der potentielle Wasseranteil im nicht-dränenden Bereich zwischen -10 und -1.500 kPa von 25 auf rund 10 Vol% des Bodenprofils. Mit Änderungen im Wassergehalt korrespondieren die Bodenluftverhältnisse. Geringer Porenraum verbunden mit hohen Wasseranteilen bedingen schlechtere Durchlüftung. Auswirkungen auf die Sauerstoffversorgung der Pflanzenwurzeln treten nach Blume und Zimmermann (1975) bei einer längerfristigen Unterschreitung von 12 Vol. % (Oberboden) bzw. 6 Vol. %

(Unterboden) ein. Dies ist im Boden der Versuchsfläche allerdings nur kurzzeitig nach der Schneeschmelze und damit nicht während der Vegetationsperiode zu erwarten.

In Abhängigkeit von Porenvolumen und Porengrößenverteilung, in denen sich Textur und Struktur des Bodens ausdrücken, steht die Beziehung zwischen der Wasserspeicherung (Matrixpotential) und dem Wassergehalt. Die Wassergehalts-Wasserpotentialkennlinien in Abb. 4.18 geben den Verlauf dieses Zusammenhanges in verschiedenen Bodenhorizonten wieder. Das Wasserpotential in kPa ist in Logarithmusform (ln) aufgetragen, die bis zur ersten Druckstufe keine exakte Darstellung zuläßt (ausgedrückt durch die bis dahin strichlierte Abszisse). Eingezeichnet sind der Permanente Welkpunkt - für die Mehrzahl der Kulturpflanzen 1.55 MPa - und die auch in Abb.4.17 verwendete Abgrenzung für den Grobporenbereich, die etwa der Feldkapazität entspricht.

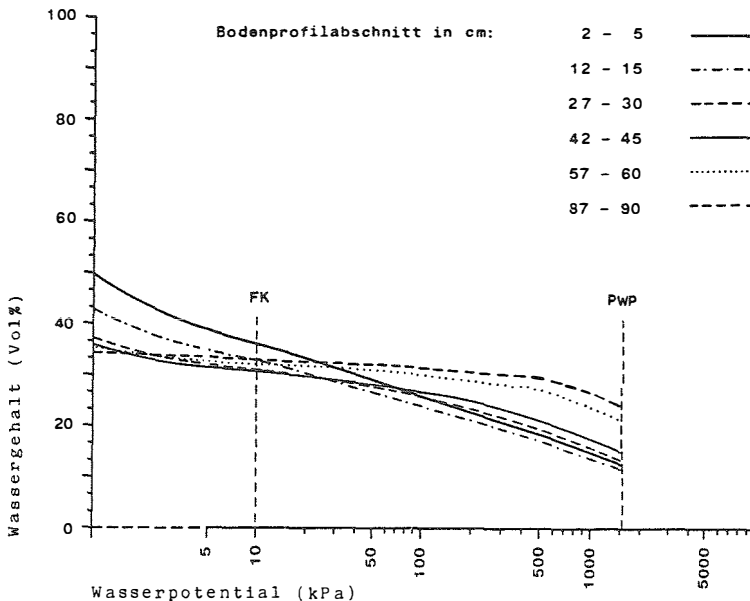


Abb. 4.18: Wassergehalts- und Wasserpotentialkennlinien für verschiedene Bodentiefen im Pseudogley der Versuchsfläche
Fig. 4.18: Relation between water-content and water-potential in different depths in the pseudogley soil of the sample plot

Die obersten Mineralbodenhorizonte weisen bei Sättigung die höchsten Wassergehalte auf, die mit sinkendem Potential auch am meisten - zunächst stärker, dann zunehmend weniger - abnehmen. Die beiden Kurven, die den Bereich des P-Horizontes repräsentieren, beginnen bei merklich geringeren Wassergehalten, die nur knapp über jenen größerer Tiefe liegen. Sie sind im Verlauf flacher und gleichen ab etwa 100kPa jenen der oberen Horizonte - zeigen somit eine gleichmäßigere Abnahme, die im Staukörper noch ausgeprägter ist. Dort sinkt die Wassermenge auch nur wenig: von 0 bis 500 kPa um ca.6%, von 1 bis 1.55 MPa um ca. 3%. Mit zunehmender Entwässerung nimmt der Wassergehalt daher nur in den obersten Horizonten zunächst rasch und merklich ab. Bereits in 30 cm Tiefe verlangsamt sich der Rückgang deutlich, sinkt der Wassergehalt bis 1.55 MPa nur mehr halb so stark. Den Kennlinien zufolge sind in den beiden obersten Bodenhorizonten nahezu zwei Drittel der gesamten Wassermenge im pflanzenphysiologischen Saugspannungsbereich bis -1.55 MPa gebunden - davon etwa ein Viertel bis ein Drittel zwischen -10 und -100 kPa. Unter Freilandbedingungen wird der Boden wegen gefangener Luft allerdings nur unvollständig aufgesättigt (Hysterese). Wie Flühler et al. (1976) gezeigt haben, weisen im Labor ermittelte Desorptionskurven im Bereich von 0 bis ca -5 kPa eine wesentlich stärkere Sättigung auf, die tatsächlichen Wassergehalte bei hohen Potentialen sind daher entsprechend geringer. Auch kann ein großer Teil des Bodenwassers wegen der schlechten Wasserleitung in relativ engen Poren (Mittelporenbereich II) bei extensiver Durchwurzelung nur schlecht genutzt werden bzw. ist nicht pflanzenverfügbar (Wasserpotential unter -1.500 kPa). Mit zunehmender Tiefe nimmt bei mangelnder Aktivität der Makro- und Mesofauna der Einfluß der Sekundärporen gegenüber dem Primärporensystem rasch ab, werden die Verhältnisse für die Pflanzen merklich ungünstiger. Die aufnehmbaren Wassermengen sind einerseits bedingt durch die kleineren Porenvolumina geringer, andererseits aber um so stärker in den Kapillaren gebunden. Ab etwa der Zone des Staukörpers ändert sich der Wassergehalt im untersuchten Saugspannungsbereich nur mehr sehr wenig. Dies zeigt, daß Tiefensickerung wie auch die Wasserbewegung in entgegengesetzte Richtung während einer Trockenperiode im Vergleich zu pflanzenphysiologischen Möglichkeiten nur eine überaus geringe Rolle spielen. Für die Entwässerung über Evapotranspiration und Nutzung

des verfügbaren Bodenwassers sind aber die Durchwurzelungsverhältnisse ebenso wie Toleranz gegenüber den Extremen von Trocken- und Naßphasen, Wachstum und Regenerationsfähigkeit von Bedeutung.

4.4.2 Freilanduntersuchungen

Der Beginn der Messungen mit den Tensiometern war vom vollständigen Auftauen des Bodens abhängig, erfolgte daher nicht in jedem Jahr zum gleichen Zeitpunkt. Mit den ersten Frühfrösten, die ab etwa Mitte Oktober einsetzten, mußten die Geräte abgebaut werden. Luftpolsterhauben als Schutz erwiesen sich als völlig unzureichend und verlängerten den Meßzeitraum bestenfalls um einige Tage. Die Frostschäden an den Manometern traten in der herbizidbehandelten Parzelle E stets zuerst auf, waren dort auch am zahlreichsten und stärksten - in Abstand gefolgt von der gegrastten Fläche "D". Die dichte Altgrasdecke auf den anderen Teilflächen war in ihrer isolierenden Wirkung größer und bewirkte eine Anhebung der Frostebene, da infolge Wärmeentzugs durch einen Grasbestand die bodennahen Luftschichten stärker als über vegetationslosem Boden abgekühlt werden (Sauberer, 1937). Ablesungen der Manometer wurden in der Vegetationsperioden 1984 an 49, 1985 an 45 und 1986 an 48 Tagen vorgenommen.

4.4.2.1 Vegetationsperiode 1984

In Abb. 4.19 ist der relative Zeitanteil von Bodenwasserpotentialen während der Vegetationsperiode 1984 für verschiedene Horizonte dargestellt. Auf der dem Altholz nächsten Parzelle A wurde ein merklich höheres Potentialniveau registriert, deutlich niedere Werte bereits bei der angrenzenden Parzelle B beobachtet. Mit steigender Entfernung nimmt auf den grasbewachsenen Flächen der Anteil höherer Potentiale in 15 cm und 30 cm Tiefe noch etwas ab. In 60 cm Tiefe ist dieses Grundmuster bedingt durch den größeren Einfluß der Staukörperlage weniger ausgeprägt. Davon abweichend wies die herbizidbehandelte Parzelle E in jeder Bodenschicht die höchsten Wasserpotentiale auf - an 58 Tagen (38%) der Wuchssaison war auch der oberste Profilabschnitt vom Stau betroffen.

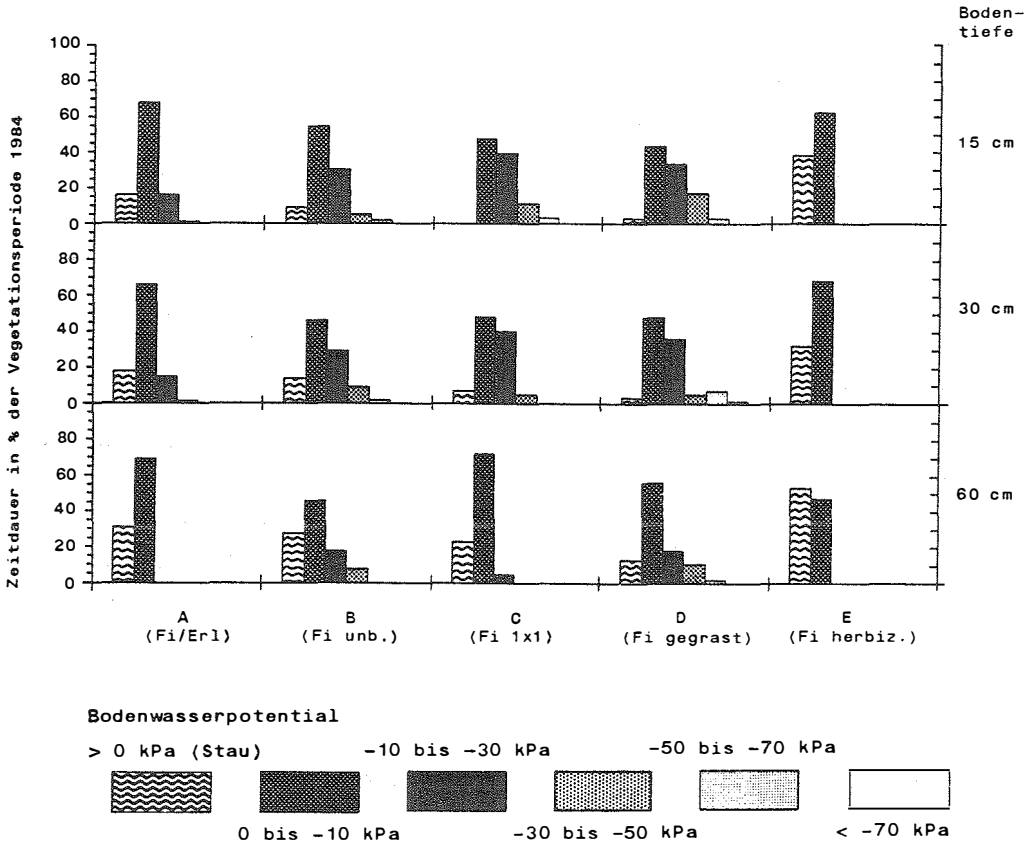


Abb.4.19: Dauer verschiedener Bodenwasserpotentiale in 15, 30 und 60 cm Bodentiefe in % der Vegetationszeit 1984

Fig.4.19: Periods of different soil water potentials in 15,30 and 60 cm depth as percentage of the vegetation period 1984

In den Abb. 4.20 und 4.21 läßt sich der Verlauf der Bodenwasserpotentiale während der Wuchssaison 1984 verfolgen. Über den Iso-
plethen für den Bereich zwischen 15 und 90 cm sind die mit dem
Standardregenschirm registrierten Freilandniederschlagshöhen an-
geführt. Bedingt durch die noch lückige und unvollständige Ver-
grasung war die Streuung der Potentialwerte einzelner Meßgruppen
im Vergleich zu den Perioden 1985 und 1986 deutlich größer. Nach
dem Rückgang der Winterfeuchte reagierte der Boden sehr rasch und
auch tiefgehend auf Witterungsumstände. Gegenüber allen anderen
grasbewachsenen Parzellen waren auf Fläche A während der ganzen
Vegetationsperiode die höchsten Potentiale zu verzeichnen, Stau-
wasser noch bis Ende Juni in tieferen Horizonten zu finden. Im

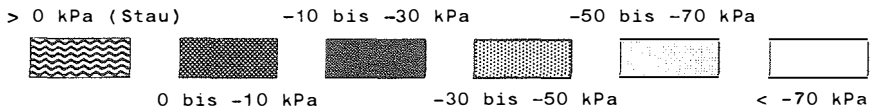
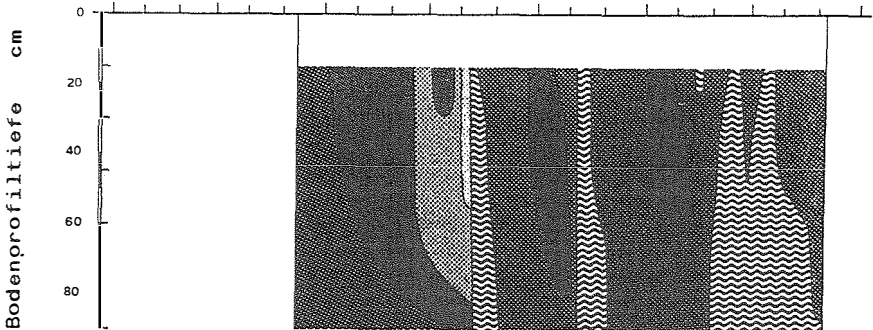
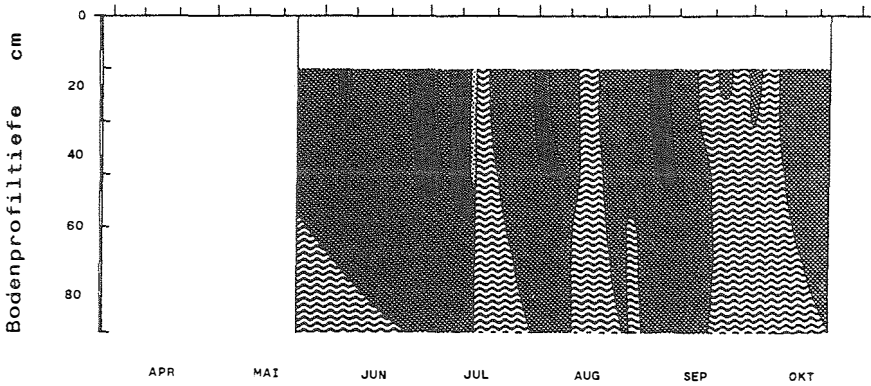
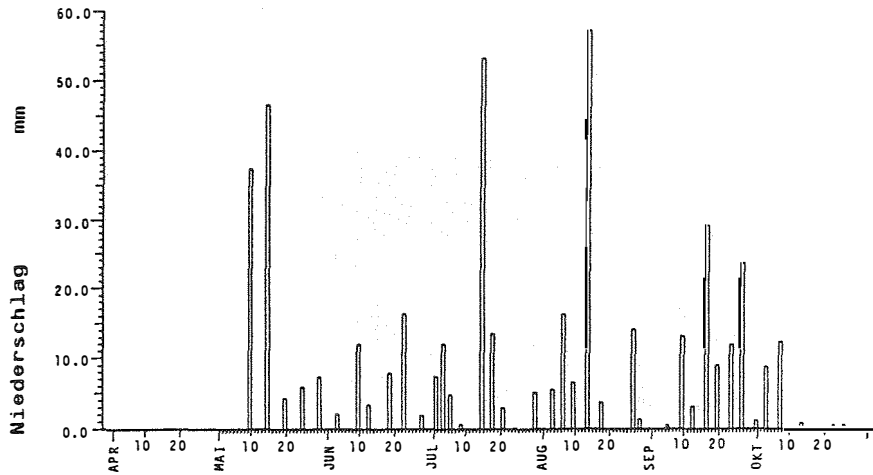


Abb.4.20: Freilandniederschläge und Gang der Bodenwasserpotentiale auf den Parzellen A und B während der Wuchssaison 1984
Fig.4.20: Precipitation in the open and isopleths of soil water potential in plot A and B during the vegetation period 1984

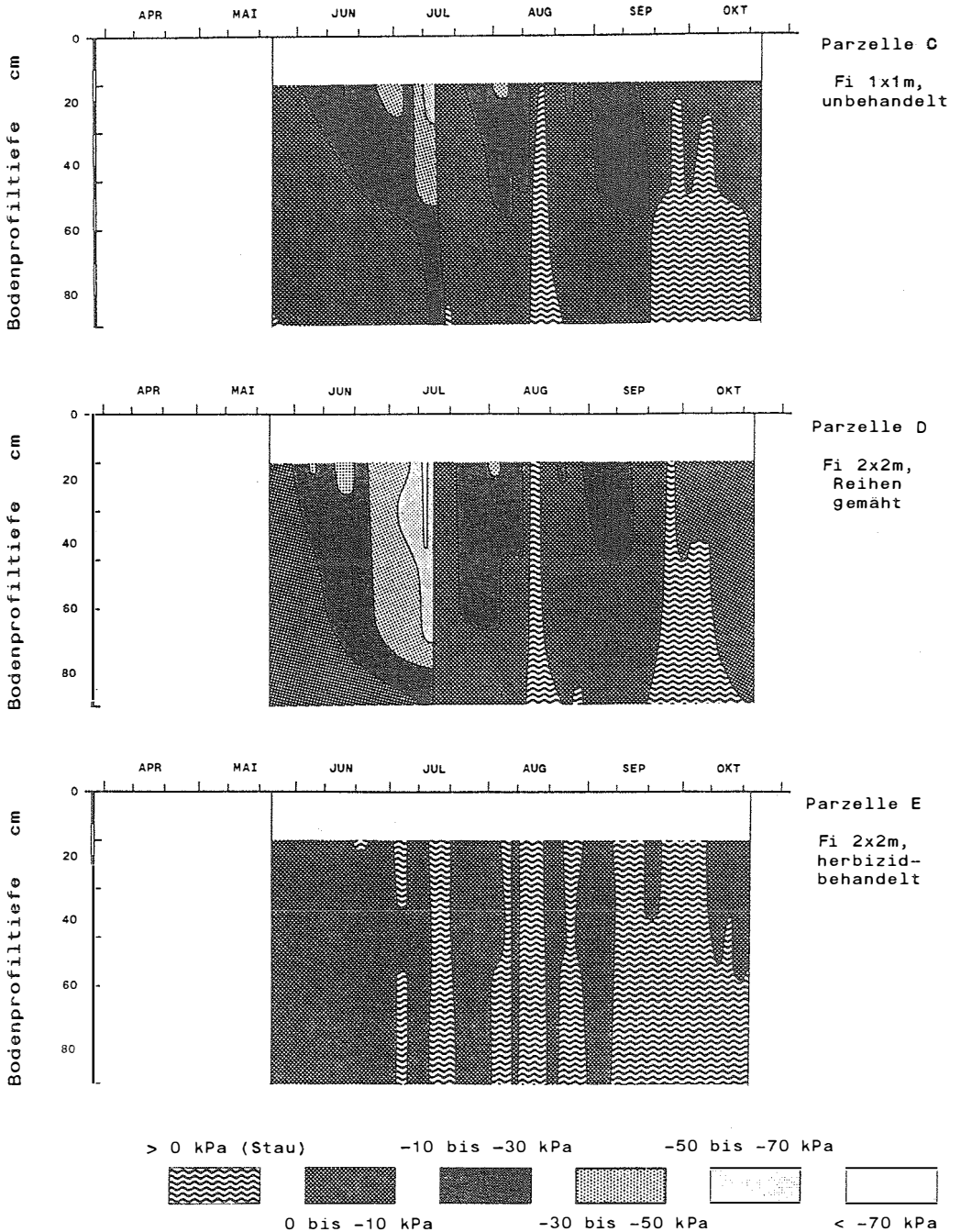


Abb. 4.21: Gang der Bodenwasserpotentiale auf den Parzellen C, D und E während der Wuchssaison 1984

Fig. 4.21: Isopleths of soil water potential in plot C, D and E during the vegetation period 1984

Frühjahr merklich trockener war bereits die angrenzende Parzelle B. Die Niederschläge Mitte Juli führten aber auf beiden Flächen (A und B) zu einer Vernässung bis an die Oberfläche. Hingegen reichte die Regenmenge nicht mehr für eine Staubbildung bei den Parzellen C und D. Auf der zu diesem Zeitpunkt noch nicht gegrasteten Fläche D war bereits vorher das verfügbare Bodenwasser bis 40 cm Tiefe ausgeschöpft. Das niedrige Potentialniveau auf Parzelle D läßt trotz der reichlichen Sommerniederschläge auch in weiterer Folge zumindest in höheren Bodenschichten etwas geringere Bodenwasserpotentiale als bei den anderen Flächen erwarten. Tatsächlich entsprach der Bodenwasserhaushalt ab Mitte Juli – die mechanische Freistellung erfolgte am 22.7. – jenem von Parzelle C die Potentialwerte waren teilweise sogar ein wenig höher. Eindeutig stellt sich die Situation auf der unkrautfreien Fläche dar: Selbst weniger ergiebige Ereignisse reichten aus, den Boden bis an die Oberfläche zu vernässen.

4.4.2.2 Vegetationsperiode 1985

Die Zeitdauer von Wasserpotentialen in den Bodenhorizonten 15, 30 und 60cm während der Wuchssaison 1985 ist in Abb. 4.22 angegeben. Bedingt durch die unterschiedliche Niederschlagssituation, in geringerem Maß durch die Weiterentwicklung der Vegetation, blieb die Staunässe auf tiefe Horizonte beschränkt und erreichte auf allen Parzellen nur an wenigen Tagen die Oberfläche. Perioden mit Potentialen unter -50 kPa traten nicht auf. Wie das Niederschlagsangebot war auch die Bodenwasserverfügbarkeit im gesamten Vegetationszeitraum für die Pflanzen überaus günstig: An mehr als 97 Tagen (60% der Vegetationsperiode) wurden im Wurzelbereich Potentialwerte zwischen 0 und -10 kPa verzeichnet. Die 1984 festgestellten Unterschiede zwischen den Parzellen – höheres Potentialniveau auf der altholznächsten Fläche A, Abnahme auf den Parzellen B und C, Minimum bei Fläche D, Maximum auf der herbizidbehandelten Parzelle E – waren 1985 in jedem der Profilabschnitte zu beobachten.

Die Isoplethen der Bodenwasserpotentiale in den Parzellen sowie die Verteilung und Höhe der Niederschläge in der Vegetationsperiode 1985 sind in den Abb. 4.23 und 4.24 dargestellt.

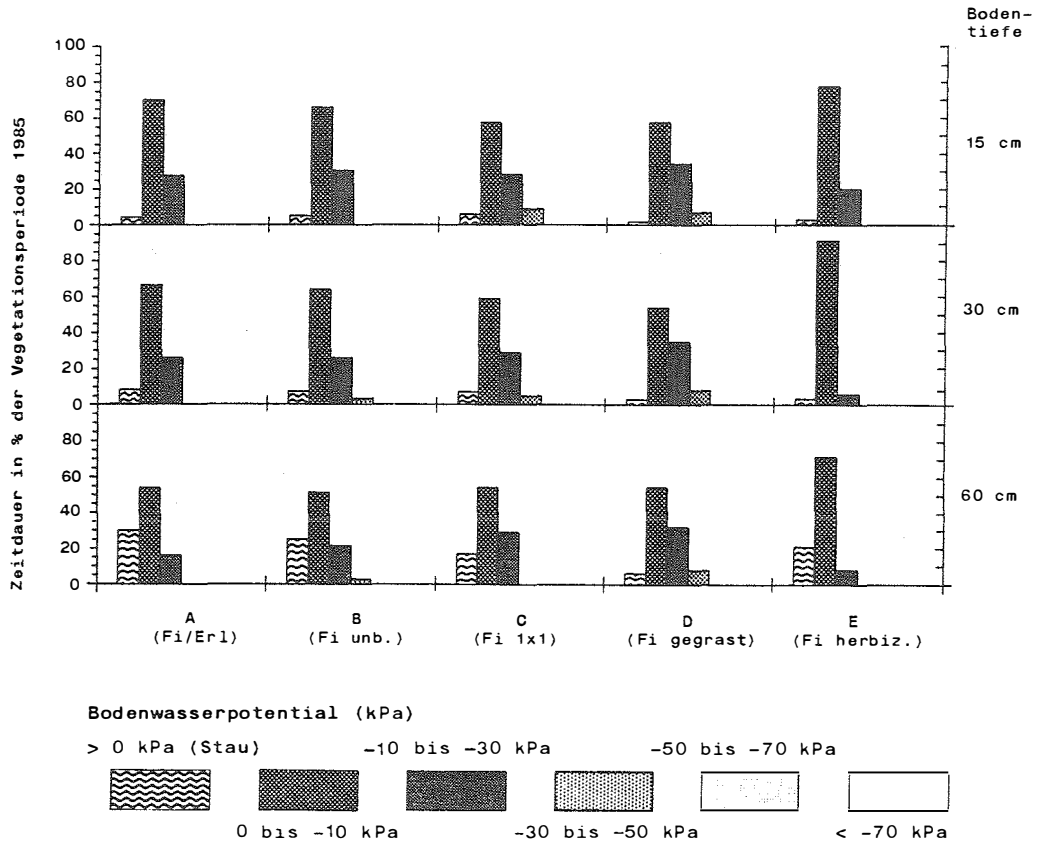
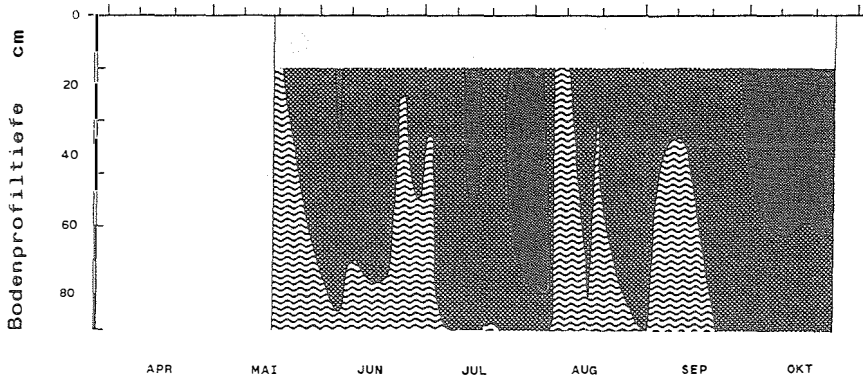
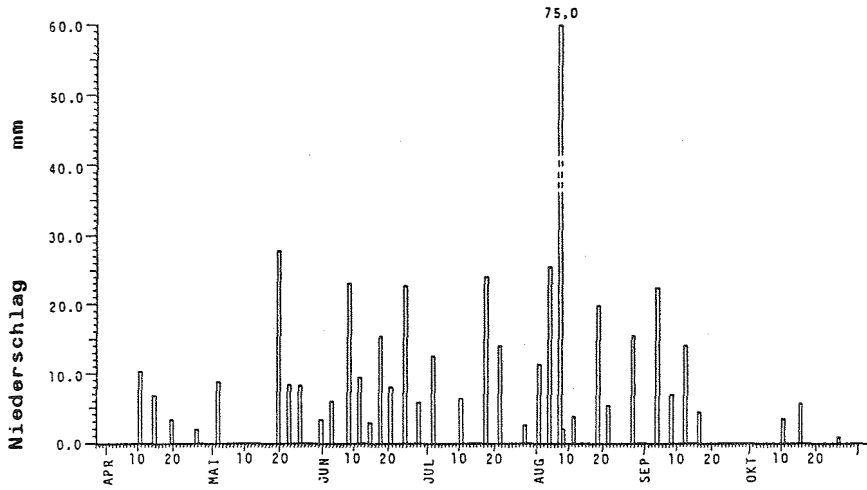
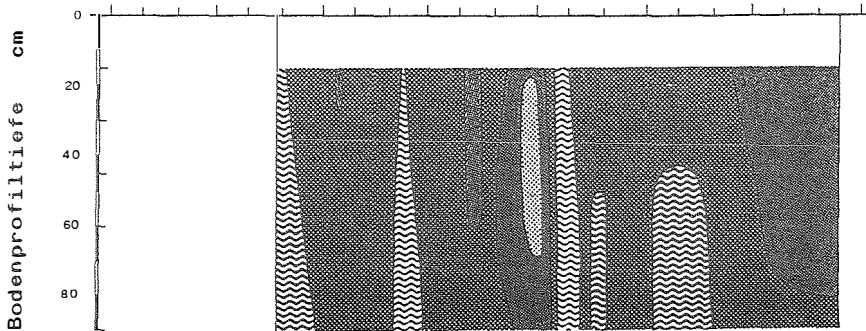


Abb.4.22: Dauer verschiedener Bodenwasserpotentiale in 15, 30 und 60 cm Bodentiefe in % der Vegetationszeit 1985
 Fig.4.22: Periods of different soil water potentials in 15,30 and 60 cm depth as percentage of the vegetation period 1985

Die Saison 1984 war zwar am niederschlagsreichsten, wobei ergiebigen Einzelereignissen besondere Bedeutung zukam (vgl.Pkt.4.2.1), die mengenmäßige Verteilung in den Sommermonaten hingegen 1985 ausgeglichener. Daher war in keiner der Parzellen eine gänzliche Ausschöpfung des verfügbaren Bodenwassers, wie sie 1984 auf der gemähten Fläche D kurzzeitig aufgetreten war, festzustellen. Die Verhältnisse zwischen den einzelnen Parzellen ähnlten aber jenen in der Vorperiode: Unter den vergrasteten Flächen wies wiederum die altholz nächste Parzelle A die höchsten Potentiale auf, Stauwasser bildete sich häufiger und stieg auch höher an. Die Niederschlagsmengen um den 20. Juli führten bei den Flächen A und B zu einem Anstieg der Bodenwasserpotentiale im gesamten Profilbereich,



Parzelle A
Fi 2x2m,
Erlenzwi-
schenbau



Parzelle B
Fi 2x2m,
unbehandelt

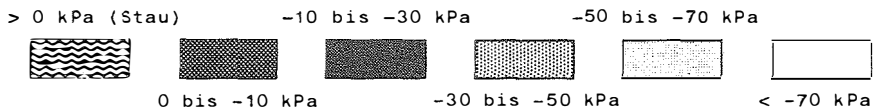


Abb.4.23: Freilandniederschläge und Gang der Bodenwasserpotentiale auf den Parzellen A und B während der Wuchssaison 1985
Fig.4.23: Precipitation in the open and isopleths of soil water potential in plot A and B during the vegetation period 1985

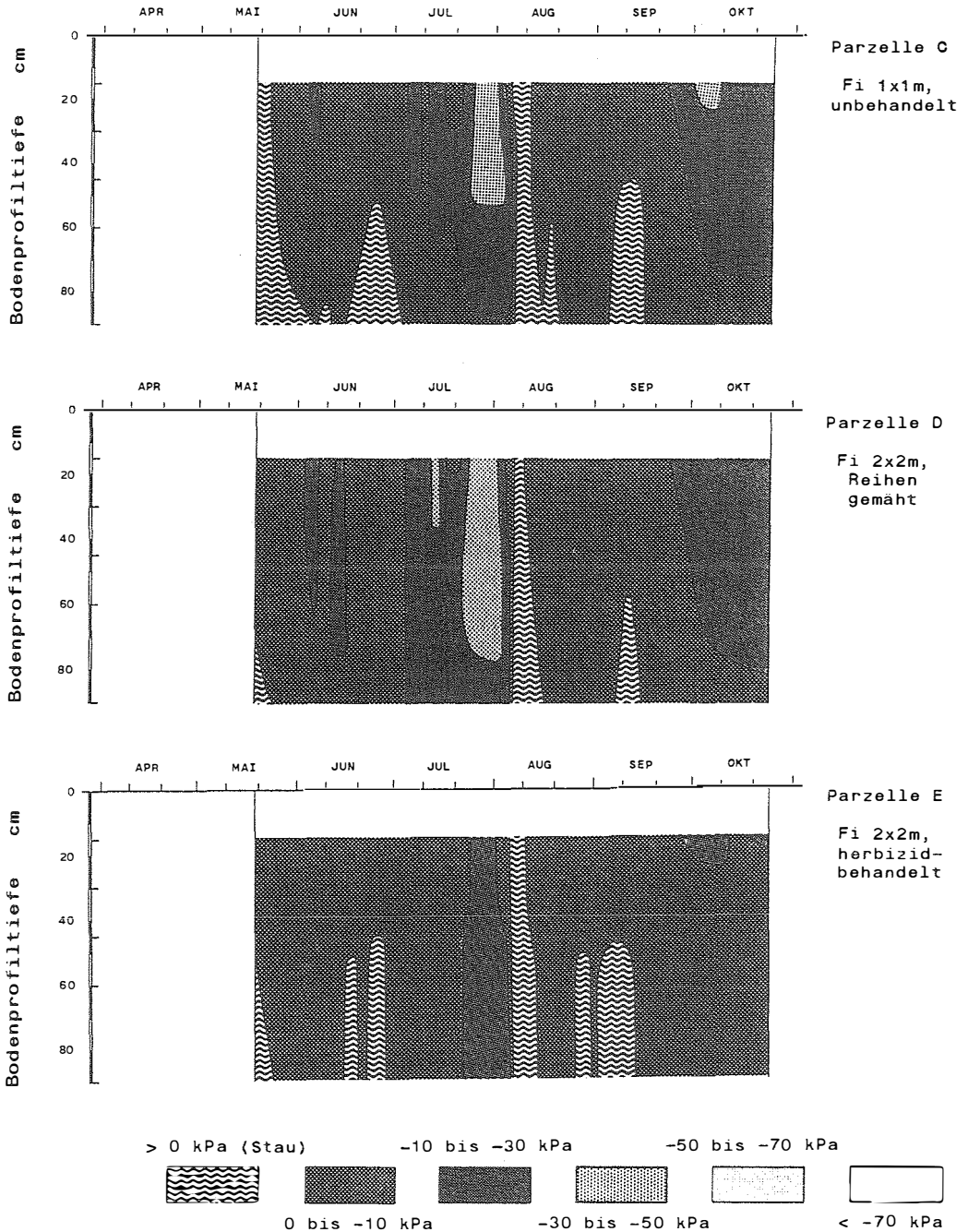


Abb. 4.24: Gang der Bodenwasserpotentiale auf den Parzellen C, D und E während der Wuchssaison 1985

Fig. 4.24: Isopleths of soil water potential in plot C, D and E during the vegetation period 1985

reichten bei den stärker ausgetrockneten Flächen C und D hingegen nur zur oberflächennahen Entlastung. War bei Parzelle D wiederum eine etwas stärkere Bodenwasserausschöpfung - besonders deutlich um den 13. Juli - festzustellen, so zeigten sich nach dem Freischnitt (24.7.) bis zum Ende der Vegetationsperiode in den oberen Bodenbereichen keine merklichen Unterschiede zu den anderen Parzellen - von der im Vergleich zu C besseren Situation anfangs Oktober abgesehen. Auf der herbizidbehandelten Fläche E traten 1985 im Vergleich zur Vorperiode weder mehr noch längere, bis an die Oberfläche reichende Vernässungsphasen auf. Dies dürfte vornehmlich auf die einzelnen Grashorste, deren Beseitigung mißlang, zurückzuführen sein. Dennoch war das oberflächennahe Potentialniveau höher als bei den anderen Parzellen. Es ist aber bemerkenswert, daß die tieferen Bodenwasservorräte auf der dicht vergrasteten Fläche A sichtlich weniger ausgeschöpft wurden - Oktober ausgenommen. Ausschlaggebend dafür, insbesondere für das auch im Vorjahr beobachtete längere Anhalten der Winterfeuchte, ist sehr wahrscheinlich die Nähe des Altholzes.

4.4.2.3 Vegetationsperiode 1986

Abb. 4.25 gibt die Zeitdauer von Wasserpotentialen in verschiedenen Bodenhorizonten während der Wuchssaison 1986 wieder. Die geringeren sommerlichen Niederschläge führten zu längeren Perioden mit niedrigen Potentialen und zeitweiliger Austrocknung auch tieferer Horizonte. Im Unterschied zu den beiden Vorperioden zeigten sich zwischen der altholznahen Parzelle A und der herbizidbehandelten Fläche E keine merklichen Unterschiede in der Zeitbilanz für die oberflächennahen Wasserpotentiale. Die auf Parzelle A länger anhaltende Winterfeuchte begünstigte die Ausbildung von Stauphasen, die auch auf der angrenzenden Fläche B nur an wenigen Tagen bis in den Wurzelraum reichten. Das Potentialniveau tieferer Horizonte, in denen bei allen vergrasteten Flächen Werte unter - 50 kPa registriert wurden, blieb auf Parzelle E deutlich höher. In den oberen Horizonten sinkt der Anteil höherer Potentiale wie in beiden Vorjahren mit zunehmender Entfernung von Parzelle A. Auf der freigemähten Parzelle D sind die Phasen der Austrocknung zugunsten höherer Potentiale insbesondere im Wurzelbereich deutlich kürzer als bei den Flächen B und C, auf denen die Bodenvege-

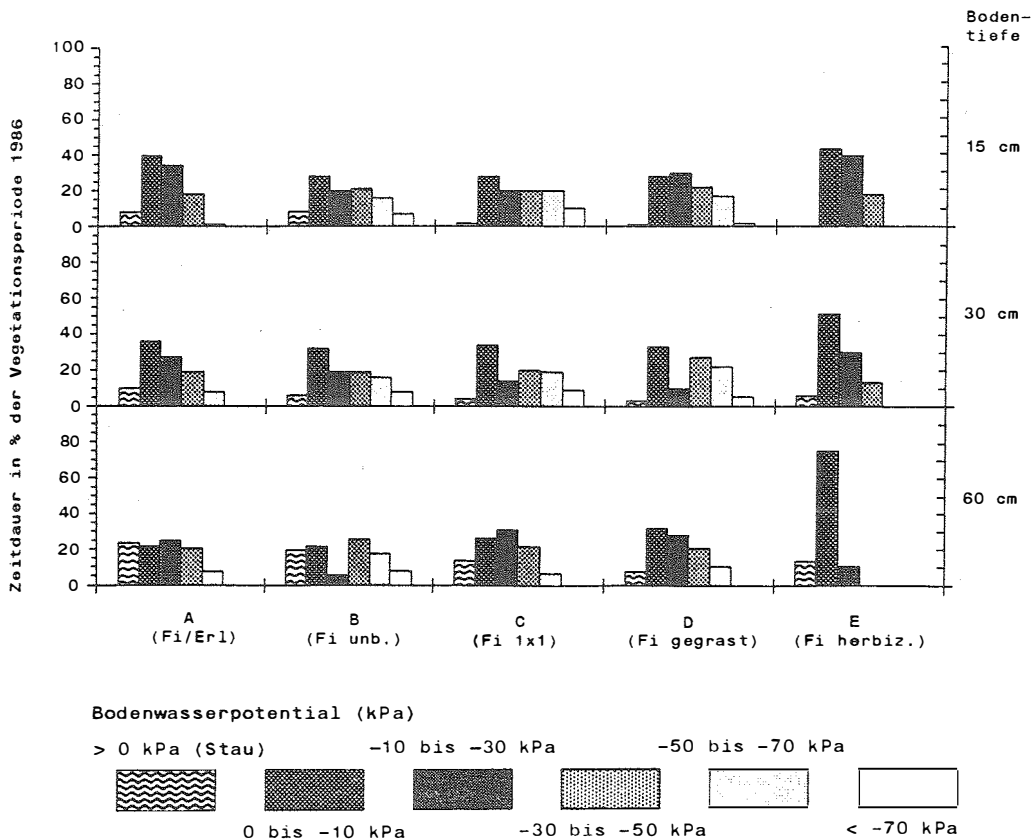


Abb.4.25: Dauer verschiedener Bodenwasserpotentiale in 15, 30 und 60 cm Bodentiefe in % der Vegetationszeit 1986
 Fig.4.25: Periods of different soil water potentials in 15,30 and 60 cm depth as percentage of the vegetation period 1986

tation unbehandelt blieb. Die Niederschlags-situation und der Gang der Bodenwasserpotentiale in den Parzellen während der Wuchssaison 1986 ist in den Abb. 4.26 und 4.27 dargestellt. Die ergiebige Niederschlagsphase anfangs Juni führte wieder zu hoch anstehenden Vernässungen. Dies ist bei Fläche A besonders deutlich zu sehen, auf der wie auch in den beiden Vorjahren im Frühjahr das meiste Stauwasser registriert wurde. Ab etwa Mitte Juni begannen die Bodenwasserpotentiale in allen Parzellen ziemlich gleichzeitig, mit zunehmendem Abstand von der altholz-nahen Fläche A stärker zu sinken. Die Niederschläge bis August verbesserten daher die Situation auch am meisten in Parzelle A, bei Fläche B mehr als bei Parzelle C. Der dann folgende Rückgang der Potentiale führte bis

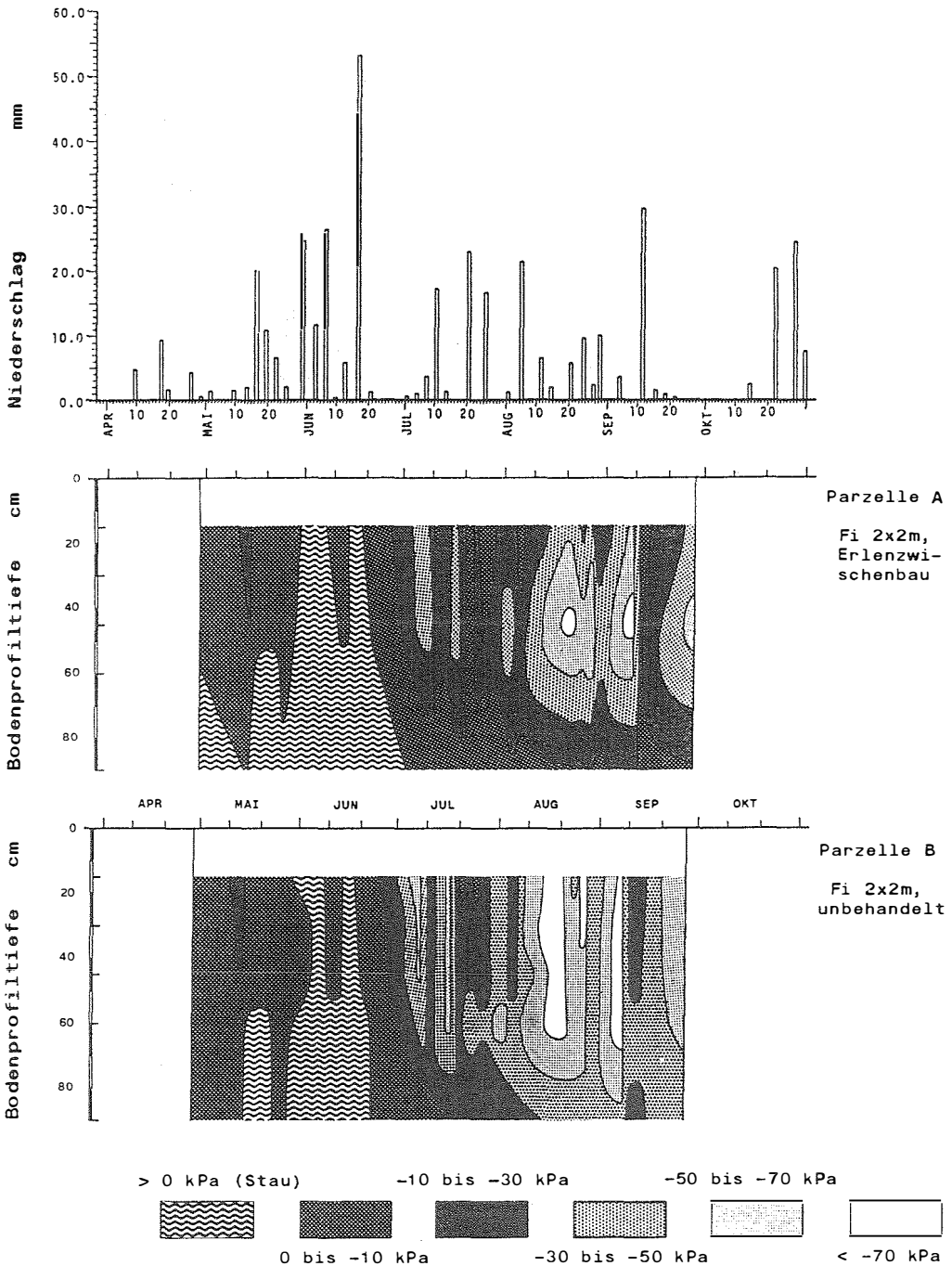


Abb.4.26: Freilandniederschläge und Gang der Bodenwasserpotentiale auf den Parzellen A und B während der Wuchssaison 1986
Fig.4.26: Precipitation in the open and isopleths of soil water potential in plot A and B during the vegetation period 1986

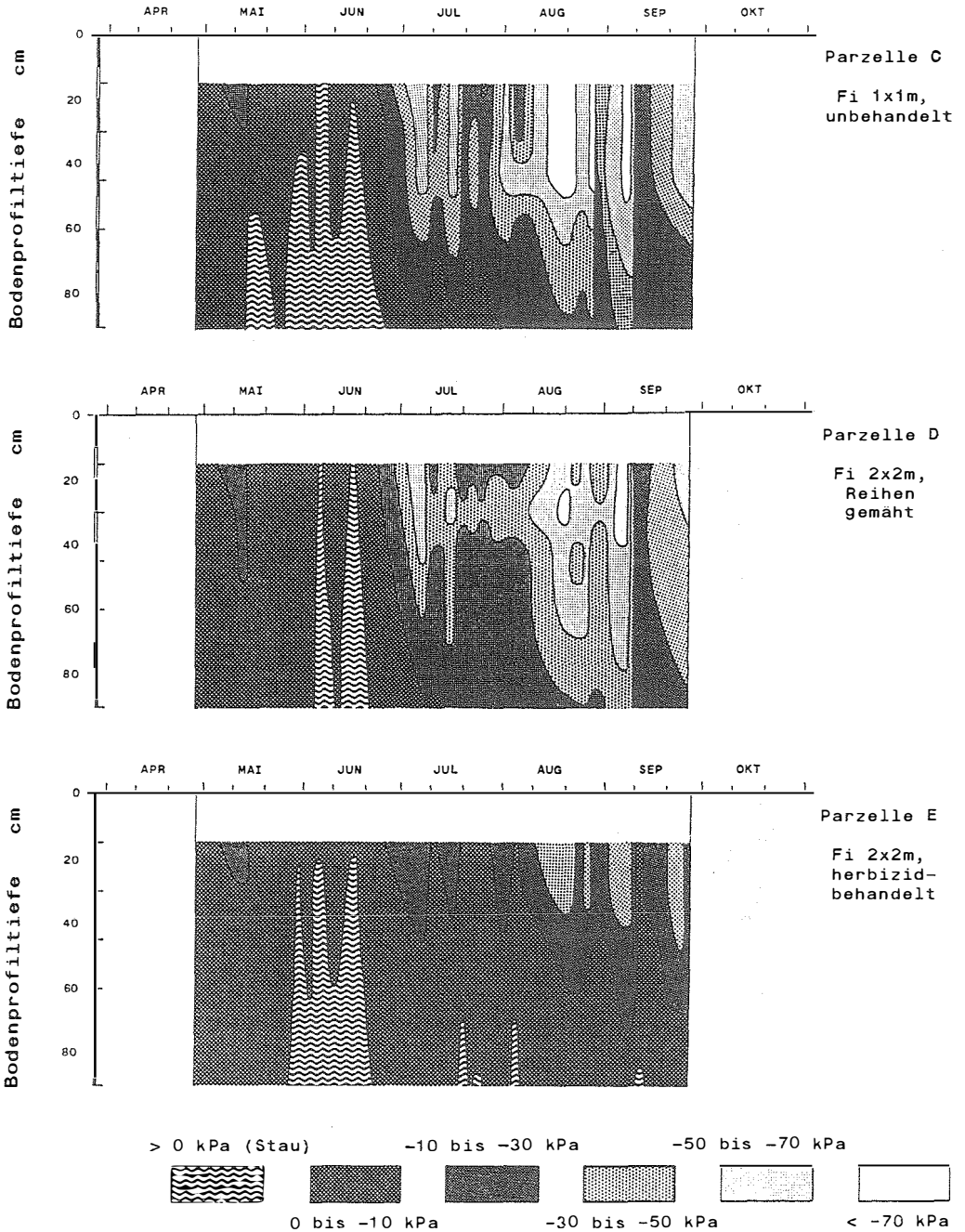


Abb. 4.27: Gang der Bodenwasserpotentiale auf den Parzellen C, D und E während der Wuchssaison 1986

Fig. 4.27: Isopleths of soil water potential in plot C, D and E during the vegetation period 1986

Mitte August zuerst auf Fläche C, dann auch bei Parzelle B zur mehrtägigen Ausschöpfung des verfügbaren Bodenwassers bis in tiefere Horizonte. Anders der Verlauf auf der gegrasten Fläche D, wo ab dem Zeitpunkt der Freistellung (10.7.) eine merkliche Entlastung vor allem der oberen Bodenschichten zu beobachten war, das Potentialniveau der Parzelle A dabei aber nicht erreicht wurde. Ab September bestanden zwischen Parzelle B, C und D kaum mehr wesentliche Unterschiede, sieht man von der etwas stärkeren Wasserausschöpfung in den tieferen Horizonten auf Fläche B ab. Kontinuierlich hohe Potentiale während der Vegetationsperiode wies im gesamten Profilbereich wieder die unkrautfreie Fläche auf, obgleich auch in diesem Jahr wieder einzelne Grashorste aufgekommen waren. Die Niederschläge reichten stets aus, um den häufigen Wechsel von Phasen mit stark unterschiedlichen Potentialen, der bei allen anderen Parzellen besonders im Juli zu beobachten war, zu vermeiden.

Unterschiede im Bodenwasserhaushalt der Parzellen sind in Abbildung 4.28 am Beispiel positiver Wasserpotentiale (Stau) im Untersuchungszeitraum dargestellt. Angegeben ist die Lage jener Bodenschicht, unterhalb der während 10 % der Vegetationszeit positive Potentiale auftraten. Zur besseren Kenntlichmachung der saisonalen Situationen wurden die betreffenden Tiefenstufen der Parzellen graphisch verbunden.

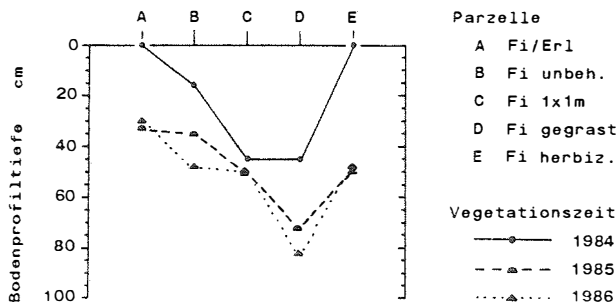


Abb. 4.28: Bodentiefe auf den Versuchsparzellen, unterhalb der während 10% der Vegetationszeit 1984, 1985 und 1986 Wasserstau auftrat

Fig. 4.28: Soil depths on the sample plots below which water logging occurred during 10% of the vegetation periods 1984 1985 and 1986

Die allgemeine Lage der Staugrenze ist primär Ausdruck der saisonalen Niederschlagssituation. Die ergiebigen Ereignisse im September 1984 sind Ursache für die im zeitbezogenen Vergleich höher anstehende Vernässung, die wahrscheinlich auch durch die Unterentwicklung der Bodenvegetation begünstigt wurde. Die aufgezeigten Unterschiede im Bodenwasserhaushalt der Parzellen drücken sich auch in der verschiedenen Tiefe der Grenzschichten aus, die auf der altholznahen Fläche A vor allem wegen der länger anhaltenden Winterfeuchte am geringsten ist. Auf den übrigen Flächen waren positive Potentiale im Vergleichszeitraum auf tiefere Horizonte beschränkt.

4.4.2.4 Bewertung der Ergebnisse 1984 - 1986

Bodenwasserpotentiale wie deren Entwicklung sind Ausdruck vielfältiger, meist interdependenter, statischer und dynamischer Faktoren. Angesichts der Kleinräumigkeit der Versuchsfläche, der natürlichen Variabilität der Parzellen wie der Einflußgrößen neben den Behandlungsvarianten sind Abgrenzungen nur beschränkt und relativ möglich.

Die Bodenwasserpotentialkurven der einzelnen Teilflächen weisen unterschiedliche Merkmale auf, die in allen drei Perioden zu beobachten waren. Diese Grundzüge des Wasserentzugs- und -aufsättigungsmusters sind sehr wahrscheinlich auf wesentliche gleichbleibende Einflußgrößen zurückzuführen. Als solche können für den Untersuchungszeitraum gelten:

- * Bodenphysikalische Verhältnisse: Kurzfristige Veränderungen im auflagegeschützten, von absterbenden Fichtenwurzeln durchzogenen Mineralboden sind nicht anzunehmen.

- * Niederschlagsverteilung: Die randnächste Fläche (A empfängt gegenüber entfernteren, vor allem im Vergleich zu Parzelle E, in Summe geringfügig weniger Niederschlag. Die ereignisspezifischen Unterschiede im Niederschlagseingang zwischen den Parzellen sind jedoch unbedeutend.

- * Horizonteinengung: Durch die Horizontüberhöhung wird mit dem frühen Schattenwurf in der zweiten Tageshälfte der Energieeintrag auf Parzelle A deutlich vermindert. Für die angrenzende Fläche B können nur mehr geringe Auswirkungen angenommen werden. Ähnlich

in ihrer Bedeutung sind andere kleinklimatische Randeffekte zu bewerten.

* Jährliche Biomassenentwicklung der Konkurrenzvegetation: Die volle Entwicklung des heranwachsenden Calamagrostisbestandes wird nach einem raschen Aufbau der oberirdischen Biomasse etwa Mitte Juli erreicht, die bis Ende der Vegetationsperiode keine wesentlichen Änderungen mehr erfährt. Demgegenüber werden die Vegetationsreste vergangener Jahre kontinuierlich abgebaut. Mehr als zwei Drittel der Rhizome und Wurzeln sind im obersten Mineralbodenabschnitt und der unmittelbaren Auflage konzentriert, quantitative Unterschiede während der Wuchssaison konnten nicht festgestellt werden, sind aber wahrscheinlich.

* Interzeption: Im saisonalen Zyklus einer entwickelten Vergrasung ist nach der raschen Zunahme der Interzeptionsfläche durch den heranwachsenden Bestand in den Monaten Juli und August die größte Speicherkapazität gegeben - ein Umstand dessen Bedeutung mit der Anzahl weniger ergiebiger Niederschlagsereignisse steigt. Die Unterschiede in der potentiellen Niederschlagsrückhaltung während der Vegetationsperiode sind aber wegen der relativ geringen Biomassenschwankungen nicht sehr bedeutsam. An diesen Wachstumsverlauf ist auch der mögliche Transpirationsverbrauch gebunden.

* Versuchsanlage: Die Behandlung der einzelnen Teilflächen wurde im Untersuchungszeitraum nicht geändert. Gewisse Einschränkungen gelten für Parzelle E, die nicht absolut unkrautfrei gehalten werden konnte.

Die Potentialmuster der einzelnen Parzellen lassen sich auf diese Faktoren zurückführen: Die vom Bestandesrand am weitesten entfernte, herbizidbehandelte Fläche E wies bei rascher Aufsättigung mit einzelnen Stauphasen, von wenigen Ausnahmen abgesehen, im gesamten Profilbereich stets die höchsten Bodenwasserpotentiale auf. Häufiges Wechseln stark unterschiedlicher Potentiale war nicht zu beobachten. Ein Minimum an Interzeptionsverlusten, das Fehlen einer transpirierenden Bodenvegetation und der Evaporationsschutz durch die Auflage aus Streu- und Grasresten sind als Ursachen dieser Verhältnisse anzusehen. Das Potentialniveau auf der randnächsten Parzelle A war im Vergleich insgesamt etwas niedriger, die Haushaltssituation aber ähnlich jener der unkrautfreien Flä-

che E - obwohl die Kultur mit dem Erlenzwischenbau in größerer Dichte begründet, und die Konkurrenzvegetation in ihrem Wachstum nicht gehemmt wurde. Im Frühjahr wies die am längsten beschattete Fläche A die größten Feuchtigkeitsgehalte auf. Die Transpiration des Grasbestandes führte zwar im Sommer zu einem Rückgang der Bodenwasserpotentiale, die kleinklimatischen Auswirkungen der Horizontüberhöhung wogen die Verdunstungsverluste aber praktisch auf. Demgegenüber waren bereits auf der angrenzenden Parzelle B die Potentiale merklich niedriger, wenngleich die Bodenwasservorräte etwas weniger als auf der benachbarten Fläche C ausgeschöpft wurden. Aus den geringen Unterschieden zwischen B und der mit der vierfachen Pflanzenzahl begründeten Parzelle C kann kein Einfluß der Kulturdichte auf die Bodenwasserverhältnisse abgeleitet werden. Wahrscheinlich sind Restwirkungen des Bestandesrandes auf Fläche B von größerer Bedeutung. Auf Parzelle D wurde die transpirierende Biomasse jeweils während der vollen Entwicklung zur Blüte um rund 50% reduziert. Vor diesem Zeitpunkt waren die Bodenwasserpotentiale gegenüber allen anderen Parzellen im gesamten Profilabschnitt am niedrigsten. Nach der Freischneidemaßnahme konnte dieser Unterschied nicht mehr beobachtet werden, waren die Potentiale vor allem im oberflächennahen Bereich teilweise höher. Durch die Freistellung wurden zwar die Interzeptionsverluste von den Reihen auf die Zwischenflächen verlagert, insgesamt aber kaum vermindert. Der Bestandesrand ist für die Bodenwasserverhältnisse auf Fläche D mit Sicherheit ebenfalls ohne Bedeutung. Die Anhebung des Potentialniveaus ist daher auf eine Minderung der Transpiration zurückzuführen, die ein etwaiger Mehrverbrauch durch den verbliebenen Bestand nicht ausgleichen kann. Wie der Verlauf der Bodenwasserpotentiale 1986 gezeigt hat, geht der Entlastungseffekt mit dem Nachtreiben der Grashorste jedoch wieder verloren.

Diese, im Untersuchungszeitraum gleichgebliebenen Grundzüge zeigen die herausragende Bedeutung kleinklimatischer Effekte für den Bodenwasserhaushalt, die diesbezüglich den Wirkungen einer gänzlichen Beseitigung der Bodenvegetation gleichkommen kann. Im Vergleich dazu ist der Einfluß der mechanischen Maßnahmen, die auch keine größeren Änderungen im Niederschlagsrückhalt erwarten lassen, relativ gering - sommerliche Extreme wurden aber gemindert.

Auswirkungen durch die unterschiedliche Kulturbegründung waren nicht festzustellen.

Neben den gleichbleibenden Einflußgrößen kommen im Gang der Bodenwasserpotentiale auch dynamische Aspekte zum Ausdruck, darunter vorrangig:

- * Periodische Niederschlagssituation und Witterungsverlauf: Die günstigen Niederschlagsverhältnisse im Sommer 1985 und die geringeren Einträge im Juli bis September 1986 bilden mit anderen Ereignischarakteristika unterschiedliche Grundlagen für den Wasserhaushalt.

- * Entwicklung der Bodenvegetation: Im Verlauf der Vegetationsperiode 1984 entwickelte sich aus dem zum Teil noch lockeren und stellenweise lückigen Calamagrostisbestand eine geschlossene Vergrasung, die im Folgejahr zwar bereits die standörtlich mögliche Biomasse produzierte, deren Altgrasschicht aber noch im Aufbau begriffen war. Erst die Wuchssaison 1986 zeigte einen praktisch geschlossenen Kreislauf von Wachstum und Abbau. Daher sind für die Vegetationsperioden 1984 und 1985 auch in Zusammenhang mit der steigenden rhizomalen Verfilzung mögliche Unterschiede in der potentiellen Transpiration in Betracht zu ziehen. Die maximale Interzeptionskapazität kann frühestens ein Jahr nach Entwicklung der vollen Transpirationsmasse erreicht werden, ist somit erst für den Wasserhaushalt der Saison 1986 entsprechend relevant.

- * Wachstum der Kulturpflanzen: Verpflanzungsschock und Schädigung eines Teilkollektives durch Rüsselkäferfraß beeinträchtigten die Vitalität der Fichten. Im niederschlagsärmsten dritten Standjahr waren diese Hemmnisse überwunden, konnten deutliche Zuwächse bei den 1984 gepflanzten Bäumen registriert werden. Keine Wuchsverzögerungen waren bei den Schwarzerlen auf Parzelle A zu beobachten.

- * Änderungen in der Auflage: Die ursprüngliche Nadelstreuaufgabe wurde im Untersuchungszeitraum weitgehend abgebaut, mit Calamagrostisresten angereichert und von einem dichten Graswurzelfilz durchzogen. Einhergehende Veränderungen von Interzeption und Sickerverhalten sind wahrscheinlich.

Diese zum Teil wechselseitigen Einflüsse sind nicht abgrenzbar, der enge Zusammenhang zwischen Niederschlagstätigkeit / Witterung

und Wasserentzugs-/ -aufsättigungsgang läßt keine Verbrauchsänderungen durch die Vegetationsentwicklung erkennen. Auch im trockenen Sommer 1986 konnten weder auf der erlenbestockten Fläche A noch zwischen den unbehandelten Fichtenparzellen B (2.500 St./ha) und C (10.000 St./ha) Unterschiede festgestellt werden, aus denen sich bereits Auswirkungen unterschiedlicher Kulturbegründung auf den Bodenwasserhaushalt ableiten ließen.

5. SCHLUßFOLGERUNGEN

Nach den vorliegenden Ergebnissen sind die Möglichkeiten, den Bodenwasserhaushalt bereits im frühen Kulturstadium zu beeinflussen, sehr unterschiedlich zu bewerten. Die nachstehenden Aussagen gehen von den Erkenntnissen dieser Untersuchung aus und sind nicht direkt auf andere Situationen übertragbar. Sie sollen Ansatzpunkte für forstpraktische Überlegungen und Anregungen für weitere Arbeiten sein.

* Planung der Schlagfläche

Die Bedeutung von Größe, Proportion und Orientierung der Schlagfläche für die ökologischen Verhältnisse ist bekannt, wird aber oft unterschätzt und daher meist forsttechnischen Gesichtspunkten untergeordnet. Wie die Untersuchung gezeigt hat, kann auch auf einer südexponierten Fläche, sofern keine besondere Stau- oder Leesituation die Niederschlagsverteilung wesentlich beeinflußt, im Bereich früh einsetzender Beschattung von ca. einer Baumlänge eine wesentlich geringere Ausschöpfung der Bodenwasserreserven erwartet werden, die der Wirkung einer gänzlichen Beseitigung üppiger Bodenvegetation gleichkommen kann. Dieser Umstand kann in Schnee- und Kältelagen wie auf staunassen Flächen im Frühjahr Austrieb und Wachstum negativ beeinflussen, doch sollte der länger anhaltende Feuchtezustand auch als Indiz für höhere Wassergehalte im Sommer in Betracht gezogen und eine eventuell geplante Konkurrenz-beseitigung in diesem Bereich überdacht werden.

* Kulturbegründung

Auswirkungen unterschiedlicher Pflanzzahlen oder der Mitbegründung von Schwarzerlen als Vorwald auf die Wasserpotentialverhältnisse konnten im Anwuchszeitraum der ersten drei Standjahre nicht nachgewiesen werden. Unabhängig davon ist die Aufforstung in engerem Verband zumindest bei Fichte nicht als geeignete Maßnahme anzusehen, die Bodenwasserverhältnisse vernäßter Böden noch im Kulturstadium vor Dickungsschluß wirksam zu beeinflussen. Vor al-

lem auf extremeren Standorten ist in der Anwuchsphase vermehrt mit Streßreaktionen und kaum mit übermäßiger Leistungsfähigkeit zu rechnen. Eine im Vergleich zur Fichte raschere Anpassung und früher einsetzende physiologische Entwässerung durch Erlen, Aspen und Sträucher ist wahrscheinlich, in nennenswertem Ausmaß jedoch auch nicht vor angegehendem Dickungsstadium zu erwarten. Genauere Untersuchungen über diesbezügliche Wirkungen und Möglichkeiten einer Vorwaldbegründung wären wünschenswert.

* Konkurrenzregelung

Calamagrostis epigeios gilt wegen seiner tiefreichenden Durchwurzelung, der Rhizomdichte im obersten Bodenbereich und seiner Fähigkeit zu großer Biomassenproduktion in Form geschlossener, hoher Bestände als widerstandsfähiges, die Kulturpflanzen besonders gefährdendes Forstunkraut. Zwar wurden in stark vergrasteten Kulturen vereinzelt Nährstoff- und Lichtmangelerscheinungen beobachtet (Hanschke, 1968; Habenberger, 1987), doch ist die Gefahr von Überlagerung und Schneedruck, vor allem aber die große Wasserkonkurrenz Grund für die Bekämpfung. Je stärker mit der angewandten Methode die Evapotranspiration verringert wird, desto umfangreicher wird die Verfügbarkeit von Niederschlagswasser für die übrigen Pflanzen.

+ **Herbizideinsatz:** Den Ergebnissen zufolge ist eine längerfristige, wirksame Verminderung der Wasserkonkurrenz in einer *Calamagrostis*-vergrasung wegen der rhizomalen Ausbreitungsdynamik (Faille und Fardjah, 1977) nur mit einer flächigen Herbizidausbringung in letaler Dosis zu erreichen. Die Schlagvegetation ist aber in mehrfunktionaler Hinsicht von Bedeutung - als kleinklimatische Übergangszone und Lebensraum ebenso wie als Zwischenspeicher von Nährstoffen, vor allem bei mobilen Elementen wie Kalium, und als gewisser Schutz für strukturgefährdete Böden. Daher sollte der Herbizideinsatz grundsätzlich überdacht werden, eine Bekämpfung auf Ausnahmefälle und eine dabei einmalige flächige Anwendung in entwickelten Vergrasungen beschränkt bleiben, um den erwünschten Effekt bei möglichst geringer Störung dieser Funktionen zu erzielen. Die Interzeptionsverdunstung durch die abgestorbene Biomasse sollte stets eine tolerierbare Verlustgröße sein.

+ Mechanische Freistellung: Auch von einer weitgehenden Reduktion der transpirierenden Biomasse kann keine wesentliche Verminderung der Bodensaugspannung erwartet werden, die rhizomale Ausdehnung der verbliebenen Horste und der nachwachsende Bestand stehen einer länger anhaltenden Entlastung entgegen. Zusammen mit der weitgehenden Verlagerung der Interzeptionsverluste in den Zwischenflächenbereich wird zwar eine bessere Wasserversorgung erreicht, ob diese für Pflanzen unter Freistellungsstreß auch nutzbar ist und die Nachteile der plötzlichen Situationsänderung kompensiert werden bleibt nach den Untersuchungsergebnissen fraglich.

+ Nullvariante: Die unbehandelten Flächen wiesen im Sommer die niedrigsten Bodenwasserpotentiale im Wurzelraum auf, Nachteile im Wachstumsverlauf gegenüber der unkrautfreien Fläche waren nicht zu beobachten. Eine geschlossene Bodenvegetation mit großer Biomassenproduktion ist im frühen Kulturstadium die wirksamste Möglichkeit, vernäßte Böden physiologisch zu entwässern. Bei weniger extremen hydrologischen Verhältnissen tritt sie jedoch zunehmend in Konkurrenz mit den Forstpflanzen. Bei *Calamagrostis* kann die Bekämpfung aber weitestgehend unterbleiben, wenn durch umgehende Schlagaufforstung mit frischen, vitalen Pflanzen die Entwicklung der Vergrasung, deren Aufbau mehrere Perioden in Anspruch nimmt, unterlaufen wird und der Grasbestand in eine Kultur die den Pflanzschock bereits überwunden hat, einwächst. Eine ein-, auch zweijährige Schlagruhe bietet keinen sicheren Schutz vor *Hylobius*-fraß, erschwert aber die Ausgangssituation für die Forstpflanzen auch in Hinblick auf mögliche Schäden durch Schneedecken. Die niedergedrückten Fichten der Versuchsfläche waren ausreichend kräftig, sich spätestens mit dem wieder heranwachsenden Grasbestand aufzurichten - die vernachlässigbaren, einzelnen Verluste von ausnahmslos schwachen Pflanzen hätten daher auch diesbezüglich keine Freistellungsmaßnahmen gerechtfertigt.

Die Anpassungsfähigkeit von Forstpflanzen sollte nicht unterschätzt, den Ursachen von Ausfällen in Kulturen daher in jedem Fall genauer nachgegangen werden, bevor "der Einfachheit halber" gleichsam präventiv generelle Unkrautbekämpfungsmaßnahmen erfolgen. Abschließend bleibt zu betonen, daß die Konkurrenzsituation für jeden Standort seinen spezifischen Klima-, Boden- und Vege-

tationsverhältnissen entsprechend zu bewerten und möglichst schon bei der Verjüngungsplanung abzuschätzen ist, um bereits mit der Schlagführung die Grundlagen für eine weitestgehend adäquate und rasche Integration der Kulturpflanzen in ein komplexes, dynamisches System zu schaffen.

6. ZUSAMMENFASSUNG

Kahlschläge und die nachfolgende Vegetationsentwicklung haben rasche und tiefgreifende Änderungen von Haushaltsgrößen zur Folge, die eine Aufforstung häufig erschweren. Meist wird über Pflanzdichte und Eingriffe in die Schlagvegetation versucht, extremere Bodenwasserverhältnisse als wesentlichen Streßfaktor für die Forstpflanzen bereits im Kultursicherungszeitraum zu beeinflussen. Zur Untersuchung der Auswirkungen verschiedener Maßnahmen auf den Wasserhaushalt während der ersten drei Vegetationsperioden nach der Pflanzung wurde in 500 m Seehöhe im Dunkelsteinerwald, Niederösterreich, im Frühjahr 1984 eine Versuchsfläche in Parzellendesign angelegt. Wiederholungen konnten aus methodischen Gründen nicht vorgenommen werden. Die schwach nach Süden geneigte Fläche auf Pseudogley war von *Calamagrostis epigeios* (L.) besiedelt und wurde zwei Jahre nach Abtrieb des Altbestandes wieder mit Fichten in fünf Behandlungsvarianten aufgeforstet: A - Schwarzerlenzwischenbau; B - Nullvariante; C - vierfache Pflanzenzahl (10.000 St. ha⁻¹); D - jährliches Aussicheln der Reihen; E - Frei von Bodenbewuchs durch Herbizideinsatz. Die Versuchsfläche war von Jungwüchsen umgeben, gegen Parzelle A von einem 90-jährigen Fichtenaltholz begrenzt. Untersucht wurden randbedingte Horizontüberhöhung und Niederschlagseintrag, Biomassen-, Blattflächenentwicklung, Nährstoffhaushalt und Interzeption der Vergrasung, Wasserpotentiale im Bodenprofil, sowie der Wachstumsverlauf der Forstpflanzen. Die Messungen der Wasserhaushaltskomponenten wurden mit Tensiometern und verschiedenen Niederschlags-sammlern in zwei- bis viertägigen Beobachtungsintervallen während der Vegetationsperioden 1984 - 1986 vorgenommen.

Aus den ursprünglich lockeren *Calamagrostis*horsten hatte sich im Untersuchungszeitraum ein Grasökosystem entwickelt, das den Wasserhaushalt wesentlich beeinflusste. Im fünften Jahr nach dem Kahlschlag wurde das standörtlich mögliche Produktionsniveau - 1986 rund 520 g Trockenmasse je m² bei einer durchschnittlichen unterirdischen Biomasse von 825 g je m² - erreicht. Ältere *Calamagrostis*reste aus früheren Vegetationsperioden wurden während der

Wuchssaison von 920 g auf 470 g je m² reduziert. Entsprechend der gegenläufigen Entwicklung von Wachstum und Zersetzung – die Hauptmasse jedes periodisch absterbenden Bestandes wird in 2 bis 3 Jahren abgebaut – fanden im Verlauf der Vegetationsperiode keine quantitativ größeren Änderungen in der Gesamtbiomasse und der darin gebundenen Nährstoffmengen statt. Relativ geringe saisonale Unterschiede wies auch die interzeptionswirksame projizierte Fläche der Biomasse (10 – 12 m² je m²) auf. Die darin mögliche Niederschlagsrückhaltung kann mit 25% bis 30% der Freilandniederschlagsmenge in der Vegetationsperiode angenommen werden und ist aus unterschiedlichen Anteilen für den heranwachsenden Bestand (ca.10%) und die abgestorbene Schicht (ca.17%), in der mit durchschnittlich 3g Wasser je g Trockensubstanz größere Mengen gespeichert werden können, zusammengesetzt. Auf die grundsätzliche Problematik der Interzeptionsuntersuchung mit Meßbrinnen wird ausführlicher eingegangen.

Die Niederschlagsverteilung auf der Versuchsfläche wurde im Gegensatz zu energieabhängigen Größen durch den angrenzenden Altbestand nicht wesentlich beeinflusst. Unterschiede im Gerätetyp und der Meßhöhe bei der Freilandniederschlagsmessung kamen in signifikanten Ergebnisdifferenzen zum Ausdruck. Die spezifische Niederschlagssituation bildete die Grundlage für die jährlich unterschiedlichen Bodenwasserverhältnisse. Die Entwicklung der Bodenvegetation und der Kulturpflanzen im Untersuchungszeitraum 1984 – 1986 war von vergleichsweise geringem Einfluß. Die Saugspannungsmuster der Parzellen waren in der ersten wie in gleicher Weise auch in den folgenden Perioden behandlungsbedingt modifiziert. Aus den Unterschieden ließ sich ableiten:

- * Der Einfluß der Schlagvegetation auf die Saugspannungsverhältnisse im Boden überwog in den ersten Jahren der Kultur jenen der Forstpflanzen. Ein direkter Zusammenhang mit hoher Pflanzzahl oder Erlenzwischenbau konnte hingegen nicht nachgewiesen werden.
- * Flächiger Herbizideinsatz in letaler Dosis führte über Konkurrenzbeseitigung zu permanent geringerer Saugspannung, die abgestorbene Vegetation schützte vor oberflächennaher Austrocknung.
- * Kleinklimatische Einflüsse durch den Bestandesrand waren im Bereich einer Baumlänge von ähnlicher Wirkung auf die Saugspannungsverhältnisse im Boden wie der Herbizideinsatz. Mit größerer

Entfernung nahm ihre Bedeutung rasch ab.

* Mechanische Freistellung minderte hohe Saugspannungen im oberen Bodenbereich. Dieser Effekt ist jedoch stark vom Durchwurzelungsverhalten der Konkurrenzvegetation abhängig und nimmt mit dem Nachwachsen wieder ab.

Die Untersuchungsergebnisse verdeutlichen die Notwendigkeit, neben möglichen kleinklimatischen Auswirkungen der Hiebsführung auch die spezifischen Verhältnisse der Sukzessionsgesellschaft stärker als bisher bei der waldbaulichen Planung zu berücksichtigen um Fehleinschätzungen der Konkurrenzsituation wie der Folgen beabsichtigter Eingriffe zu vermeiden.

7. SUMMARY

Clear cuttings and the succeeding vegetation entail rapid and fundamental changes of household variables which often make a re-forestation more difficult. Extreme soil moisture conditions as an important stress factor for the forest plantation are usually tried to be influenced already during the period of culture operations by means of spacing and weed control. To evaluate the impacts of different culture operations on the water-balance during the first three vegetation periods after planting an experiment was layed out on a clear cutting area situated in the "Dunkelsteinerwald" (Lower Austria), 500m above sea-level, in spring 1984. Repetitions could not be made for reasons of method. The sample area on a pseudogley site, slightly inclined towards south, was covered with *Calamagrostis epigeios* (L.) and re-forested with Norway spruce (*Picea abies*) two years after final cutting. Five different subplots were set up: plot A: Alder trees (*Alnus glutinosa*) intermediate planted; plot B: untreated control plot; plot C: half spacing (10.000 plants per ha); plot D: annual grass cutting of afforested rows; plot E: free of competitive vegetation by herbicid application. The sample area was surrounded by young crops, plot A adjoined to a 90 year old stand of Norway spruce. Horizon edge and distribution of precipitation, development of the clear cutting vegetation, its projected area and nutrient balance, interception, the soil water potentials and the development of the forest trees were evaluated. Water household measurements were carried out by tensiometers and different rain gauges during the vegetation period 1984-1986 in intervals of two to four days.

During the research period the original far spaced *Calamagrostis epigeios* groups developed to a grass ecosystem with an important influence on the waterhousehold. The maximal site productivity was reached in the fifth year after clear cutting: approximately 520 g dry matter per m² at an average underground biomass of 825 g per m² (1986). *Calamagrostis* litter of former vegetation periods was decomposed from 920 g per m² to 470 g per m² during the growing

season. Caused by the contrary course of growth and decomposition - the main part of the annual fading grass stand was reduced during two to three years - no greater changes in the quantity of total biomass and its nutrient stores took place during a vegetation period. Comparatively small seasonal differences were also found for the interception relevant projected area of the biomass ($10-12 \text{ m}^2 \cdot \text{m}^{-2}$). Its potential interception storage can be assumed with 25 - 30 % of the precipitation in the open of the vegetation period. The percentage is composed of different quotas for the annual growing stand (approximately 10%) and the dead layer (approximately 17%). At an average of 3g water per g dry matter more water can be stored in the dead layer than in the living stand. Basic problems of interception measurements with channels are discussed in detail. In contrast to energy depending variables the distribution of precipitation on the sample plot was not substantially influenced by the neighbouring old stand of Norway spruce. Different types of gauges and measuring heights to register the precipitation in the open resulted in significant differences. The annual different soil water relationship was based on the specific precipitation situation. The development of the grass regrowth on clear felling and of the forest plants during the evaluation period (1984 - 1986) was of comparatively small influence and not indicated by the isopleths of soil water potential. The soil suction pattern of the sample plots was determined by the different kinds of treatment throughout the research period in the same way. Differences can be explained by:

- * Effects of grass regrowth on soil suction relations predominated the influence of the forest plants. A direct relation between soil suction and high density of plants or intermediate afforestation with alders could not be found.

- * Area-spaced application of herbicides in a lethal dose resulted in permanent higher soil water potentials by eliminating the competitive vegetation. The dead vegetation protected the soil from drying up in the upper layers.

- * Climatological edge effects caused by the neighbouring old stand had a similar impact on soil suction relations at the extent of one tree-height as the application of herbicides. With greater distance to the old stand its influence decreased rapidly

- * Mowing reduced high soil suctions in the upper soil layer. How-

ever, this effect depends heavily on the root system of the competitive vegetation. With the regrowth of vegetation the effect decreases again.

The results emphasizes the demand to consider succeeding plant communities more intensively when planing culture measurements to avoid wrong assessment of competition and impacts of intended operations.

8. ANHANG

Literatursicht zur Interzeption in Grasgesellschaften:

1. Autor alphabetisch (Jahr)	Ni Niederschlagsrückhaltung
2. Angaben zur Vegetation	Ns Abfluß an den Stielen
3. Untersuchungsmethodik	Nd Durch- und abtropfender
4. Ergebnisse	Niederschlag

1. Beard J.S., 1955,1956
 2. *Aristida junciformis* / *Themeda triandra*
Bestandeshöhe im Herbst: 75-90 cm
 3. a: 2 Freilandprobeflächen (je 0.84 m², mit und ohne Stielabflußmessung) mit je 3 Rinnen (91 x 3.8 x 5 cm)
b: Laborermittlung der Rückhaltekapazität
 4. Ad a: Nd = 67% No Jahresdurchschnitt
Nd = 53%-58% No im vollentwickelten Bestand
Ns unklar, offenbar bedeutend
Ni als gering erachtet, Jahresmittel über 10% No unwahrscheinlich
Ab b: Nimax = 2.3 mm ohne bzw.
0.8 mm (*Aristida*) und 1.3 mm (*Themeda*) mit Windsimulation (max. Rückhaltekapazität)
-

1. Burgy R.H. und Pomeroy C.R. 1958
 2. Künstlicher ("Hardinggrass, alfalfa, narrow leaf trefoil, Mischbestand rose clover, crimson clover, subclover, soft chess, orchard grass, smilo, tall fescue")
Endbestand: Höhe 40 cm; Masse 168 g·m⁻² lufttrocken
 3. Modifizierte Lysimeter, Laborberegnung
 4. Ni = 1.04 - 1.22 mm; bei Niederschlag in Nebelform + 0.25 mm
-

1. Butler D.R. und King S.C., 1982
 2. Frühjahrswitzen, LAI = 2.3
 3. 6 Meßwaagen für Nd zwischen den Reihen und 7 Manschettenflächen in den Reihen für die Summe Nd + Ns
 4. Ni = 2.2 mm ("Sättigungskapazität")
-

1. Clark O.R., 1937
 2. Weizen, vollentwickelt
 3. 5 Rinnen (100 x 4 x 5 cm) verteilt auf 1 m²; künstlicher Niederschlag (25 mm Stunde⁻¹ und weniger); Ns miteinbezogen; meteorologische Begleitmessungen
 4. Ni = 50% bis knapp 80% No (Rückhaltekapazität)
Ns-Komponente gering
-

1. Clark O.R., 1940
 2. zr. Gesellschaften; Angaben für *Andropogon furcatus*, LAI = 6.3
 3. 5 Rinnen (100 x 4 x 5 cm) verteilt auf 1 m²; Ns miteinbezogen; meteorologische Begleitmessungen
a: künstlicher Niederschlag
b: Freilandniederschlag
 4. Ad a: Nimax = 2.33 mm max. Rückhaltekapazität (Bestandeshöhe 60 cm)
Ad b: Nimin = 63% No (bei 30 mm Niederschlag) bis
Nimax = 97% No (bei 1.5 mm Niederschlag); Bestandeshöhen um 60 cm
Geringe Ns-Mengen werden angenommen, ohne quantifiziertem Nachweis
-

1. v. Eimern J., 1964
 2. Lockerer Weizen- und dichter Gerstebestand
 3. 16 Kleinregennmesser verteilt
 4. Nd = 77% No bei Weizen
Nd = 49% No bei Gerste
-

1. Fardjah M. und Lemee G., 1980
 2. *Calamagrostis epigeios* - 2 Vergrasungen, Mittel der oberirdischen Biomasse: 300 g·m⁻² (lebende und aufrechte abgestorbene Materie)
 3. a: Laborermittlung der Rückhaltekapazität über Tauchversuche
b: Freilandmessung mit 20 Regenmessern a' 56 cm² Auffangfläche
 4. Ad a: Ni = 0.4 mm oder 1.33 g·g⁻¹ trockene-Masse
Ad b: Nd = 55% No (gemessen), Ns = 37% No (rechnerisch ermittelt), daher Ni = 8% (Jahresmittel)
-

1. Haynes J.L., 1940
 2. Mais (3.46 Pflanzen · m⁻², LAI = 2.4 incl. Stieloberfläche, Deckungsgrad 55% - 65%), Blaugras (LAI = 12.9 incl. Stieloberfläche und abgestorbenes Material, Deckungsgrad 100%, Bestandeshöhe 46 cm), andere
 3. Wannen (107 x 107 x 10cm) zwischen Maisreihen, Stielabflußmanschetten; Rinnen (61 x 2.7 x 2.5 cm) im Grasbestand; eigene Ns-Untersuchung
 4. Mais: Nd = 70% No, Ns = 23% No; Ni daher 7% No
Blaugras: Nd = 84% No ohne bzw. 46% und 39% No mit Einbezug der abgestorbenen Bestandesschicht in die Messungen
Ns war im Grasbestand bei Messungen von No bis 1.3 mm nicht nachweisbar; für ergiebigere Ereignisse wird eine Stielabflußkomponente angenommen
-

1. Horton R.E., 1919
 2. Roggen
 3. 2 Ereignisuntersuchungen mit bodennahen Sammelgefäßen
 4. No = 46.2 mm, Ni = 6.9 mm (15%)
No = 6.9 mm, Ni = 3.9 mm (57%)
Formeln für die Interzeptionsberechnung
-

1. v. Hoyningen-Huene J., 1981
 2. Weizen-, Roggen-, Hafer-, Maisfeld (unterschiedliche Bestandesdichten)
 3. Mais: 3-6 Rinnen a' 0,25 m²; Stielabflußmanschetten;
Getreide: pro Bestand 8 Rinnen (Weizen, Gerste: 50 x 5 cm, Roggen, Hafer 100 x 5 cm); Stielabflußermittlung an Sträußen
 4. Nimax = 3.0 mm Hafer bei LAI 3.5 (mit Rispe)
2.1 mm Weizen grün, LAI 2.5
1.4 mm Mais 4 Pfl. · m⁻², LAI 1.2
2.5 mm 8 Pfl. · m⁻², LAI 2.4
3.0 mm 12 Pfl. · m⁻², LAI 3.6
6.0 mm 36 Pfl. · m⁻², LAI 9.0
Ns ca. 20% No bei Mais (4-12 Pfl. m⁻²), ca. 14% No bei Roggen, ca. 17% No bei Weizen und ca. 30% No bei Hafer
-

1. Merriam R., 1961
 2. Annual Ryegrass; gleichförmige 10-48 cm hohe Bestände
 3. 8 bodenversiegelte Probeflächen mit je 20 cm Durchmesser;
künstlicher Niederschlag
 4. $N_i = 0.4 \text{ mm}$ bei 10 cm, 2.8 mm bei 48 cm Bestandeshöhe
("Surface storage")
-

1. Musgrave G.W. und Norton R.A., 1937
 2. Maisfeld
 3. 12 Gefäße à 10.5 l im Boden eingesenkt
 4. $N_d = 72\%$ N_o (Mittel August - Oktober)
-

1. Pearce A.J. et al., 1984
 2. Tussock grassland (Neuseeland)
 3. Wasserbilanzuntersuchungen eines Einzugsgebietes
 4. $N_i = 20\%$ (5%) N_o ; Evaporationsrate eines nassen Grasbestandes: 0.2 (0.05) $\text{mm} \cdot \text{Stunde}^{-1}$
-

1. Reimann et al., 1945
 2. Maisfeld
 3. Rinnen (102 x 12.7 x 17.8 cm) zwischen den Reihen
 4. $N_d = 81\%$ N_o bzw. 61% N_o August
 87% N_o bzw. 73% N_o September 1944 bzw. 1945
-

1. Rijtema P.E., 1965
 2. Grasgesellschaft (Niederlande); Bestandeshöhe 16-20 cm
 3. Lysimeteruntersuchung im Labor (Schnellwägmethode)
 4. $N_{\text{imax}} = \text{ca. } 1.9 \text{ mm}$
-

1. Stoltenberg N.L. und Wilson T.V., 1950
 2. Mais; vollentwickelte Pflanzen
 3. Künstliche Beregnung einzelner Pflanzen ($254 \text{ mm} \cdot \text{Stunde}^{-1}$,
40 - 60 Minuten lang) - Wägmethode und Hochrechnung auf
Pflanzendichten von $3.7 \text{ Pfl.} \cdot \text{m}^{-2}$
 4. $N_{\text{imax}} = 0.56 - 0.61 \text{ mm}$ (grün, voll turgeszent)
 $N_{\text{imax}} = 0.46 \text{ mm}$ (feldtrockener Erntezustand)
-

9. LITERATURVERZEICHNIS

- ADAMS J.E., J.T. RITCHIE, E. BURNETT und D.W. FRYREAR, 1969:
Evaporation aus einer künstlichen Bodenspalte.
Proc. Soil Sci. Soc. Am., 33. Jg., S 609 - 613.
- BARFIELD B.J., F.A. PAYNE und J.N. WALKER, 1973: Surface water
storage capacity of selected crop leaves under irrigation
sprays.
Agr. Met., 12. Jg., S 105 - 111.
- BAUMGARTNER A., 1956: Über die Unterschiede in den klimatischen
Wuchsbedingungen einer freien und einer birkenüberstell-
ten Wiederaufforstungsfläche.
Forstwiss. Cbl., 75. Jg., S 223 - 242.
- van BAVEL C.H.M., L.J. FRITSCHEN und W.E. REEVES, 1963: Trans-
piration by Sudangrass as an externally controlled pro-
cess.
Science, 141. Jg., S 269 - 270.
- BEARD J.S., 1955: Hydrological studies in the Natal Wattle Belt.
Journ. S.A. For. Assoc., S 40 - 51.
- BEARD J.S., 1956: Results of the mountain home rainfall inter-
ception and infiltration project in Black Wattle, 1953/54.
Journ. S.A. For. Assoc., S 72 - 85.
- BENECKE P., 1972: Der Wasserhaushalt von Buchenbeständen des
Sollings.
Der Forst- u. Holzwirt, 27. Jg., S 48 - 52.
- BERGEL D., 1973: Untersuchungen über Randwirkungen in Versuchs-
flächen im Jungbestandsstadium.
Forstarchiv, 44. Jg., S 234 - 237.

- BERGMANN H.-J., 1971: Die Eignung des Trockengewichtes, des Zuwachses, des 100-Nadelgewichtes und des Wurzelhalsdurchmessers als Weiser zur Bestimmung der Resistenz von 1- bis 3-jährigen Kiefern gegenüber Herbiziden. Arch. Forstw., Bd. 20, S 39 - 49.
- BERGMANN J.-H., 1990: Der Einfluß des Sandrohrs (*Calamagrostis epigeios*) auf das Kiefernwachstum unter Bedingungen starker Stickstoffimmissionen Beitr. f. d. Forstwirtschaft., Heft 1, S 12 - 15.
- BLUME H.-P. und U. ZIMMERMANN, 1975: Zum Einfluß landwirtschaftlicher und forstlicher Nutzung auf die Wasser- und Luftverhältnisse typischer Böden aus Löß Nordwürttembergs. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., Heft 6, S 541 - 550.
- BRAUN H.J., 1974: Rhythmus und Größe von Wachstum, Wasserverbrauch und Produktivität des Wasserverbrauches bei Holzpflanzen. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 145. Jg., Heft 5, S 81 - 85.
- BULATKIN G.A., V.P. UCHVATOV und YU.A. MAXIMOVICH, 1980: Transformation of chemical composition of atmospheric precipitation by winter wheat canopy. Report of the Scientific Centre of Biologic. Research of the Acad. of Sciences of the USSR in Pushchino, 18 S.
- BURGY R.H. und C.R. POMEROY, 1958: Interception losses in grassy vegetation. Trans. Amer. Geophys. Union, 39.Jg., Nr.6, S 1095 - 1100.
- BURSCHEL P. und J. SCHMALTZ, 1965: Untersuchungen über die Bedeutung von Unkraut- und Altholzkonkurrenz für junge Buchen. Forstwiss. Cbl., 84. Jg., S 241 - 243.

BUTLER D.R. und S.C. KING, 1982, I: An inexpensive balance for measuring throughfall in cereals.
Agric. Meteorol., 27. Jg., S 233 - 240.

BUTLER D.R. und S.C. KING, 1982, II: Rainfall interception in wheat.
Long Ashton Res. Station, Annual Rep. 1981 (in press),
S 80 - 81.

CARTER G.A., J.H. MILLER, D.E. DAVIS und R.M. PATTERSON, 1984:
Effect of vegetative competition on the moisture and
nutrient status of loblolly pine.
Can. J. For. Res., 14. Jg., S 1 - 9.

CHROUST L. und Z. HARTMAN, 1978: Vyznam hustoty smrkovych kultur
pro hospodareni s vodou.
Lesnicka prace, S 408 - 410.

CLARK O.R., 1937: Interception of rainfall by herbaceous vegetation.
Science, 86. Jg., Nr. 2243, S 591 - 592.

CLARK O.R., 1940: Interception of rainfall by Prairie grasses,
weeds, and certain crop plants.
Ecol. Monog., 10. Jg., Nr. 2, S 245 - 277.

DAHLMANN R. und C. KUCERA, 1965: Root productivity and turnover
in native prairie.
Ecology, 46. Jg., Nr. 1/2, S 84 - 89.

DIMITRI L., O. VAUPEL und H.J. RAPP, 1982: Untersuchungen über
die Wirkung verschiedener Pflege- und Schutzmaßnahmen auf
die Entwicklung von Fichtenkulturen.
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 153. Jg., Heft 3, S 37 - 50.

DVWK (Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau):
Merkblätter zur Wasserwirtschaft, 211/1986: Ermittlung
des Interzeptionsverlustes in Waldbeständen bei Regen.
Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, S 1 - 11.

- EHLERS W., 1975: Einfluß von Wassergehalt, Struktur und Wurzel-
dichte auf die Wasseraufnahme von Weizen auf Löß-Para-
braunerde.
Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 22. Jg., S 141.
- van EIMERN J., 1964: Untersuchungen über das Klima in Pflanzen-
beständen.
Ber. Dt. Wetterd., Nr. 96, 76 S.
- ELLIS F. und B. BARNES, 1973: Estimation of the distribution of
living roots of plants under field conditions.
Plant and Soil, Nr. 39, S 81 - 91.
- EVANS F., 1972: The quantitative analysis of plant growth.
Blackwell scientific publications, Oxford, London,
S 133 - 139.
- FAILLE A., 1977, I: Action des peuplements de Calamagrostis
epigeios (L.) Roth, dans la dynamique des écosystèmes de
la forêt de Fontainebleau. I. Role dans le cycle de la
matière organique et des bioéléments majeurs.
Bull. Ecol., t. 8, 1, S 11 - 21.
- FAILLE A., 1977, II: Action des peuplements de Calamagrostis
epigeios (L.) Roth, dans la dynamique des écosystèmes de
la forêt de Fontainebleau. II. Influence sur quelques
caractères des humus et leurs activités microbiennes.
Revue d'Ecologie et de Biologie du Sol, t. 14, 2, S 289 -
306.
- FAILLE A. und M. FARDJAH, 1977: Structure et évolution des
peuplements de Calamagrostis epigeios (L.) Roth, en forêt
de Fontainebleau.
Oecol. Plant., 12 (4): S 323 - 341.
- FARDJAH M. und G. LEMEE, 1980: Dynamique comparée de l'eau sous
hetraie et dans des coupes nues ou a Calamagrostis
epigeios en forêt de Fontainebleau.
Bull. Ecol., t. 11, 1, S 11 - 31.

- FIEDLER H.J., W. NEBE und F. HOFFMANN, 1973: Forstliche Pflanzenernährung und Düngung.
Fischer-Verlag, Stuttgart, 481 S.
- FLEMMING G., 1962: Strahlung und Wind an Waldbestandsrändern.
Arch. Forstw., 11. Bd., Heft 6, S 647 - 656.
- FLEMMING G., 1964: Das Klima an Waldbestandsrändern.
Abh. Meteor. u. Hydrol. Dienstes d. DDR, Nr. 71, Akad. Verlag, Berlin, 75 S.
- FLÜHLER H., P. GERMANN P., F. RICHARD und J. LEUENBERGER, 1976: Bestimmung von hydraulischen Parametern für die Wasserhaushaltsuntersuchungen im natürlich gelagerten Boden. Ein Vergleich von Feld- und Laboratoriumsmethoden.
Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., Heft 3, S 329 - 342.
- FOLLAND C.K., 1986: A simple numerical model of the loss of rainfall due to wind from a conically-shaped collector and a suggested new collector shape.
In: SEVRUK B. (ed.), Correction of Precipitation Measurements (Proc. WMO/IAHS Workshop on the Correction of Precipitation Measurements, Zurich, 1-3 April 1985), ETH Zürich, Mitt. 23, S 233 - 238.
- GEIGER R., 1936: Weitere Bemerkungen zum Kleinklima am Bestandesrand.
Forstwiss. Cbl., 58. Jg., S 262 - 266.
- GEYGER E., 1971: Green area indices of grassland communities and agricultural crops under different fertilizing conditions
Ecol. Studies 2, Springer N.Y. Ellenberg Ed., S 68 - 71.
- GJERSTAD D.H., L.R. NELSON, J.H. DUKES und W.A. RETZLAFF, 1984: Growth response and physiology of tree seedlings as affected by weed control.
In: Duryea M.L. und G.N. Brown (eds.), Seedling physiology and reforestation succes. M. Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, Boston, London, S 247 - 257.

- GLATZEL G., 1976: Mineralstoffernährung und Wasserhaushalt von Fichtenpflanzen.
Habil. Schrift, Univ. f. Bodenkultur Wien, 84 S.
- GLATZEL G., 1982: Standortskundliche Untersuchungen zur Frage der Bewirtschaftung von Stagnogleywaldstandorten im südöstlichen Österreich.
Cbl. ges. Forstw., 99. Jg., Heft 2, S 65 - 88.
- GRAH R.F. und C.C. WILSON, 1944: Some components of rainfall interception.
J. For., 42. Jg., S 890 - 898.
- GREENWOOD E.A.N., L. KLEIN, J.D. BERESFORD und G.D. WATSON, 1985: Differences in annual evaporation between grazed pasture and eucalyptus species in plantations on a saline farm catchment.
J. Hydrol., 78, S 261 - 278.
- GRUNOW J., 1965: Die Niederschlagszurückhaltung in einem Fichtenbestand am Hohenpeißenberg und ihre meßtechnische Erfassung.
Forstwiss. Cbl., 84. Jg., S 212 - 229.
- GÜRTH P., 1970: Wachstum und Wasserhaushalt von Fichtenverschulpflanzen unterschiedlicher Qualität nach der Verpflanzung in das Freiland.
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 141. Jg., Heft 8/9, S 160 - 172.
- GÜRTH P., 1976: Forstpflanzen und Kulturerfolg - eine Literaturübersicht.
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 147. Jg., Heft 12, S 240 - 246.
- GÜRTH P., 1977: Bodenfeuchte, Bodentemperatur und Kulturerfolg bei Winkel- und Lochpflanzung von Fichte.
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 148. Jg., Heft 10/11, S 207 - 214.

- HABENBERGER R., 1987: Forstschutzmittel - Ökologische und waldwirtschaftliche Aspekte.
Dipl. Arbeit, Univ. Bodenkultur, Wien, 126 S.
- HÄDRICH F. und J. HEUVELDOP, 1978: Untersuchungen zur Bodenverdunstung in einem Waldbestand.
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 149. Jg., Heft 1, S 1 - 18.
- HAGER H., 1988: Stammzahlreduktion. Die Auswirkungen auf Wasser-Energie- und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen.
Forstliche Schriftenreihe d. Univ. f. Bodenkultur Wien, Bd. I, 189 S.
- HALL D.G.M. und R.J.A. JONES, 1983: Soil moisture changes under grassland as measured by neutron probe in midland England.
J. agric. Sci., Camb., Bd. 101, S 481 - 493.
- HANSCHKE D., 1968: Zur Frage der Unkrautkonkurrenz und ihrer Erfassung.
Der Forst- und Holzwirt, Nr. 21, S 434 - 439.
- HAVRANEK W.M. und U. BENECKE, 1978: The influence of soil moisture on water potential, transpiration and photosynthesis of conifer seedlings.
Plant and Soil, 49. Jg., S 91 - 103.
- HAYNES J.L., 1940: Ground rainfall under vegetative canopy of crops.
J. Amer. Soc. Agron., 32. Jg., S 176 - 184.
- HEINRICH F., 1950: Zur Wirkung einer Bodendecke auf den Verdunstungsvorgang.
Forstwiss. Cbl., 69. Jg., Heft 7, S 369 - 373.
- HEINSDORF D., 1973: Der Einfluß der Jahreswitterung auf den Nährstoffgehalt der Nadeln und das Wachstum ungedüngter Kiefernjungwüchse
Beitr. f. d. Forstwirtsch., Heft 2, S 75 - 83.

- HEINSDORF D., 1978: Einfluß unterschiedlicher Vergrasung durch *Deschampsia flexuosa* auf Ernährungszustand und Wachstum gedüngter und ungedüngter Kiefern- und Roteichenkulturen. Beitr. f. d. Forstwirtschaft., Heft 3, S 107 - 113.
- HELVEY J.D. und J.H. PATRIC, 1983: Sampling accuracy of pit vs. standard rain gages on the fernow experimental forest. Water Res. Bull., 19. Jg., Nr. 1, S 87 - 89.
- HESMER H. und K.-H. GÜNTHER, 1968: Kulturversuche und Aufforstungserfahrungen auf Pseudogleyböden des Kottenforstes (2. Teil: Nadelholzanbau). Forstarchiv, 39. Jg., Heft 1, S 1 - 23.
- HETSCH W. und K. HEILIG, 1981: Der Wasserhaushalt von Fichte in Abhängigkeit von Boden und Atmosphäre. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., Bd. 144, S 317 - 330.
- HEUVELDOP J., 1973: Die Größe der Interzeptionsverdunstung in Fichtenkronen abhängig von einzelnen klimatischen Faktoren. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 144. Jg., Heft 2, S 35 - 41.
- HOHNE H. und FIEDLER H.J., 1963: Über den Einfluß des Entwicklungszustandes von Waldgräsern auf ihren Gehalt an Mineralstoffen und Stickstoff. Arch. Forstw., Bd. 12, Heft 7, S 676 - 696.
- HOFFMANN H.D., 1982: Die Interzeption einer Fichtenstreudecke im Freiland und im Bestand. Beitr. z. Hydrologie, Sh. 4, S 103 - 116.
- HOLMES J.W. und E.B. WRONSKI, 1981: The influence of plant communities upon the hydrology of catchments. Agric. Water Manage., 4. Jg., S 19 - 34.
- HORTON R.E., 1919: Rainfall interception. Monthly Weather Review, 47. Jg., Nr. 9, S 603 - 623.

van HOYNINGEN-HUENE J., 1981: Die Interzeption des Niederschlags in landwirtschaftlichen Pflanzenbeständen.

Arbeitsbericht Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau, DVWK, Braunschweig, 71 S.

HUSS J., 1973: Fortschritte im Waldbau mit Hilfe von Versuchen.

Allg. Forstzeitschr. (München), Nr. 28, S 474 - 477.

HUSS J., 1982: Die Bekämpfung der Konkurrenzvegetation von Waldverjüngungen in der forstlichen Praxis.

Allg. Forstzeitschr. Nr. 14, S 398 - 400.

HUSS J. und R. WACHENDORFF, 1977: Leisten mechanische oder chemische Pflegemaßnahmen eine wesentliche Hilfe bei der Entwicklung von Fichten und Kiefernkulturen?

Forsttechn. Informationen, 29. Jg., Nr. 2, S 9 - 13.

JARVIS P.G. und M.S. JARVIS, 1963: The water relations of tree seedlings (I,II).

Physiol. Plant., 16. Jg., S 215 - 253.

JUNGHANS H., 1966: Sonne und Schatten am Bestandsrand.

Arch. Forstw., Bd. 15, Heft 4, S. 441-451.

KOZLOWSKI T., 1979: Tree growth and environmental stresses.

The Geo. S. Long Publication Series, Univ. of Washington Press, Seattle and London, 192 S.

LANZ W., 1974: Zur Pflege von Kiefern- und Douglasien (Fi)-Kulturen auf diluvialen Sandstandorten.

Allg. Forstzeitschr., 29. Jg., Nr. 11, S 211 - 214.

LEONARD R.E., 1967: Mathematical theory of interception.

In: Sopper W.E. und H.W. LULL (Hersg.), Int. Symp. on For. Hydr. Penn. State Univ., Aug.29 - Sept.10 1965, Pergamon Press, N.Y., S 131 - 136.

- LEYTON L., E.R.C. REYNOLDS und F.B. THOMPSON, 1967: Rainfall interception in forest and moorland.
In: Sopper W.E. und H.W. Lull (Hersg.), Int. Symp. on For. Hydr. Penn. State Univ., Aug.29 - Sept.10 1965, Pergamon Press, N.Y., S 163 - 178.
- LIN Chü-San P., 1968: Einflüsse verschiedener Pflanzenbestände auf den Wasserhaushalt in einem Einzugsgebiet.
Diss. Lud.-Max. Univ. München, 108 S.
- LINKE F. und F. BAUR, 1970: Meteorologisches Taschenbuch, Band 2. Akad. Verlagsges. Geest & Portig, 2. Aufl., Leipzig, 712 S.
- LOPUSHINSKY, W. und G.O. KLOCK, 1974: Transpiration of conifer seedlings in relation to soil water potential.
Forest Sci., 20. Jg., S 181 - 186.
- LOWDERMILK W.C., 1930: Influence of forest litter on run-off, percolation, and erosion.
J. For., 38. Jg., Nr. 4, S 474 - 491.
- LÜTZKE R., 1969: Wasserverbrauch und Energieumsatz eines Kiefernbestandes und einer Wiese.
Arch. Forstw., Bd. 18, Heft 9/10, S 921 - 927.
- LÜTZKE R. und K.-H. SIMON, 1975: Zur Bilanzierung des Wasserhaushalts von Waldbeständen auf Sandstandorten der DDR.
Beitr. f. d. Forstwirtschaft., 9. Jg., Heft 1, S 5 - 12.
- LÜTZKE R. und K.-H. SIMON, 1981: Untersuchungen mit Großlysimetern zur Grundwasserneubildung und zum Stoffgehalt des Sickerwassers unter Forstkulturen auf Sandböden.
Beitr. f. d. Forstwirtschaft., 15. Jg., Heft 1, S 19 - 23.
- McMILLAN W.D. und R.H. BURGY, 1960: Interception loss from grass.
J. geophys. Res., 65. Jg., Nr. 8, S 2389 - 2394.

- MERRIAM R.A., 1961: Surface Water Storage on Annual Ryegrass.
J. geophys. Res., 66. Jg., Nr. 6, S 1833 - 1838.
- MILLBACHER E., 1987: Blattflächen- und Biomassenentwicklung sowie Nährstoffhaushalt einer Vergrasung mit Calamagrostis epigeios in einer Fichtenaufforstung auf Pseudogley.
Dipl. Arbeit, Univ. Bodenkultur, Wien, 89 S.
- MITSCHERLICH G., 1981: Wald, Wachstum und Umwelt (2. Band: Waldklima und Wasserhaushalt).
2. Auflage, J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt, 402 S.
- MITSCHERLICH G., W. MOLL, E. KÜNSTLE und P. MAURER, 1966:
Ertragskundlich-ökologische Untersuchungen im Rein- und Mischbestand.
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 137. Jg., Heft 1, S 1 - 13.
- MOLCHANOV A.A., 1960: The hydrological role of forests.
Isrl. Prgm. of Sci. Translation, Jerusalem, 1963, 407 S.
- MÜNCH W.D., 1973, I: Zur Frage der Beeinflussung des Zuwachses von Forstkulturen durch Unkraut.
Nachrichtenbl. Deutsch. Pflanzenschutzd., S 134 - 138.
- MÜNCH W.D., 1973, II: Zur Eignung von Wurzelhalsdurchmesser und 100-Nadelgewicht als Meßgrößen für Zuwachsuntersuchungen in Forstkulturen nach Anwendung von Pflanzenschutzmitteln.
Anz. Schädlingsskde, Pflanzen- u. Umweltschutz, 46. Jg., Heft 5, S 65 - 69.
- MUHLE O. und J. HUSS, 1972: Die Wirkung von Freischneidemaßnahmen bei verschiedenen Terminen auf das Wachstum junger Fichten.
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 143. Jg., Heft 12, S 253 - 260.

- MUSGRAVE G.W. und R.A. NORTON, 1937: Soil and water conservation investigations.
Technical Bulletin (U.S. Dep. Agr.), No. 558, 182 S.
- OLBERG R., 1974: Wie reagieren Fichten-Kulturen auf Unkraut-bekämpfung?
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 145. Jg., Heft 10/11, S 212 - 219.
- OLBERG-KALLFASS R., 1979: Zur Reaktion von Fichten auf Unkraut-bekämpfung in der Kultur.
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 150. Jg., Heft 10, S 191 - 195.
- OLBERG-KALLFASS R., 1982: Kann die Bekämpfung von starkem Him-beerwuchs in Fichtenkulturen eingeschränkt werden?
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 153. Jg., Heft 3, S 51 - 54.
- PEARCE A.J., ROWE L.K. et O'LOUGHLIN C.L., 1984: Hydrology of mid-altitude tussock grasslands, upper Waipori catchment: II - Water balance, flow duration and storm runoff.
J. Hydrol. (N.Z.), 23. Jg., Nr. 2, S 60-72.
- PEER H., 1976: Experimentelle Untersuchungen zur Konkurrenzkraft von Forstunkräutern auf Fichten.
Forstwiss. Cbl., 95. Jg., Nr. 3, S 149 - 165.
- PENMAN H.L., 1948: Natural evaporation from open water, bare soil and grass.
Proc. Roy. Soc. London A, 193, S 120 - 145.
- RADOSEVICH S.R., 1984: Interference between greenleaf manzanita (Arctostaphylos patula) and ponderosa pine (Pinus ponderosa).
In: Duryea M.L. und G.N. Brown (eds.), Seedling physiology and reforestation success.
M. Nijhoff/Dr. W. Junk Publishers, Dordrecht, Boston, London, S 259 - 270.

- REIMANN E.G., C.A. van DOREN und R.S. STAUFFER, 1945:
Soil moisture relationships during crop production.
Soil Sci. Soc. Am. Proc., 10. Jg., S 41 - 46.
- RENGER M., O. STREBEL, G. WESSOLEK und W.H.M. DUYNISVELD, 1986:
Evapotranspiration and groundwater recharge - A case
study for different climate, crop patterns, soil proper-
ties and groundwater depth conditions.
Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., Bd. 149, S 371 - 381.
- RICHARDS S.J., 1965: Soil suction measurements with tensiometers.
In: Black C.A. (Ed.): Methods of Soil Analysis, Part 1,
Amer. Soc. Agronomy, Madison, Wisconsin, USA, 770 S.
- RIJTEMA P.E., 1965: An analysis of actual evapotranspiration.
Agricultural Research Reports no. 659. Centre for Agri-
cultural Publications and Documentation, Wageningen,
107 S.
- ROBSON M., 1973: The growth and development of simulated swards
of perennial Ryegrass. I. Leaf growth and dry weight
change as related to the ceiling yield of a seedling
sward.
Ann. Bot., Nr. 37, S 487 - 500.
- RODDA J.C., S.W. SMITH und I.C. STRANGEWAYS, 1986: On more
realistic measurements of rainfall and their impact on
assessing acid deposition.
In: SEVRUK B. (ed.), Correction of Precipitation Measure-
ments (Proc. WMO/IAHS Workshop on the Correction of Pre-
cipitation Measurements, Zurich, 1-3 April 1985), ETH
Zürich, Mitt. 23, S 245 - 249.
- ROEDIGER K.-J., 1968: Welchen Einfluß hat die chemische Kultur-
reinigung auf das Wachstum der Kulturen?
Der Forst- u. Holzwirt, 23. Jg., Nr. 5, S 82 - 84.

- ROWE P.B., 1955: Effects of the forest floor on disposition of rainfall in pine stands.
J. For., 53. Jg., S 342 - 351.
- RUTTER A.J., 1964: Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. II. The annual cycle of soil moisture change and derived estimates of evaporation.
J. Appl. Ecol., Bd. 1, S 29 - 44.
- RUTTER A.J. und D.F. FOURT, 1965: Studies in the water relations of *Pinus sylvestris* in plantation conditions. III. A comparison of soil water changes and estimates of total evaporation on four afforested sites and one grass-covered site.
J. Appl. Ecol., Bd. 2, S 197 - 209.
- SAN JOSE J., F. BERRADE und J. RAMIREZ, 1982: Seasonal changes of growth, mortality and disappearance of belowground root biomass in the *Trachypogon* savanna grass.
Acta Oecologica/Oecol. Plant., 3. Jg. (17), Nr. 4, S 347 - 358.
- SANDS R. und E.K.S. NAMBIAR, 1984: Water relations of *Pinus radiata* in competition with weeds.
Can. J. For. Res., 14. Jg., S 233 - 237.
- SANDS K. und RUTTER A.J., 1959: Studies in the growth of young plants of *Pinus sylvestris* L.
Ann. Bot., N.S., 23. Jg., Nr. 90, S 269-284.
- SATOR Ch. und D. BOMMER, 1971: Methodological studies to distinguish functional from non-functional roots of grassland plants.
Ecolog. Studies 2, Springer N.Y., Ellenberg Ed., S 71 - 74.

- SAUBERER F., 1937: Über die Entstehung des Grasfrostes.
Bioklimatol. Beiblätter, S 174 - 177.
- SCHAFFER F.X., 1951: Geologie von Österreich.
Franz Deuticke, Wien, S 64 - 69, 48 - 52, 57.
- SCHEWCZIK K., 1975: Saugspannungs- und Wassergehaltsbestimmungen
in einem schweren Boden.
Dipl. Arbeit, Univ. Bodenkultur, Wien, S 4, 8, 48 - 49.
- SCHMIDT-VOGT H., 1970: Vergleichende Versuche zur Loch- und
Winkelpflanzung bei Fichte.
Der Forst- und Holzwirt, 25. Jg., Nr. 5, S 81 - 83.
- SCHULIN R. und F. RICHARD, 1984: Zusammenhänge zwischen Ent-
wässerbarkeit von Naßböden, makromorphologischen Boden-
merkmalen und Anwuchserfolg der Fichte.
Schweiz. Zeitschr. f. Forstw., 135. Jg., S 833 - 845.
- SCHUSTER J., 1964: Root development of native plants under three
grazing intensities.
Ecology, 45. Jg., Nr. 1, S 63 - 70.
- SEVRUK B. (ed.), 1986: Correction of Precipitation Measurements.
Proc. WMO/IAHS Workshop on the Correction of Preci-
pitation Measurements, Zurich, 1-3 April 1985, ETH
Zürich, Mitt. 23, 288 S.
- SEVRUK B., 1986: Effect of wind and intensity of rain on the rain
catch.
In: SEVRUK B. (ed.), Correction of Precipitation Measure-
ments (Proc. WMO/IAHS Workshop on the Correction of
Precipitation Measurements, Zurich, 1-3 April 1985),
ETH Zürich, Mitt. 23, S. 251-255.
- SIGMOND J., 1912: Einige Beziehungen zwischen Wald und Wasser.
Cbl. ges. Forstw., 38. Jg., 2. Heft, S 55 - 69.

- SPEIDEL B. und A. WEISS, 1971: Primary production of a meadow (*Trisetetum flavescens hercynicum*) with different fertilizer treatments - preliminary report. *Ecolog. Studies* 2, Springer N.Y., Ellenberg Ed., S 61 - 67.
- STEINHAUSER F., O. ECKEL und F. LAUSCHER, 1958: *Klimatographie von Österreich*. Akad. d. Wiss., Springer Verlag, Bd. 3, 1. Lieferung, 136 S.
- STOLTENBERG N.L. und WILSON T.V., 1950: Interception storage of rainfall by corn plants. *Trans. Amer. Geophys. Union*, 31. Jg., Nr. 3, S. 443-448.
- THENIUS E., 1962: *Geologie der österreichischen Bundesländer in kurzgefaßten Einzeldarstellungen - Niederösterreich*. Geolog. Bundesanstalt, Wien, S 12 - 13.
- THOMASIUS H. und D. BRETSCHNEIDER, 1970: Studie über ein Verfahren zur Bestimmung der waldbaulich optimalen Schlagbreite bei der Baumart Fichte - dargestellt an Beispielen aus dem mittleren Erzgebirge. *Arch. Forstwes.*, Bd. 19, Heft 12, S 1269 - 1293.
- TOWNER G.D., 1980: Theory of time response of tensiometers. *J. Soil Sci.*, 31, S 607 - 621.
- TOWNER G.D., 1981: The correction of in situ tensiometer readings for overburden pressures in swelling soils. *J. Soil Sci.*, 32, S 499 - 504.
- TOWNER G.D., 1983: The effect of air bubbles on the response of tensiometers. *J. agric. Engng Res.*, 28, S 565 - 568.

- TROMBLE J.M., 1983: Interception of rainfall by creosotebush (*Larrea tridentata*).
Proc. 14. Int. Grassland Congr., Lexington, USA, 15.-
24.6. 1981 (ed. by Smith J.A., Hays V.W.), S 373 - 375.
- WEIHE J., 1974: Benetzung und Interzeption von Buchen- und Fichtenbeständen in Nordrhein-Westfalen.
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 145. Jg., Heft 2, S 30 - 40.
- WEIHE J., 1975: Benetzung und Interzeption von Buchen- und Fichtenbeständen in Nordrhein-Westfalen (Fortsetzung).
Allg. Forst- u. J.-Ztg., 146. Jg., Heft 12, S 236 - 240.
- WEIHE J., 1982: Die Ermittlung des Regenverlustes durch die Interzeption des Waldes.
Beitrg. z. Hydrologie, Sh. 4, S 49 - 59.
- WIEGERT R., 1962: The selection of an optimum quadrat size for sampling the standing crop of grasses and forbs.
Ecology, 43. Jg., Nr. 1, S 125 - 129.
- WIESER G., C. KÖRNER und A. CERNUSCA, 1984: Die Wasserbilanz von Graslandökosystemen in den österreichischen Alpen.
Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Bern 1982),
Band 12, S 89 - 99.
- WITTICH W., 1938: Wasserfaktor und Kiefernwirtschaft auf diluvialen Sandböden. Die Bedeutung der Bodendecke.
Z. f. F. u. Jw., 70. Jg., 7. Heft, S 337 - 389.
- WITTICH W., 1959: Die Verbesserung des Wasserhaushaltes durch Forstkulturmaßnahmen.
Allg. Forstzeitschr., 14.Jg., S 201 - 205.
- ZINKE P.J., 1967: Forest interception studies in the United States.
In: Sopper W.E. und H.W. Lull (Hersg.), Int. Symp. on For. Hydr. Penn. State Univ., Aug.29 - Sept.10 1965,
Pergamon Press, N.Y., S 137 - 161.

DANKSAGUNG

Die vorliegende Untersuchung wurde vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft freundlicherweise gefördert (Projekt-Nr. 56.810/21-VA 5/84). Für die Überlassung der Versuchsfläche möchte ich dem Grundeigentümer, Benediktinerstift Göttweig, und seinem Oberforstmeister Herrn Dr. W. Moser für sein Entgegenkommen danken.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. G. Glatzel, Vorstand des Institutes für Forstökologie, der mir die Durchführung dieser Arbeit ermöglichte. Besonders sei Herrn Doz. Dr. H. Hager gedankt, der mir stets mit Ratschlägen und Auskünften zur Verfügung stand.

Meiner Mutter und meiner Frau möchte ich für ihre Unterstützung und Geduld herzlich danken.