



FBVA-BERICHTE 115/2000

Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien  
Waldforschungszentrum

Untersuchungen zum  
Wasserhaushalt einzelner  
Waldstandorte im Leithagebirge

Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen  
im nordöstlichen Teil des Leithagebirges  
in den Jahren 1991 bis 1996

---

*Investigations on the Water Budget of  
Several Sites in the Leithagebirge*

*Results of Soil-Moisture Measurements in  
the North-Eastern Part of the Leithagebir-  
ge Hills in the Years 1991-1996*

K. GARTNER  
F. STARLINGER

FDK 114.122:114.124:116.125:(436)



BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT  
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT

*Das Lebensministerium*

**Empfohlene Zitierung:**

Untersuchungen zum Wasserhaushalt einzelner Waldstandorte im Leithagebirge  
– Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen im nordöstlichen Teil des Leitha-  
gebirges in den Jahren 1991 bis 1996 / K. Gartner; F. Starlinger. FBVA-Berichte;  
Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 2000, Nr. 115, 47 S.

ISSN 1013-0713

Copyright 2000 by  
Forstliche Bundesversuchsanstalt

Für den Inhalt verantwortlich :  
Direktor HR Dipl. Ing. Friedrich Ruhm

Herstellung und Druck :  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Waldforschungszentrum  
Seckendorff-Gudent Weg 8  
A-1131 Wien  
URL: <http://fbva.forvie.ac.at>  
URL: <http://www.fbva.bmlf.gv.at>

Anschrift für Tauschverkehr :  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Bibliothek  
E-mail: [gudrun.schmidberger@fbva.bmlf.gv.at](mailto:gudrun.schmidberger@fbva.bmlf.gv.at)  
Seckendorff-Gudent Weg 8  
A-1131 Wien

Tel. + 43-1-878 38 1216  
Fax. + 43-1-878 38 1250

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

## Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung .....	7
Abstract .....	7
<b>1 Einleitung .....</b>	<b>5</b>
<b>2 Untersuchungsgebiet und Meßflächen .....</b>	<b>6</b>
<b>3 Methoden .....</b>	<b>12</b>
3.1 Hydrologische Meßmethoden und Daten .....	12
3.1.1 Messungen mit der Neutronensonde .....	12
3.1.2 Messungen mit der TDR-Sonde .....	13
3.1.3 Messungen des Freiland- und Bestandesniederschlags .....	14
3.1.4 Bodenphysikalische Untersuchungen .....	15
3.2 Vegetationskundliche Methoden .....	16
3.3 Statistische und andere Berechnungsmethoden .....	16
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>16</b>
4.1 Allgemeine Charakterisierung der Feuchteverhältnisse an den einzelnen Meßflächen .....	16
4.1.1 Vergleich der vertikalen Profile mittels Neutronensondenmessung .....	17
4.1.1.1 Vergleich der Mittel- und Extremwerte .....	17
4.1.1.2 Gegenüberstellung der Bodenfeuchte in den einzelnen Tiefen .....	17
4.1.2 Vergleich der horizontalen Differenzierung mittels TDR-Sondenmessung .....	17
4.2 Bodenphysikalische Charakterisierung der Versuchsflächen .....	20
4.2.1 Allgemeines .....	20
4.2.2 Lagerungsdichte, nutzbare Wasserspeicherkapazität und Wassergehalt beim Welkepunkt .....	21
4.2.3 Gegenüberstellung der Bodenwasserpotentiale in den einzelnen Tiefen .....	22
4.3 Interzeption und Bestandesniederschlag .....	24
4.4 Hydrologische Zyklen der einzelnen Meßflächen .....	26
4.4.1 Neutronensondenmessungen .....	27
4.4.2 TDR-Sondenmessungen .....	28
4.5 Zeitliche Analyse der Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Witterung .....	28
4.5.1 Allgemeine Charakterisierung der Niederschlagsverhältnisse .....	28
4.5.2 Zeitlicher Verlauf der Bodenfeuchte in den einzelnen Jahren .....	29
4.5.2.1 Neutronensondenmessungen .....	29
4.5.2.2 TDR-Sondenmessungen .....	32
4.6 Vereinfachte Bodenwasserbilanzen der Versuchsflächen .....	33
4.6.1 Allgemeines .....	33
4.6.2 Klimatische Wasserbilanz und vereinfachte Bodenwasserbilanz .....	33
4.7 Feuchtezahlen nach Ellenberg .....	36
<b>5 Diskussion .....</b>	<b>37</b>
<b>6 Literatur .....</b>	<b>40</b>
<b>7 Anhang .....</b>	<b>42</b>



# Untersuchungen zum Wasserhaushalt einzelner Waldstandorte im Leithagebirge

## Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen im nordöstlichen Teil des Leithagebirges in den Jahren 1991-1996

K. GARTNER & F. STARLINGER

*Institut für Forstökologie, Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien*

**Kurzfassung:** Für sechs Meßflächen im Leithagebirge, einem Gebiet mit subkontinentalen Eichenmischwäldern, wird das Feuchteregime beschrieben. Wegen der in durchschnittlichen Sommern negativen klimatischen Wasserbilanz kommt es in den Bodenprofilen gegen Ende der Vegetationsperiode teilweise zum Austrocknen. Die Bodenfeuchte zeigt in ihrer vertikalen Verteilung Zusammenhänge mit dem Aufbau der Bodenprofile, insbesondere mit der Textur, und mit der Verteilung der Baumwurzeln im Profil. Weiters wird die kleinräumige Variation der Feuchteverhältnisse und das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Böden im Hinblick auf den jeweiligen Witterungsverlauf untersucht. Die Zusammenhänge zwischen den Feuchteverhältnissen auf den einzelnen Meßpunkten und der vorhandenen Bodenvegetation wurden mit Hilfe der ökologischen Zeigerwerte (Feuchtezahlen) nach ELLENBERG untersucht. Die Feuchtezahlen der Bodenvegetation weisen einerseits Korrelationen mit den Frühjahrswerten der Bodenfeuchte im Oberboden, andererseits mit den Spätsommerwerten im Unterboden auf. Schließlich wird eine vereinfachte Wasserbilanz für die jeweiligen Meßpunkte erstellt und abgeschätzt, wieviel vom vorhandenen Wasser tatsächlich für den Bestand verfügbar ist.

**Schlüsselworte:** Bodenfeuchte, klimatische Wasserbilanz, Wasserspannungskurve, ökologische Zeigerwerte, Bodenprofil

**Abstract.** [Investigations on the Water Budget of Several Sites in the Leithagebirge.] The study describes the soil moisture regime of six measurement plots in the Leithagebirge, an area with subcontinental mixed oak forests. As in normal summers there is a negative climatic water balance, the regarded soil profiles dry out towards the end of the vegetation period. The vertical patterns of the soil moisture are related to the structure of the soil profile, especially to the texture, and to the distribution of the tree roots in the profile. Additionally, the small scale variation of the soil moisture and the different behaviour of the individual soils in respect to the sequence of weather is analysed. The relationship between the moisture regime on the individual plots and the ground vegetation of these plots was investigated with the help of ELLENBERG's ecological indicator values (moisture values). The moisture values of the ground vegetation correlate significantly with the spring time values of the soil moisture in the upper soil and with the late summer values in the deeper soil. Finally, a simplified water budget for the individual plots is performed and the part of the existing water in the soil, which is available for the stand, is estimated.

**Keywords:** Soil moisture, climatic water balance, water retention curve, ecological indicator values, soil profile

### 1 Einleitung

Viele der in der Natur ablaufenden Vorgänge und Erscheinungen sind eng mit dem Wasser verbunden. Das Wasser ist für den Aufbau einer Zelle genauso unentbehrlich wie als Nahrungs- oder Reinigungsmittel, als Lösungs- oder Transportmittel oder als Energieträger und -regulierer (LEE 1980). Für ein Ökosystem wie den Wald ist das Wasser von

zentraler Bedeutung, da es bei praktisch allen lebenswichtigen Vorgängen unumgänglich ist.

Der Boden als Wasserspeicher nimmt dabei eine besonders wichtige Rolle ein. Je nach Beschaffenheit des Bodens wird das Wasser mehr oder weniger lang gespeichert bzw. von der Vegetation in unterschiedlichem Maße wieder aufgenommen. Diese Tatsache ist vor allem im Sommer entscheidend, da mehr Wasser verbraucht als durch den Niederschlag nachgeliefert wird. Der Wassergehalt des Bodens

beeinflusst somit unmittelbar das Wachstum und die Artenzusammensetzung der am jeweiligen Standort anzutreffenden Vegetation. Diese Differenzierung nach dem Wassergehalt wird um so stärker, je geringer die Niederschlagsmenge und das Wasserangebot sind, da die Versorgung mit Wasser allmählich zum begrenzenden Faktor wird und lokalstandörtliche Besonderheiten dadurch wesentlich stärkeren Einfluß auf Produktivität und Artenzusammensetzung der Vegetation bekommen. Die besonderen Verhältnisse an einem Standort können darüber entscheiden, ob trotz allgemein schlechter Wasserversorgung Pflanzen mit größerem Wasserbedarf noch gedeihen können oder nicht.

Das pannonische Gebiet des ostösterreichischen Tieflands zählt mit 500 bis 700 mm Jahresniederschlag (BOBEK ET AL. 1971) zu den trockensten Regionen in ganz Österreich. Das Leithagebirge, in dem sich das Untersuchungsgebiet befindet, liegt in dieser Region und bildet die Grenze zwischen dem Wiener Becken und der Kleinen Ungarischen Tiefebene. Es ragt gleichsam wie eine Insel aus dem Tiefland heraus.

Trotz der geringen Höhe (höchste Erhebung 484 m) weist das Leithagebirge eine starke Gliederung auf. Dadurch ist noch eine Verstärkung der Standortsdifferenzierung gegeben. Auch bei einer Standortskartierung im Revier Sommerein des damaligen Landwirtschaftlichen Bundesversuchsgutes Königshof (KARRER & KILIAN 1990) wurde dieser Sachverhalt festgestellt. In der zitierten Arbeit wurden 30 verschiedene Standortseinheiten auf einer Fläche von 652 ha ausgewiesen.

Klarerweise kann der Bodenwasserhaushalt nicht das einzige Kriterium für die Abgrenzung so vieler Standortseinheiten sein, doch spielt dieser bei praktisch allen modernen Standortskartierungsverfahren eine sehr wesentliche Rolle (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 1996 bzw. ENGLISCH & KILIAN 1998).

Um den bei dieser Kartierung nur in qualitativer Form erfaßten Wasserhaushalt (Verwendung von Wasserhaushaltsstufen) besser beschreiben und auch auftretende Probleme bei der Kartierung im Hinblick auf den Wasserhaushalt aufzeigen zu können, wurde der Bodenwasserhaushalt an sechs ausgewählten Punkten näher untersucht. Mit Hilfe von Messungen der Bodenfeuchte und des Niederschlags und zusätzlich durchgeführten Vegetationsaufnahmen wurde der Frage nachgegangen, wie sich die ausgewählten Standorte in ihrem Wasserangebot unterscheiden und inwieweit die Vegetation als Indikator für den Wasserhaushalt geeignet ist. Erste

Ergebnisse dazu finden sich schon bei GARTNER (1997).

In der vorliegenden Arbeit wird das Feuchteregime der einzelnen Meßflächen beschrieben und auf Wechselwirkungen zwischen Boden, Vegetation und Wasserhaushalt eingegangen. Weiters wird die kleinräumige Variation der Feuchteverhältnisse und das unterschiedliche Verhalten der einzelnen Böden im Hinblick auf den jeweiligen Witterungsverlauf untersucht. Schließlich wird eine vereinfachte Wasserbilanz für die jeweiligen Meßpunkte erstellt und abgeschätzt, wieviel vom vorhandenen Wasser tatsächlich für den Bestand verfügbar ist.

## 2 Untersuchungsgebiet und Meßflächen

Das Revier Sommerein des ehemaligen Landwirtschaftlichen Bundesversuchsgutes Königshof liegt im niederösterreichischen, nordöstlichen Teil des Leithagebirges zwischen den Ortschaften Sommerein und Kaisersteinbruch und umfaßt 652 ha (siehe Abbildung 1).

Die höchsten Lagen erreichen ca. 375 m, die niedrigsten etwa 200 m. Der relative Höhenunterschied zwischen der Niederung des Wiener Beckens und den Gipfellagen in diesem Teil des Leithagebirges erreicht maximal 200 m. Trotz des geringen Höhenunterschieds weist das Leithagebirge auch in diesem Bereich eine relativ starke Gliederung auf. Neben Plateaulagen und flachen Hängen gibt es sehr tief in das Gebirge reichende V-Täler mit steil abfallenden Flanken. Für die Bodenfeuchtemessungen wurden allerdings nur flache Hänge und Plateaulagen ausgewählt.

Das Revier Sommerein empfängt rund 650-700 mm Jahresniederschlag (KARRER & KILIAN 1990), wobei der weitaus größere Teil der Niederschläge, wie es für das pannonische Klima typisch ist, im Sommerhalbjahr fällt. Die durchschnittlichen Jahrestemperaturen liegen je nach Höhenlage zwischen 8,8 °C (im Kammbereich) und 10 °C (in der Niederung), wobei die Vegetationsperiode (Tagesmittel der Temperatur über 5 °C) im Schnitt 230 bis 240 Tage dauert.

Die Meßflächen (Tab. 1) liegen zwischen 230 m (Buchgraben) und 355 m (Kolmberg) Seehöhe. Sowohl der Fuß des Leithagebirges (Fläche 1), der Hangbereich (Fläche 2), als auch der Kammbereich (Flächen 3-6) sind mit Flächen vertreten. Wegen der

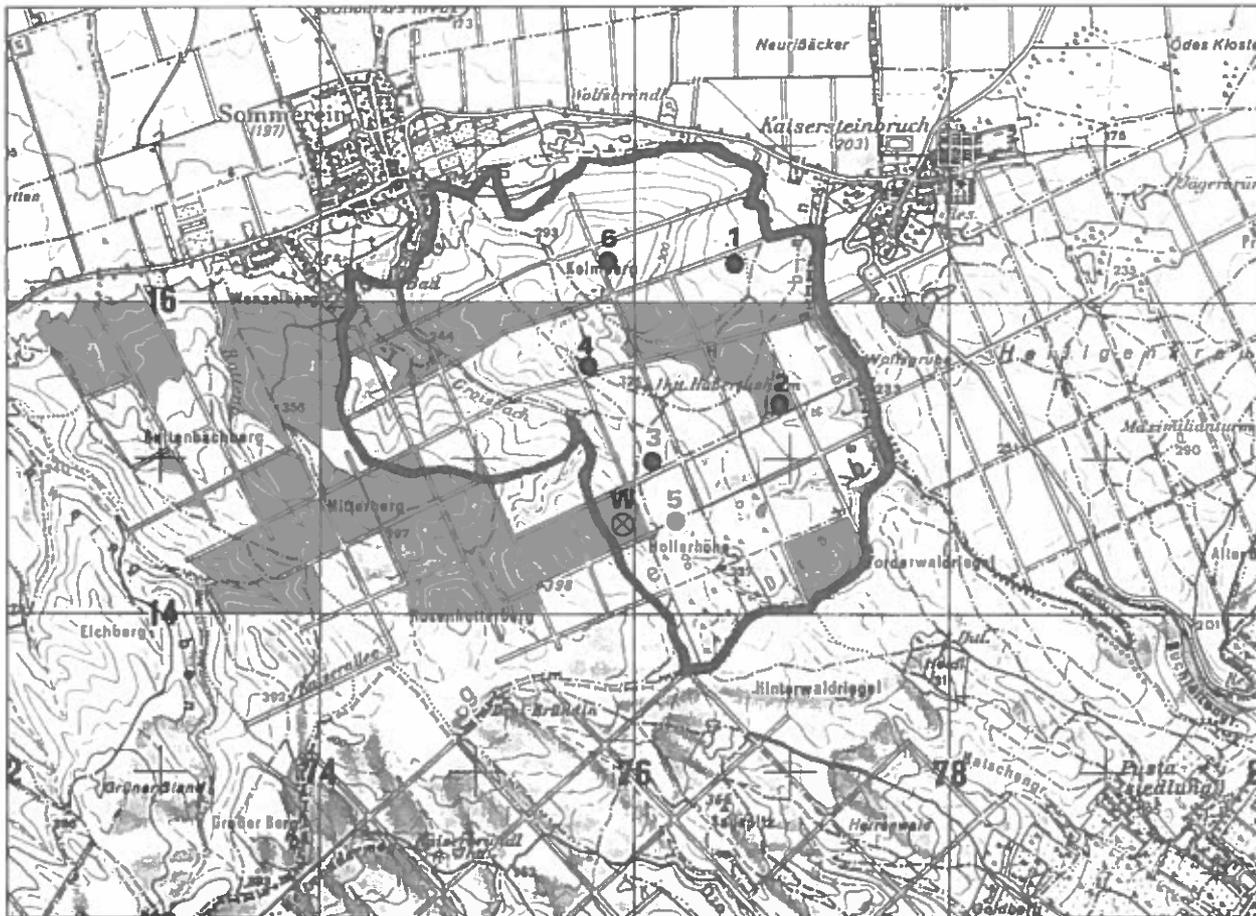


Abb. 1: Revier Sommerein mit der Lage der sechs Bodenfeuchtemeßflächen sowie der Wetterstation der Forstlichen Bundesversuchsanstalt (W). Ausschnitt aus der ÖK 1:50.000, Blatt 78.

Lage des Reviers auf der niederösterreichischen Seite des Leithagebirges sind Expositionen mit südlicher Komponente (SO bis SW) nicht vertreten. Die Hangneigung der Meßflächen selbst ist eher gering (0-8 %).

ähnlichen Untersuchung der Hydrologie im nahegelegenen Rosaliengebirge wurden ebenfalls nur geringe Abflußmengen aufgrund dichter Bewaldung und der sommerlichen Feuchtedefizite festgestellt (ULRICH ET AL. 1991). Die Bodenfeuchte wird somit vor allem durch Niederschlag und Verdunstung von Boden und Pflanzen bestimmt.

Tab. 1:  
Allgemeine Daten zu den einzelnen Meßflächen

Nr	Flurbezeichnung	Höhenstufe	Seehöhe	Exposition	Neigung	Geländeform
1	Buchgraben	kollin	230 m	NNO	6 %	Unterhang
2	Augustinerald	kollin	285 m	O	8 %	Mittelhang
3	Jägerwiesgraben	submontan	330 m	N	5 %	Mulde
4	Abgebrannte	submontan	340 m	eben	0 %	Verebnung
5	Hollerhöhe	submontan	345 m	W	4 %	Verebnung
6	Kolmberg	submontan	355 m	ONO	6 %	Kuppe

An den einzelnen Meßflächen wurden gegen Ende der Meßperiode Vegetationsaufnahmen und Beschreibungen der Bodenprofile durchgeführt. Die Vegetationsaufnahmen, sowie deren Zuordnung zu Standortseinheiten und Waldgesellschaften nach den Gliederungen von KARRER & KILIAN (1990) sind in Tab. 2 zusammengestellt. Die Meßflächen können folgenden Standortseinheiten zugeordnet werden:

- Standorte auf Leithakalk:
  - Standortseinheit 5: Gipfleschenwald auf Kalkplateaus.
  - Standortseinheit 7: Winterlinden-Traubeneichen-Buchen-Hainbuchen-Wald auf mittelgründiger, karbonatfreier Terra fusca.

Keine Meßfläche steht unter Grundwassereinfluß. Bei den geringen Hangneigungen ist nur geringer lateraler Zu- oder Abfluß zu erwarten. Bei einer

- Standortseinheit 8<sup>1</sup>: Traubeneichen-Buchen-Hainbuchen-Wald auf tiefgründigem Braunlehm über Kalk.
- ▶ Standorte auf kalkfreiem Silikat:
  - Standortseinheit 17: Traubeneichen-Winterlinden-Hainbuchen(-Buchen)-Wald auf mittelgründiger bindiger Felsbraunerde.
  - Standortseinheit 23: Traubeneichen-Hainbuchen-Winterlinden-Wald an Hangmulden und Unterhängen mit tiefgründigem Pseudogley.

Nach der Vegetationsgliederung von KARRER & KILIAN (1990) gehören alle Flächen zu den Eichen-Hainbuchenwäldern, in den Verband *Carpinion betuli* Issler 1931. Hainbuche (*Carpinus betulus*) und Eichen (*Quercus petraea* agg., *Q. robur*) sind tatsächlich auf allen Flächen vorhanden, auf drei Flächen auch dominant. Allerdings ist die Fläche "Kolmberg" nach dem System von MUCINA ET AL. (1993) wegen der dort und auch sonst in der Standortseinheit 5 dominanten Baumarten Sommerlinde (*Tilia platyphyllos*) und Esche (*Fraxinus excelsior*) besser in den Verband *Tilio-Acerion Klika* 1955 einzuordnen, und zwar in eine Kalk-Untereinheit des *Aceri-Carpinetum Klika* 1941.

Bei KARRER & KILIAN (1990) werden zwei *Carpinion*-Gesellschaften unterschieden, das *Primuloveris-Carpinetum* Neuh. et Neuh.-Novotná 1964 auf kalkhaltigem Substrat und das *Carici pilosae-Carpinetum* Neuh. et Neuh.-Novotná 1964 auf Silikat. Nach den bei MUCINA ET AL. (1993) und NEUHÄUSL (1981) angegebenen Trennarten – das System dieser Autoren folgt stärker klimatischen Gesichtspunkten – gehören alle unsere Meßflächen ins *Carici pilosae-Carpinetum*.

Der Feldahorn (*Acer campestre*), der auf der Meßfläche "Augustinerwald" dominiert, kommt in *Carpinion*-Gesellschaften des Leithagebirges nur

selten zur Vorherrschaft. Häufiger ist diese Erscheinung im niederschlagsärmeren Weinviertel zu beobachten, wo ZUKRIGL (1977) solche Bestände als *Aceri campestri-Quercetum* bezeichnet.

Die von der Birke (*Betula pendula*) dominierte Meßfläche "Hollerhöhe" ist ein Vorwald-Sukzessionsstadium. Dieser Bereich liegt in der Randzone eines Truppenübungsplatzes, wo u.a. durch die Anlage eines Flugfeldes im Zweiten Weltkrieg größere, heute bestockte Flächen in der Vergangenheit waldfrei waren.

Für jedes einzelne Meßprofil wurde nach Abschluß der Messungen eine Beschreibung des Bodenprofils nach den Kriterien der Waldbodenzustandsinventur durchgeführt (KILIAN & MAJER 1990). Eine Übersicht über die Profilbeschreibungen zeigt Tabelle 3.

Die Textur der Bodenhorizonte variiert im wesentlichen zwischen lehmigen Sand und Lehm. Nur an der Meßfläche 4 (Abgebrannte) gibt es höhere Schluffanteile (schluffiger Lehm und lehmiger Schluff). Die Böden der Meßprofile 5 und 6 konnten wegen des hohen Grobskelettanteils im Unterboden nicht über den gesamten Tiefenbereich der Messung beschrieben werden.

Das Meßprofil 3 (Jägerwiesgraben) wurde nur bis ca. 140 cm Tiefe aufgegraben, wodurch bei der Durchführung der Profilbeschreibung übersehen wurde, daß sich ab ca. 120-125 cm Tiefe die Horizontmerkmale nochmals änderten. Die Ergebnisse der bodenphysikalischen Proben (siehe Abschnitt 4.2) zeigte, daß dieser unterste Horizont weniger bindig als der P<sub>2</sub>S-Horizont ist. Er ist vermutlich als Cv-Horizont zu interpretieren.

Die Mächtigkeit der A<sub>h</sub>-Horizonte ist recht unterschiedlich (5 bis 23 cm). Die Fläche 6 (Kolmberg) weist neben dem mächtigsten A<sub>h</sub>-Horizont auch die stärkste Durchwurzelung auf.

<sup>1</sup> Die beiden hierher gehörenden Meßflächen "Buchgraben" und "Abgebrannte" liegen nach der Standortkarte des Reviers Sommerein (KARRER & KILIAN 1990) in der Standortseinheit 11. Diese Einheit gehört als "Sommerlinden-Feldulmen-Traubeneichen-Hainbuchen-Wald auf tiefgründiger kalkhaltiger Lockersediment-Braunerde" in eine Substratreihe von Standorten auf Löß und ähnlichen kalkhaltigen Lockersedimenten. In beiden Fällen wurde beim Aufgraben der Profile nach Abschluß der Messungen im Untergrund der Leithakalk erreicht. Das Ausgangsmaterial der Bodenbildung ist eine Deckschicht aus Verwitterungslehm, die teilweise auch silikatisches Material (z.B. Quarzkies) enthält. Damit entsprechen die beiden Flächen eindeutig der Standortseinheit 8.

Die Rücksprache mit beiden obengenannten Autoren ergab, daß bei der Abgrenzung dieser beiden Einheiten, aber auch anderer tiefgründiger Einheiten, im Zuge der Kartierung die grundsätzliche Schwierigkeit bestand, daß das Grundgestein i.d.R. nicht erreicht werden konnte. Im Fall dieser beiden Standortseinheiten liefert zudem die Vegetation kaum Anhaltspunkte zur Unterscheidung.

Fläche Nr.	6	2	4	1	3	5	F
Flurbezeichnung	Kolnberg	Augustinerwald	Abgebrannte	Buchgraben	Jägerwiesgraben	Hoflehöhe	Feuchtezahl nach Ellenberg et al. (1991) bzw. Karrer & Kilian (1990)
Standortseinheit (nach Karrer & Kilian 1990)	5	7	8	23	17		
aktuelle Waldgesellschaft (nach Karrer & Kilian 1990)	Primulo veris-Carpinetum brometosum benekenii			Carici pilosae-Carpinetum			
	Var. v. Dentaria em.	Var. von Lamiastrum montanum		luzulosum	typicum		
Aufnahmefläche [in m <sup>2</sup> ]	500	180	300	270	240	225	
Gesamtdeckung [in %]	B1	70	80	30	50	75	35
	B2	3	5	30	-	25	5
	S	1	3	10	1	1	5
	K (Fr)	90	75	80	70	8	20
	K (So)	25	20				
Maximalhöhe [in m]	M	<1	<1	<1	<1	<1	
	B1	15	10	25	25	18	10
	B2	10	8	18	-	12	7
S	3,5	4	3	2,5	4	3	
Tilia platyphyllos (Sommer-Linde)	B1/B2 S K	3 + 1	1 + +	- - -	- - -	- - -	- 5 5
Fraxinus excelsior (Esche)	B1/B2 S K	2h - 1	1 + r	- + +	- - +	- - +	- x x
Corylus avellana (Hasel)	B2 S K	1 + +	+ + -	- + -	- - -	- - -	- x x
Crataegus monogyna (Eingriffel-Weißdorn)	B2 S K	+ + +	+ r r	- - r	- - -	- - r	4 4 4
Ulmus glabra (Berg-Ulme)	B1 K	+ r	- r	- -	- -	- -	- 6
Fagus sylvatica (Rotbuche)	B1 S K	1 r +	- - -	- - -	- - -	- - -	5 5 5
Acer platanoides (Spitz-Ahorn)	B1/B2 S K	1 - 1	+ + -	1 - -	- - r	- - -	- x x
Acer campestre (Feld-Ahorn)	B1/B2 S K	+ - +	4 - +	- r 1	- - -	- - -	- 5 5
Carpinus betulus (Hainbuche)	B1 B2 S K	1 + + +	2a 1 + +	1 3 - 1	2a - - 2m	4 2h 1 1	+ - x x
Prunus avium (Vogel-Kirsche)	B1 S K	+ r +	- - r	2b 1 +	2a + +	- + +	- 5 5
Quercus petraea agg. (Trauben-Eiche)	B1/B2 K	- -	+ +	2b +	3 +	2a +	- 5
Tilia cordata (Winter-Linde)	B1/B2 S K	- - -	1 + +	- 2a +	1 + +	1 + +	- 5 5
Betula pendula (Hänge-Birke)	B1/B2 K	- -	- -	- -	- -	2a 3	- x
Salix caprea (Sal-Weide)	B1/B2	-	-	-	-	-	-
Quercus robur (Stiel-Eiche)	B1 K	+ r	- -	- -	2a +	- r	- x
Acer pseudoplatanus (Berg-Ahorn)	B2 K	- r	- -	- -	- r	2m	- 6
Cornus mas	S	+	-	-	-	-	4
Hedera helix	S/K	1	2a	2a	2a	-	5
Cornus sanguinea	S/K	r	-	+	-	-	x
Clematis vitalba	S/K	-	+	+	-	-	5
Ligustrum vulgare	S	-	+	-	-	-	4
Crataegus laevigata	S	-	+	-	-	-	5
Euonymus verrucosa	S/K	-	+	-	-	-	5
Pyrus pyraeaster	S	-	+	-	-	-	5
Populus tremula	S/K	-	+	-	-	-	5
Rubus fruticosus agg.	S/K	-	-	r	+	r	+
Rubus idaeus	S/K	-	-	-	-	r	+
Carex pilosa		+	1	3	3	1	1
Galium odoratum		1	-	1	2b	1	+
Dentaria bulbifera		+	1	+	+	+	2m
Polygonatum multiflorum		+	+	+	+	+	5
Stellaria holostea		+	r	+	2m	1	5
Symphytum tuberosum		r	r	-	+	r	+
Melica uniflora		+	r	2a	-	1	5
Geum urbanum		+	-	+	+	1	5

Tab. 2: Vegetationsaufnahmen, Standortseinheiten und Waldgesellschaften an den einzelnen Meßflächen, sowie Feuchtezahlen für die vorkommenden Pflanzenarten nach ELLENBERG ET AL. (1991) bzw. KARRER & KILIAN (1990).

	l	l	l	l	+	.	5
	l	r	1	2a	+	.	6
Asarum europaeum							5
Lamiastrum montanum							6
Allium ursinum	5	4	1	+	.	.	6
Campanula rapunculoides	+	2b	r	+	.	.	4
Lathyrus vernus	+	+	+	+	.	.	5
Lilium martagon	+	+	+	+	.	.	5
Viola mirabilis	+	r	r	+	.	.	5
Viola (cf) odorata	1	+	+	.	.	.	5
Viola reichenbachiana	.	.	+	2m	1	+	5
Milium effusum	.	.	+	+	+	+	5
Mycelis muralis	.	.	r	r	1	+	5
Dactylis polygama	.	.	+	r	r	1	5
Mercurialis perennis	2b	.	.	.	.	.	x
Dentaria enneaphyllos	2a	.	.	.	.	.	5
Staphylea pinnata	1	.	.	.	.	.	5
Lamium maculatum	+	.	.	.	.	.	6
Galanthus nivalis	2a	2m	.	.	.	.	6
Polygonatum latifolium	+	r	.	.	.	.	4
Convallaria majalis	.	1	+	+	+	.	4
Pulmonaria officinalis	.	+	+	+	.	.	5
Euphorbia amygdaloides	.	r	+	+	.	.	5
Heracleum sphondylium	.	+	r	r	.	.	5
Euphorbia dulcis ssp. incompta	.	r	.	r	.	.	5
Melampyrum nemorosum	.	.	+	r	.	.	4
Melittis melissophyllum	.	.	r	+	.	.	4
Melica nutans	.	.	+	+	+	.	4
Campanula persicifolia	.	.	.	+	+	.	4
Sanicula europaea	.	.	.	+	+	.	5
Campanula trachelium	.	.	.	+	r	.	6
Hieracium sylvaticum	.	.	.	+	r	.	5
Mochlingia trinervia	.	.	.	.	r	1	5
Poa nemoralis	.	.	.	.	r	1	5
Ajuga reptans	.	.	.	.	r	r	6
Rosa sp.	.	.	.	.	r	r	-
Veronica officinalis	.	.	.	.	r	r	4
Deschampsia cespitosa	.	.	.	.	+	.	7
Dryopteris filix-mas	.	.	.	.	+	.	5
Luzula luzuloides	.	.	.	.	r	.	5
Veronica hederifolia s.str.	.	.	.	.	.	1	5
Alliaria petiolata	.	.	.	.	.	+	5
Carex brizoides	.	.	.	.	.	+	6
Carex muricata agg.	.	.	.	.	.	+	-
Fallopia convolvulus	.	.	.	.	.	+	5
Geranium robertianum	.	.	.	.	.	+	x
Ranunculus ficaria ssp. bulbifer	.	.	.	.	.	+	6
Rumex sanguineus	.	.	.	.	.	+	8
Scrophularia nodosa	.	.	.	.	.	+	6
Veronica chamaedrys s.str.	.	.	.	.	.	+	5
Tanacetum corymbosum	.	r	.	+	.	r	4
Galium aparine	.	+	.	.	.	+	x
Chelidonium majus	r	.	.	.	.	.	5
Cyclamen purpurascens	r	.	.	.	.	.	5
Euonymus europaea	r	.	.	.	.	.	5
Fallopia dumetorum	r	.	.	.	.	.	5
Glechoma hirsuta	r	.	.	.	.	.	4
Platanthera bifolia	.	r	.	.	.	.	5
Brachypodium pinnatum	.	.	+	.	.	.	4
Bromus benekenii	.	.	+	.	.	.	5
Viburnum lantana	.	.	+	.	.	.	4
Vicia dumetorum	.	.	+	.	.	.	5
Calamagrostis epigeios	.	.	r	.	.	.	x
Hypericum hirsutum	.	.	r	.	.	.	5
Galium sylvaticum	.	.	.	1	.	.	5
Festuca heterophylla	.	.	.	+	.	.	4
Fragaria moschata	.	.	.	+	.	.	5
Knautia drymeia ssp. drymeia	.	.	.	+	.	.	5
Lathyrus niger	.	.	.	+	.	.	3
Viola hirta	.	.	.	+	.	.	3
Viola riviniana	.	.	.	+	.	.	4
Fragaria vesca	.	.	.	r	.	.	5
Rubus corylifolius agg.	.	.	.	r	.	.	-
Ranunculus auricomus agg.	.	.	.	.	r	.	x
Cardamine impatiens	.	.	.	.	.	r	6
Torilis japonica	.	.	.	.	.	r	5
Eurhynchium hians/praelongum	.	r	.	r	r	.	-
Brachythecium velutinum	.	r	.	.	.	r	-
Fissidens taxifolius	.	.	.	r	+	.	-
Plagiothecium curvifolium	.	.	.	r	.	.	-
Atrichum undulatum	.	.	.	.	+	.	-
Distichum pusillum	.	.	.	.	r	.	-

Tab. 3:

Bodenprofilbeschreibungen der einzelnen Meßflächen

<b>1 BUCHGRABEN</b>		
Bodentyp:	tiefgründige, schwach pseudovergleyte Parabraunerde; Humusform: Mull.	
Grundgestein:	Reliktlehm auf brecciösem Leithakalk.	
Humusprofil:		
Ol	1 - 0 cm	Streu: Carex pilosa, Eiche, Hainbuche; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Mineralbodenprofil:		
Ah	0 - 5 cm	Lehm, kein Grobanteil; Farbe: 10YR4/2, karbonatfrei, undeutlich krümelig, stark durchwurzelt; taschenförmig übergehend
B <sub>rel</sub>	5 - 33 cm	Lehm, geringer Grobanteil (Kies, einige Quarzkiesel), Farbe: 10YR4/3, keine Konkretionen; karbonatfrei, undeutlich blockig-scharf-kantig, mittel durchwurzelt; wellig allmählich übergehend
Bt(g)	33 - 62 cm	toniger Lehm, geringer Grusanteil (brecciöser Kalk), geringer Kiesanteil (Quarz); Farbe: 7,5YR5/3, mehrere Konkretionen; karbonatfrei, deutlich blockig-scharfkantig, schwach durchwurzelt; wellig übergehend
BC	62 - >120 cm	sandiger Lehm, mäßiger Grusanteil, geringer Steinanteil; Farbe: 10YR6/4, keine Konkretionen; karbonathaltig, deutlich blockig-kantengerundet, schwach durchwurzelt.
<b>2 AUGUSTINERWALD</b>		
Bodentyp:	tiefgründiger Kalk-Braunlehm; Humusform: Mull.	
Grundgestein:	Leithakalk	
Humusprofil:		
Ol	1,5 - 0,5 cm	Streu: Feldahorn, Eiche, Linde, Hainbuche; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Of	0,5 - 0,0 cm	Streureste; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Mineralbodenprofil:		
Ah	0 - 13 cm	Lehm, geringer Grobanteil (Grus); Farbe: 7,5YR4/2; karbonatfrei, deutlich krümelig, sehr stark durchwurzelt, wellig übergehend
B <sub>rel</sub>	13 - 25 cm	Lehm, geringer Grobanteil (Grus); Farbe: 7,5YR4/3; karbonatfrei, undeutlich blockig-scharfkantig, stark durchwurzelt, wellig absetzend
BC	25 - 46 cm	Lehm, sehr hoher Steinanteil, mäßiger Grusanteil; Farbe: 7,5YR5/3; karbonatfrei, undeutlich blockig-kantengerundet, mittel durchwurzelt, wellig übergehend
Cv	46 - >120 cm	sandiger Lehm, hoher Grusanteil, geringer Steinanteil; Farbe: 10YR7/3; karbonathaltig, undeutlich blockig-kantengerundet, schwach durchwurzelt.
<b>3 JÄGERWIESGRABEN</b>		
Bodentyp:	sehr tiefgründiger Pseudogley; Humusform: moderartiger Mull.	
Grundgestein:	Glimmerschiefer.	
Humusprofil:		
Ol	2 - 1 cm	Streu: Eiche, Hainbuche, Birke; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Of	1 - 0,5/0 cm	Streureste; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Oh	0,5/0 - 0 cm	locker gelagert, mittel durchwurzelt, nicht schmierig.
Mineralbodenprofil:		
Ah	0 - 12 cm	schluffiger Lehm, geringer Grobanteil (Grus); Farbe: 10YR5/2; karbonatfrei, deutlich krümelig, sehr stark durchwurzelt; wellig absetzend
P <sub>1</sub>	12 - 50 cm	schluffiger Lehm, geringer Grobanteil (Grus), Farbe: 2,5YR5/3, mehrere undeutliche Rostflecken, viele Konkretionen; karbonatfrei, undeutlich blockig-kantengerundet, mittel durchwurzelt, gerade allmählich übergehend
P <sub>2S</sub>	50 - ~125 cm	sandiger Lehm, geringer Grobanteil (Grus); Farbe: 2,5YR6/4, viele deutliche Rostflecken, mehrere deutl. Bleichflecken, mehrere Konkretionen; karbonatfrei, undeutl. blockig-scharfkantig, schwach durchwurzelt.

4 ABGEBRANNT		
Bodentyp:	tiefgründige, schwach pseudovergleyte Parabraunerde; Humusform: Mull.	
Grundgestein:	Reliktlehm auf Leithakalk	
Humusprofil:		
Ol	1,5 - 0,5 cm	Streu: Eiche, Hainbuche; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Of	0,5 - 0 cm	Laubreste; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Mineralbodenprofil:		
Ah	0 - 12 cm	schluffiger Lehm, kein Grobanteil; Farbe: 10YR4/2; karbonatfrei, deutlich krümelig, stark durchwurzelt; wellig übergehend
Bv(g)	12 - 36 cm	schluffiger Lehm, geringer Grobanteil (Grus); Farbe: 10YR5/3, mehrere Konkretionen; karbonatfrei, undeutlich blockig-kantengerundet, mittel durchwurzelt; wellig allmählich übergehend
Bt(g)	36 - 74 cm	toniger Lehm, geringer Grobanteil (Grus); Farbe: 7,5YR5/3,5 (bodentrocken 7,5YR5/4), einzelne Konkretionen; karbonatfrei, deutlich blockig-scharfkantig (Aggregate mit Tonhüllen), schwach durchwurzelt; wellig absetzend
BC	74 - >120 cm	sandiger Lehm, mäßiger Grobanteil (Grus); Farbe: 10YR6/4; karbonathältig, ohne Aggregatstruktur, schwach durchwurzelt.

5 HOLLERHÖHE		
Bodentyp:	mittelgründige eutrophe Braunerde, Humusform: Mull.	
Grundgestein:	Glimmerschiefer.	
Humusprofil:		
Ol	1,5 - 0,5 cm	Streu: Eiche, Hainbuche, Birke; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Of	0,5 - 0 cm	Streureste; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Mineralbodenprofil:		
Ah	0 - 11 cm	sandiger Lehm, stark humos, geringer Grobanteil (Grus), Farbe: 10YR3/2; karbonatfrei, deutlich krümelig, stark durchwurzelt; wellig absetzend
Bv	11 - 32 cm	sandiger Lehm, geringer Grobanteil (Grus); Farbe: 10YR5/3; karbonatfrei, undeutlich blockig-kantengerundet, mittel durchwurzelt; wellig allmählich übergehend
B(t)	32 - 50 cm	Lehm, mäßiger Grobanteil (Steine); Farbe: 10YR5/3, einzelne undeutliche Rostflecken; karbonatfrei, undeutlich blockig-kantengerundet, schwach durchwurzelt; wellig übergehend
BC	50 - >82 cm	sandiger Lehm, sehr hoher Grobanteil (Steine); Farbe: 10YR5/4, mehrere deutliche Verwitterungsflecken; karbonatfrei, Massivstruktur, schwach durchwurzelt.

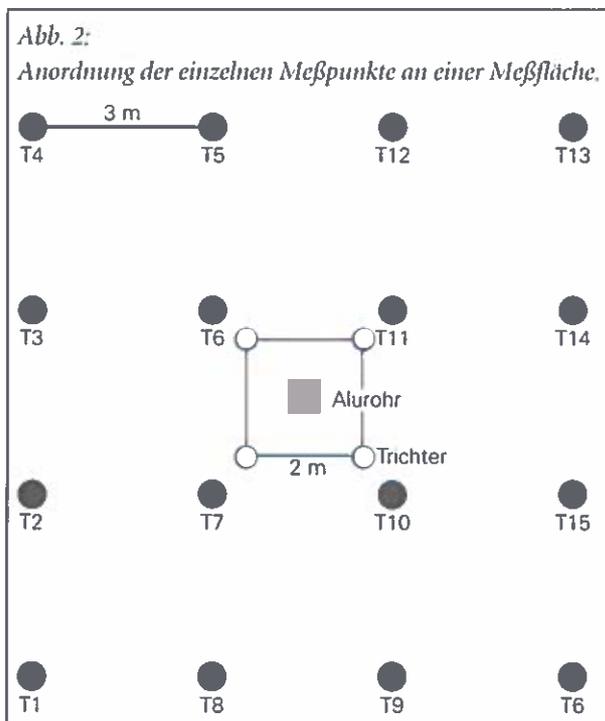
6 KOLMBERG		
Bodentyp:	flach- bis mittelgründige Braunlehm-Rendsina; Humusform: Mull.	
Grundgestein:	Leithakalk.	
Humusprofil:		
Ol	1,5 - 0,5 cm	Streu: Rotbuche, Spitzahorn, Esche, Linde, Hainbuche, Feldahorn; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Of	0,5 - 0 cm	Streureste; locker gelagert, nicht durchwurzelt, nicht schmierig.
Mineralbodenprofil:		
Ah	0 - 23 cm	Lehm, mäßiger Grobanteil (Grus); Farbe: 7,5YR4/2; karbonatfrei, deutlich krümelig, stark durchwurzelt, wellig übergehend
BC	23 - 39 cm	Lehm, sehr hoher Steinanteil, hoher Grusanteil; Farbe: 7,5YR4,5/2; karbonathältig, undeutlich blockig-kantengerundet, mittel durchwurzelt, wellig übergehend
B	39 - 56 cm	Lehm, mäßiger Grobanteil (Grus); Farbe: 7,5YR4,5/2, in der oberen Hälfte noch etwas humusgefärbt; karbonathältig, undeutlich blockig-kantengerundet, stark durchwurzelt, wellig absetzend
Cv	56 - >91 cm	sandiger Lehm, sehr hoher Grusanteil, mäßiger Steinanteil; Farbe: 7,5YR6/3; karbonathältig, undeutlich blockig-scharfkantig, schwach durchwurzelt, in einzelnen Bändern (bis 1 cm stark) dichter Wurzelfilz.

### 3 Methoden

#### 3.1 Hydrologische Meßmethoden und Daten

Für die Bodenfeuchtemessung wurden zwei Meßgeräte verwendet. Im Jahr 1991 wurde zunächst mit der Bodenfeuchtemessung mittels Neutronen-sonde begonnen. Diese diente zur Messung des vertikalen Profils der Bodenfeuchte an einem Punkt. Erst ab dem Jahr 1994 konnte die zweite Sonde, das sogenannte TRASE-System der Firma Soilmoisture, das auf dem TDR-Meßprinzip (TDR = Time Domain Reflectometry) basiert, eingesetzt werden. Dadurch wurde die Erfassung der horizontalen Struktur der Bodenfeuchte im oberflächennahen Bereich des Bodens ermöglicht.

Abbildung 2 zeigt die Anordnung einer Meßfläche. Im Zentrum jeder Meßfläche lag das Meßrohr für die Neutronen-sonde. Rund um dieses Meßrohr wurden in den jeweils vier Himmelsrichtungen im Abstand von rund 2 Metern die Sammler für den Bestandesniederschlag installiert, sodaß diese ein Quadrat bildeten. Von diesem Quadrat ausgehend wurden im August 1994 nachträglich 16 Meßpunkte für die TDR-Sondenmessung eingerichtet.



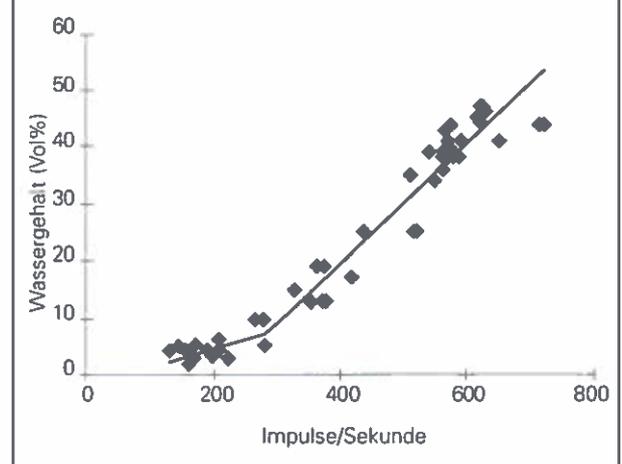
Im Normalfall wurde etwa einmal pro Monat gemessen, wobei der Meßtermin nicht immer am gleichen Tag des Monats zu liegen kam. Aufgrund von organisatorischen Problemen im Jahr 1993 kam es in diesem Jahr leider zu zwei größeren Daten-

lücken. Insgesamt wurden in den 6 Jahren pro Meßfläche etwas mehr als 60 Messungen mit der Neutronen-sonde und über 600 Einzelmessungen mit der TDR-Sonde durchgeführt.

#### 3.1.1 Messungen mit der Neutronen-sonde

Das Meßprinzip der Neutronen-sonde beruht auf der Streuung bzw. Abbremsung schneller Neutronen. Von einer Americium/Beryllium Quelle emittierte Neutronen geben ihre Energie vor allem bei Zusammenstoßen mit den praktisch gleich schweren Atomkernen von Wasserstoff ab. Dieser Prozeß verläuft um so schneller, je höher die Konzentration von Wasserstoff in der Umgebung ist. Die Zahl der langsamen (abgebremsten) Neutronen ist somit ein Maß für die Wasserstoffkonzentration in der Umgebung der Quelle. Zur Messung der Bodenfeuchte mittels Neutronen-sonde und ihre praktischen Belange wird auch auf die Literatur verwiesen (BEHR ET AL. 1976, HANUS ET AL. 1972).

Abb. 3:  
Zusammenhang zwischen gemessenen Impulsraten der Neutronen-sonde und den gemessenen Bodenfeuchte-werten.



Das Ergebnis einer Messung mit der Neutronen-sonde ist also eine Zählrate der langsamen Neutronen. Mit Hilfe einer empirischen Beziehung erfolgt die Umrechnung von dieser Impulsrate auf Bodenfeuchte in Volumsprozent (Abb. 3). Diese Beziehung wurde aus einer Anzahl von Vergleichsmessungen gewonnen, bei welchen die Bodenfeuchte durch die Standardmethode (Dörr-Wägemethode) bestimmt wurde. Da mit dieser Methode alle Wasserstoffatome gezählt werden, die sich im Meßvolumen befinden, werden auch Wasserstoffatome mit einbezogen, die nicht in Form

von Wasser am Boden gebunden sind. Dies kann bei tonigen oder humusreichen Böden zu Fehlern der Bodenfeuchtemessung führen. Da die Neutronen-sondenmessung aber erst ab 30 cm Tiefe korrekte Werte liefert, ist ein möglicher Fehler durch einen hohen Humusgehalt praktisch zu vernachlässigen. Außerdem wurde beim Zusammenhang zwischen den gemessenen Impulsraten und den mit der Dörrmethode ermittelten Feuchtwerten keine signifikante Abhängigkeit von den Bodenarten festgestellt. Somit konnte für alle Böden ein und derselbe Zusammenhang angenommen werden.

Da dieser Zusammenhang nicht linear ist, und ein quadratischer Ansatz die Bodenfeuchte bei hohen Impulsraten überschätzt hätte, wurden für die Umrechnung die Impulsraten in zwei Bereiche unterteilt, wobei die Grenze zwischen den beiden Bereichen empirisch bei 280 Impulse/Sekunde festgelegt wurde. Innerhalb des jeweiligen Bereiches wurde ein linearer Zusammenhang angenommen (siehe Abbildung 3).

Somit ergaben sich folgende zwei Gleichungen für die Umrechnung von Impulsrate zu Volumsprozent Feuchte:

$$0 - 279 \text{ Impulse/Sekunde:} \\ \text{Feuchte(Vol\%)} = -2,26 + 0,0345 \cdot \text{Impulse/Sek.}$$

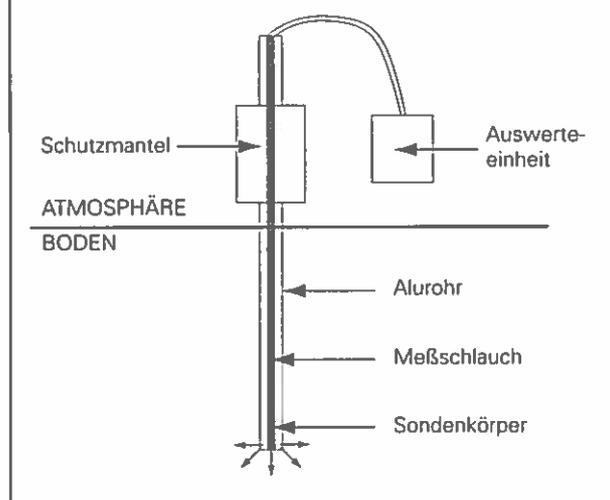
$$> 280 \text{ Impulse/Sekunde:} \\ \text{Feuchte(Vol\%)} = -21,82 + 0,1035 \cdot \text{Impulse/Sek.}$$

Mit Hilfe dieser Umrechnung wurden alle mit der Neutronen-sonde gemessenen Impulsraten in Volumsprozent Feuchte umgewandelt.

Bei der Messung mittels Neutronen-sonde wurde der Sondenkörper in einem Aluminiumrohr in den Boden gelassen (siehe Abb. 4) und von der Endtiefe des Rohres ausgehend in 10 cm Stufen gemessen. Die absolute Meßtiefe ist je nach Meßfläche verschieden. An den Flächen 1, 2 und 6 beträgt sie 120 cm, an der Fläche 4 130 cm und an den beiden übrigen Flächen 150 cm.

Da das Meßvolumen eine Kugel mit einem Radius von etwa 30 cm umfaßt, ist eine Messung oberhalb einer Bodentiefe von 30 cm nicht mehr aussagekräftig, da in diesem Bereich bereits eine Abstrahlung der Neutronen an die Luft erfolgt und die gemessenen Impulsraten daher immer niedriger werden, je mehr man sich mit der Meßvorrichtung der Erdoberfläche nähert.

Abb. 4:  
Schematische Anordnung der Bodenfeuchtemessung mittels Neutronen-sonde.



Die gewonnene vertikale Meßkurve stellt einen geglätteten Verlauf der Bodenfeuchte über das Profil dar, weil der Bereich des Meßvolumens größer ist als die Distanz zwischen zwei nebeneinander liegenden Meßpunkten. Aus diesem Grund erscheinen Sprünge in den Bodenfeuchtwerten zwischen zwei verschiedenen Bodenschichten immer als gleitende Übergänge.

### 3.1.2 Messungen mit der TDR-Sonde

Das TDR-Meßprinzip beruht auf der Geschwindigkeits- bzw. Laufzeitmessung einer elektromagnetischen Welle im zu messenden Material. Eine elektromagnetische Welle läuft im Vakuum mit Lichtgeschwindigkeit  $c_0$ . Ist ein umgebendes Medium vorhanden, so ist die Ausbreitungsgeschwindigkeit  $c$  von der magnetischen Permeabilität  $\mu$  und der Dielektrizitätskonstanten  $\epsilon$  des umgebenden Materials abhängig.

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}}$$

In nicht magnetischen Materialien kann die magnetische Permeabilität  $\mu = 1$  gesetzt werden. Zur Bestimmung der Dielektrizitätszahl des Bodenmaterials muß also nur die Ausbreitungsgeschwindigkeit der elektromagnetischen Welle bestimmt werden. Da eine solche Welle bei der TDR-Sonde an zwei oder drei parallelen Stäben mit fester Länge  $l$  entlangläuft, am Ende dieser Stäbe reflektiert wird und die gleiche Strecke wieder zurückläuft, braucht man nur die Laufzeit  $t$  dieser Welle zu messen, um

die Geschwindigkeit  $c$  zu bestimmen und damit die Dielektrizitätskonstante zu erhalten.

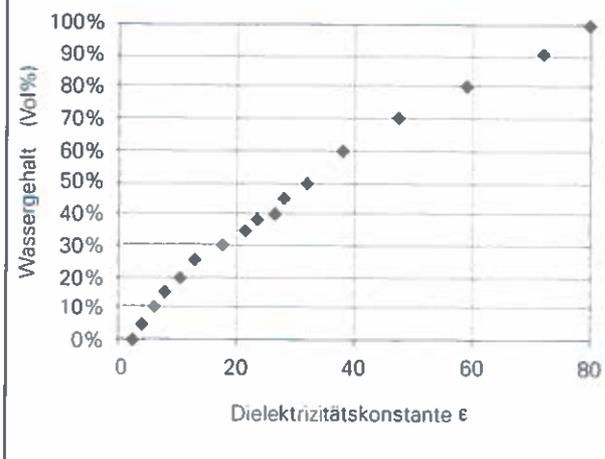
$$c = \frac{2,l}{t} \quad \text{bzw.} \quad \varepsilon = \sqrt{\frac{c_0 \cdot l}{2l}}$$

Da das Wasser im Gegensatz zum restlichen Bodenmaterial eine sehr hohe Dielektrizitätskonstante aufweist, ist der Wert dieser Konstanten vor allem vom Wassergehalt des Bodens abhängig. Somit kann aus der Messung der Dielektrizitätskonstanten der Wassergehalt des Bodens bestimmt werden. Bezüglich weiterer Details im Hinblick auf dieses Meßprinzip soll auch hier auf die Literatur verwiesen werden (TOPP ET AL. 1980, DASBERG & DALTON 1985).

Von der gemessenen Dielektrizitätskonstante wird mit Hilfe einer empirischen Beziehung auf die vorhandene Bodenfeuchte umgerechnet. Dieser Zusammenhang ist nicht exakt linear. Er wurde vom Meßgerätehersteller übernommen und nur stichprobenartig überprüft. In der Abbildung 5 ist dieser Zusammenhang dargestellt. Ist kein Wasser vorhanden, wird eine Dielektrizitätskonstante von 4 angenommen, für Wasser ergibt sich eine Dielektrizitätskonstante von 80.

Abb. 5:

Zusammenhang zwischen gemessener Dielektrizitätskonstante und der Bodenfeuchte.

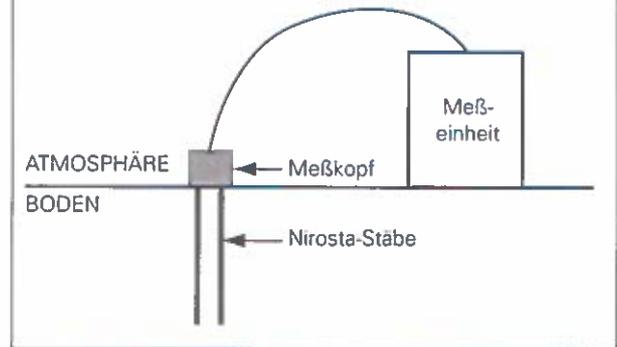


Der von der Neutronensonde nicht erfaßte Bereich von 0-30 cm wurde mit der TDR-Sondenmessung abgedeckt. In einem Meßraster mit jeweils 16 Punkten (vgl. Abb. 2) wurden für die Tiefenstufen 0-15 und 0-30 cm Messungen mit Hilfe von zwei Niroststäben, die an einem Meßkopf befestigt wurden, durchgeführt (Abb. 6). Einzig und allein auf der Meßfläche 6 war dies durch das steinige Gelände

nicht machbar, sodaß an dieser Fläche mit der TDR-Sonde nur Messungen für die Tiefenstufe 0-15 cm möglich waren.

Abb. 6:

Schematische Anordnung der Bodenfeuchtemessung mittels TDR-Sonde.



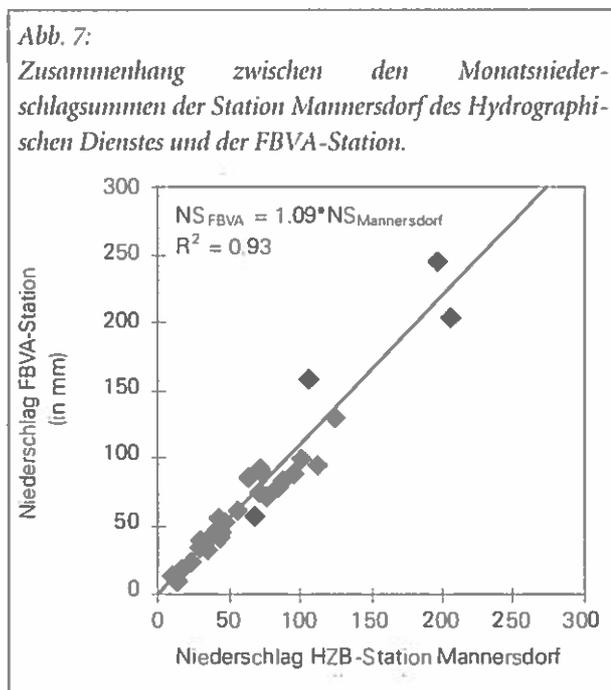
### 3.1.3 Messungen des Freiland- und Bestandesniederschlags

Die Bodenfeuchtemessungen wurden durch Messungen des Bestandesniederschlags (= direkt auf den Waldboden fallender und von der Vegetation abtropfender Niederschlag) ergänzt. Eine Erfassung des Stammabflusses an den jeweiligen Versuchsflächen wurde dagegen nicht durchgeführt. Die Messungen erfolgten zugleich mit den Bodenfeuchtemessungen mit Hilfe von 4 Sammelgefäßen. Die Größe der Meßgefäße (Auffangfläche 120 cm<sup>2</sup>) war dabei die gleiche wie bei früheren Messungen der Bodenfeuchte in den Donauauen (MÜLLER 1981).

Zum Vergleich der gesammelten Niederschlagsmengen mit den Freilandniederschlägen bzw. zur Abschätzung des Interzeptionsverlustes wurden so weit wie möglich Niederschlagsdaten einer Station der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in unmittelbarer Nähe der Meßflächen Hollerhöhe bzw. Jägerwiesgraben (Flächen 5 und 3) im Kammbereich des Leithagebirges verwendet (siehe Abb. 1). Diese Station wird im weiteren als FBVA-Station bezeichnet. Allerdings waren die Niederschlagswerte dieser Wetterstation nur bedingt für die Auswertung geeignet, da die Niederschlagsdaten in den Jahren 1991 bis 1993 größere Lücken aufwiesen und die Niederschlagsmengen mangels beheizter Ombrometer im Winter oft nicht korrekt erfaßt werden konnten.

Da von dieser Station somit nur zum Teil verlässliche Niederschlagsdaten (zum größten Teil ab 1994)

verfügbar waren, die Neutronensondenmessungen aber schon 1991 begannen, wurde folgende Vorgangsweise gewählt.



Zunächst wurde die Station Mannersdorf als die den Versuchsflächen nächstgelegene Station des hydrographischen Dienstes Niederösterreich ausgewählt. Für diese Station waren Tagesniederschlagsmengen von 1991 bis 1996 verfügbar, sodass die Zeitspannen zwischen den einzelnen Meßterminen korrekt berücksichtigt werden konnten. Dann wurde mit Hilfe der parallel gemessenen Daten der Zusammenhang zwischen den Niederschlagswerten der Station Mannersdorf und der "FBVA-Station" festgestellt. Die Daten korrelieren recht gut miteinander (siehe Abb. 7). Die FBVA-Station im Kammbereich des Leithagebirges hat fast 10 Prozent mehr Niederschlag als die Station Mannersdorf am Fuße des Leithagebirges zu verzeichnen. Dies entspricht in etwa der Hälfte der Angaben von KARRER & KILIAN (1990), die etwa 20 Prozent mehr Niederschlag für den Kammbereich angeben. Allerdings wurde in diesem Fall die Station Bruckneudorf (Heidehof) als Vergleichsstation herangezogen und nicht die Station Mannersdorf. Da die Station Mannersdorf im langjährigen Schnitt, wie beispielsweise während des Zeitraums 1981-1990, um etwa 10 Prozent mehr Niederschlag aufzuweisen hat als die Station Bruckneudorf (HYDROGRAPHISCHER DIENST 1994), käme man bei einem direkten Vergleich der FBVA-Station mit der Station Bruckneudorf auch auf ähnliche Werte.

Da der Vergleich der Tagesniederschlagswerte praktisch den gleichen Umrechnungsfaktor ergibt, wurden die täglichen Niederschlagsmengen der Station Mannersdorf um 10 Prozent erhöht, um den Niederschlägen der FBVA-Station zu entsprechen. Mit diesen Niederschlagswerten wurden die gemessenen Bestandesniederschläge verglichen.

### 3.1.4 Bodenphysikalische Untersuchungen

Nach Abschluß der Messungen wurden die Meßrohre für die Neutronensonde aus dem Boden entfernt. Bei dieser Gelegenheit wurden unmittelbar bei den Meßpunkten für die Neutronensonde ein Bodenprofil aufgegraben und Proben für die physikalische Analyse entnommen. Dabei wurde folgendermaßen vorgegangen:

Die Proben wurden mit einer Ausnahme nicht aus bestimmten Tiefenstufen geworben, sondern bestimmten Bodenhorizonten entnommen. Dies diente dem Zweck, die bodenphysikalischen Unterschiede der einzelnen Horizonte besser erfassen zu können. Nur in einer Tiefe von ca. 15 cm wurde von allen sechs Meßpunkten Bodenproben entnommen, um auch für die an der Oberfläche mittels TDR-Sonde durchgeführten Bodenfeuchtemessungen Aufschlüsse über die zu erwartenden Saugspannungen zu bekommen. Die Proben wurden möglichst ungestört und volumsgerecht geworben. Dabei wurden jeweils drei Parallelproben je Horizont entnommen. Die Werbung der Proben erfolgte nach den Richtlinien der Österreichischen Bodenzustandssinventur (BLUM ET AL 1989). Der Transport der mit Deckeln verschlossenen Zylinder erfolgte möglichst erschütterungsfrei in speziellen Zylinderkoffern. Im Labor wurden sie bis zur Analyse im Kühlschrank gelagert.

Im bodenphysikalischen Labor der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Innsbruck wurden folgende Größen bestimmt:

► Lagerungsdichte (nach ÖN L1068)

► pF-Kurven

Die Bestimmung der Druckpotential-Wasseranteils-Beziehung erfolgte in drei Schritten:

- Entwässerung der gesättigten Zylinderproben am Unterdruck-Kapillarmeter nach NEUWINGER-RASCHENDORFER & CZELL (1965) bei definierten Unterdrücken.
- Entwässerung ungestörter gesättigter Zylinderproben bei definiertem Überdruck in der Druckplattenapparatur (DPA) nach Richards bei 330 mbar (konform zur ÖN L1063).

- Entwässerung gestörter (auf 2 mm gesiebter) gesättigter Proben in der DPA bei 5 und 15 bar Überdruck (gemäß ÖN L1063).

Im wesentlichen entspricht das Vorgehen dem von MARKART & KOHL (1995) angewendeten Verfahren.

### 3.2 Vegetationskundliche Methoden

Die Nomenklatur der Gefäßpflanzen folgt EHRENDORFER (1973), die der Moose FREY ET AL. (1995).

Die Vegetationsaufnahmen wurden grundsätzlich nach der Methode von BRAUN-BLANQUET (1964) durchgeführt. Zur Schätzung der Deckungswerte wurde die Skala von WESTHOFF & VAN DER MAAREL (1978) verwendet, bei welcher der ursprüngliche Skalenwert "2" weiter in "2m", "2a" und "2b" unterteilt ist. Es wurden fünf Vegetationsschichten unterschieden: obere (B1) und untere Baumschicht (B2), Strauchschicht (S), Krautschicht (K) und Mooschicht (M). Die Gesamtdeckung der einzelnen Schichten, die Maximalhöhen der beiden Baumschichten und der Strauchschicht, sowie die Flächengrößen sind für die einzelnen Meßflächen in Tab. 2 angegeben.

Die Aufnahmen wurden im Sommer 1995, am 28. Juni (Meßflächen 2 und 6), am 29. Juni (Flächen 1, 3) und am 20. Juli (Flächen 4, 5), durchgeführt. Am 9. Mai 1996 erfolgte für alle Flächen eine ergänzende Aufnahme des Frühjahrsaspekts. Bei den im Frühjahr hinzukommenden Arten handelt es sich vor allem um die auf den Kalkstandorten "Kolmberg" und "Augustinerwald" (sub-)dominant auftretenden Geophyten *Allium ursinum* (Bärlauch), *Galanthus nivalis* (Schneeglöckchen) und *Dentaria enneaphyllos* (Neunblatt-Zahnwurz).

Ökologische Zeigerwerte (ELLENBERG ET AL. 1991), in unserem Fall Feuchtezahlen, ermöglichen eine Beurteilung, inwieweit gemessene Unterschiede der Umweltparameter eine Auswirkung auf die Vegetation haben. Dabei ist jeder einzelnen Pflanzenart eine Zahl zugeordnet, die ihr ökologisches Optimum entlang eines durch eine Ordinalskala wiedergegebenen Umweltgradienten beschreibt. Zur Charakterisierung einer Fläche kann dann das arithmetische Mittel der Zeigerwerte der in der Fläche vorkommenden Arten berechnet werden. Eine Gewichtung mit den Deckungswerten der einzelnen Arten ist möglich.

Für die Kalkulation der Feuchtezahlen wurden die Zeigerwerte von ELLENBERG ET AL. (1991) und

KARRER & KILIAN (1990), die einer 12-stufigen Skala folgen, verwendet. Im Fall von Abweichungen zwischen beiden wurde letzterem Werk der Vorzug gegeben. Es wurden nur Strauch- und Krautschicht verrechnet. Falls eine Art in beiden Schichten vorkam, wurde der jeweils höhere Deckungswert verwendet. Zur Gewichtung wurden die Deckungswerte in die neunstufige Skala von VAN DER MAAREL (1979) transformiert.

### 3.3 Statistische und andere Berechnungsmethoden

Einfache statistische Parameter (Mittelwerte, Standardabweichungen, Varianzen etc.) wurden mit dem Programm EXCEL 97 der Fa. Microsoft berechnet. Dieses Programm diente auch zur Ermittlung von Ausgleichsgeraden (wie z.B. in den Abbildungen 3 und 7) und Ausgleichskurven (wie z.B. in Abbildung 11).

Mit dem Programm SPSS 7.0 wurden statistische Tests durchgeführt (z.B. t-Test in Abschnitt 4.3) und Korrelationskoeffizienten errechnet (siehe Kap. 4.7).

Für die lineare Interpolation der Meßwerte der Neutronensonde zwischen den einzelnen Meßterminen (siehe Abschnitt 4.2.3) wurde ein FORTRAN 77 Programm verwendet, das von einem der Autoren (Gartner) verfaßt wurde.

Zur Berechnung der mittleren ELLENBERG-Feuchtezahlen wurde ein an der FBVA (Dr. R. Hacker) in FORTRAN 77 erstelltes Programm verwendet.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Allgemeine Charakterisierung der Feuchteverhältnisse an den einzelnen Meßflächen

Die räumliche Distanz zwischen den einzelnen Meßflächen ist gering. Daher kann man annehmen, daß der allgemeine Witterungscharakter für den betrachteten Zeitraum für alle Flächen gleich ist (d.h. daß z.B. sehr feuchte oder sehr trockene Perioden an allen Flächen gleichzeitig auftreten). Die relativen Unterschiede zwischen den Bodenfeuchteverhältnissen der Meßflächen sind somit auf die unterschiedlichen Standortseigenschaften (Boden, Vegetation, Geländeform etc.) zurückzuführen.

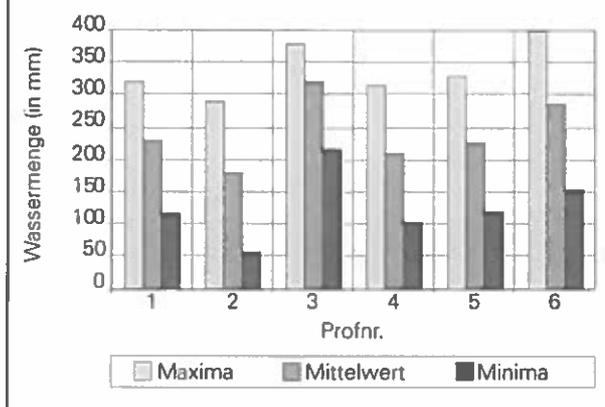
#### 4.1.1 Vergleich der vertikalen Profile mittels Neutronensondenmessung

##### 4.1.1.1 Vergleich der Mittel- und Extremwerte

Das absolut gesehen trockenste Bodenprofil ist eindeutig das bei Meßfläche 2 im Hangbereich des Leithagebirges. Der Boden füllt sich an diesem Meßpunkt im Winterhalbjahr zwar fast so stark wie an den Profilen 1, 4 und 5 mit Wasser, doch kann er viel stärker austrocknen als an den anderen Flächen. In Abbildung 8 ist dies deutlich zu erkennen. Diese Abbildung zeigt für jede Fläche die maximalen, mittleren und minimalen Wassermengen im jeweiligen Bodenprofil zwischen 30 und 120 cm.

Abb. 8:

Gegenüberstellung der Maximal-, Minimal- und Mittelwerte des Bodenwassers an den einzelnen Meßflächen im Bereich zwischen 30 und 120 cm.



Das Profil der Fläche 3 ist im Mittel das feuchteste. Die mittlere Wassermenge im Bereich zwischen 30 und 120 cm ist sogar höher als der Maximalwert der Fläche 2. Zudem ist der Unterschied zwischen maximalem und minimalem Wassergehalt deutlich geringer als bei Profil 2.

Das Profil der Fläche 6 kann sich zwar am meisten mit Wasser füllen, trocknet aber auch relativ stark aus. Die Bodenfeuchte ist im Mittel zwar niedriger als am Profil 3, die Schwankungsbreite ist aber die größte.

Die Wassergehalte der restlichen drei Bodenprofile an den Flächen 1, 4 und 5 sind einander sehr ähnlich. Maximum, Minimum und Mittelwert sind praktisch gleich.

##### 4.1.1.2 Gegenüberstellung der Bodenfeuchte in den einzelnen Tiefen

Die im vorigen Abschnitt beschriebenen Unterschiede der einzelnen Bodenprofile lassen sich nach den jeweiligen Bodentiefen weiter differenzieren. In Tabelle 4

sind zu diesem Zweck für jede Meßfläche das absolute Maximum, das absolute Minimum, der Schwankungsbereich sowie der Mittelwert der Bodenfeuchte für jede einzelne Bodenschicht zusammengestellt.

Das trockenste Profil 2 weist im Bereich zwischen 40 und 100 cm besonders tiefe Werte auf. Hier liegen die mittleren Wassergehalte nur zwischen 12 und 18 Prozent. Die absoluten Maxima sind dagegen nur im Bereich zwischen 40 und 70 cm niedrig. Die Minimumwerte bleiben über das gesamte Profil betrachtet tief und können zum Teil bis unter 5 Prozent sinken.

Der mittlere Wassergehalt des feuchtesten Profils 3 liegt zwischen 50 und 120 cm relativ einheitlich bei etwas mehr als 30 Prozent. Maximum und Minimum der Bodenfeuchte liegen zum Teil um weniger als 15 Prozent auseinander.

Das Profil 6 weist dagegen eine völlig andere Charakteristik auf. Bis 60 cm Tiefe sind die Werte mit Profilen anderer Flächen (z.B. der Meßfläche 4) vergleichbar. Der Boden kann in diesem Bereich relativ stark austrocknen. In den Schichten darunter steigt die Bodenfeuchte aber plötzlich stark an, erreicht das Maximum bei etwa 90 cm und geht darunter wieder deutlich zurück. Die maximalen und mittleren Wassergehalte überschreiten dabei sogar jene von Profil 3, und auch die Minima bleiben in diesem Bereich relativ hoch.

Die restlichen Profile sind auch in ihrer vertikalen Struktur relativ ähnlich. Das Profil 1 ist zwischen 70 und 90 cm Tiefe deutlich weniger feucht als in den restlichen Bodenschichten. Bei Profil 4 ist der Boden zwischen 80 und 120 cm im Mittel am trockensten. Die Bodenfeuchte ist hier ähnlich niedrig wie im trockensten Bereich von Profil 1. Im oberen Bereich (30 bis 40 cm) kann dieser Boden zudem stark austrocknen. Auch das Profil 5 hat zwischen 90 und 120 cm im Mittel die niedrigsten Wassergehalte aufzuweisen. Allerdings liegen die maximalen Feuchtwerte in den darüberliegenden Bodenschichten (zwischen 30 und 70 cm) deutlich über den Werten der beiden übrigen Flächen.

#### 4.1.2 Vergleich der horizontalen Differenzierung mittels TDR-Sondenmessung

Mittels der jeweils 16 Meßpunkte für die TDR-Sonde pro Fläche wurde versucht, die Bodenfeuchteverhältnisse der Flächen oberflächennah und horizontal zu charakterisieren.

Die Ergebnisse sind in den Tabellen 5a (für den Bereich 0-15 cm) und 5b (für den Bereich 0-30 cm) zusammengefaßt.

Tab. 4:  
Extremwerte und mittlerer Wassergehalt (in Vol%) in den jeweiligen Tiefen der einzelnen Bodenprofile (1991-1996) gemessen mit der Neutronensonde.

Nr.	Maßz.	30 cm	40 cm	50 cm	60 cm	70 cm	80 cm	90 cm	100 cm	110 cm	120 cm	130 cm	140 cm	150 cm
1	Max.	32,4	31,9	29,5	29,7	26,9	30,5	32,6	34,9	37,7	41,5			
	Min.	14,1	17,6	13,8	11,8	7,2	6,4	6,2	8,6	14,2	15,1			
	Schw.	18,3	14,3	15,7	17,9	19,7	24,1	26,4	26,3	23,5	26,4			
	Ø	25,2	26,0	24,1	22,6	17,9	18,2	19,1	22,9	27,2	28,1			
2	Max.	32,8	27,6	23,8	23,3	28,3	31,5	32,9	30,2	36,9	37,3			
	Min.	8,3	6,4	4,8	4,3	4,5	5,0	5,0	4,7	5,6	6,5			
	Schw.	24,5	21,2	19,0	19,0	23,8	26,5	27,9	25,5	31,3	30,8			
	Ø	22,5	17,7	13,9	12,5	14,9	17,7	18,7	16,9	22,2	23,2			
3	Max.	42,6	39,3	37,2	38,0	38,4	38,3	37,2	37,5	37,2	37,8	34,8	34,4	35,7
	Min.	15,3	15,7	20,7	22,6	25,2	26,3	23,5	21,3	20,8	19,5	15,3	13,1	13,9
	Schw.	27,3	23,6	16,5	15,4	13,2	12,0	13,7	16,2	16,4	18,3	19,5	21,3	21,8
	Ø	30,4	31,3	31,6	33,6	34,4	33,9	32,4	32,0	31,1	31,4	27,7	25,9	27,1
4	Max.	31,8	32,3	31,8	30,6	31,3	29,4	31,7	35,5	36,2	32,6	34,0		
	Min.	6,3	8,0	11,9	15,8	13,5	7,9	6,0	5,8	7,2	11,2	16,1		
	Schw.	25,5	24,3	19,9	14,8	17,8	21,5	25,7	29,7	29,0	21,4	17,9		
	Ø	22,1	23,4	24,3	24,2	23,4	19,8	17,2	17,7	20,0	20,7	23,4		
5	Max.	43,8	41,8	40,8	38,5	37,2	32,2	27,2	25,2	24,4	24,2	26,9	28,1	27,3
	Min.	7,0	10,6	11,6	12,8	14,7	11,9	10,8	11,1	10,9	12,7	14,5	14,0	12,2
	Schw.	36,8	31,2	29,2	25,7	22,5	20,3	16,4	14,1	13,5	11,5	12,4	14,1	15,1
	Ø	26,1	27,3	26,5	26,8	26,1	21,9	18,5	17,3	17,8	19,1	21,3	22,2	21,2
6	Max.	32,4	32,4	35,3	35,0	42,0	51,5	55,8	47,0	36,7	36,7			
	Min.	10,6	9,5	8,8	6,8	8,8	19,4	28,8	22,0	16,3	13,8			
	Schw.	21,8	22,9	26,5	28,2	33,2	32,1	27,0	25,0	20,4	22,9			
	Ø	23,1	22,9	22,9	20,7	27,4	38,0	44,0	35,8	27,3	26,5			

Vergleicht man die Mittelwerte über die einzelnen Flächen, so fällt auf, daß im Bereich 0-15 cm (Tabelle 5a) die Unterschiede nicht sehr deutlich ausgeprägt sind. Sieht man von Fläche 3 (Pseudogley) ab, die ein deutlich höheres Mittel aufweist, liegen alle übrigen Werte im Bereich zwischen 24 und 27 Prozent mittleren Wassergehalt. Am trockensten ist dabei die Fläche 6 (Rendsina).

Im Tiefenstufenbereich 0-30 cm sind die Unterschiede dagegen deutlicher ausgeprägt, da in dieser Tiefe die Flächen 2 und 5 (zu Fläche 6 existieren in dieser Tiefenstufe keine Meßwerte) deutlich trockener sind, die Mittelwerte der Flächen 1 und 4 dagegen konstant bleiben. Somit ist hier die Fläche 5 (Braunerde) mit nicht ganz 22 Volumsprozent mittlerer Feuchte die trockenste, die Fläche 3 mit etwas mehr als 29 % die feuchteste Fläche.

Trotz unterschiedlicher Meßzeiträume aufgrund meßtechnischer Gegebenheiten und sich deutlich voneinander unterscheidenden Meßvolumina der

beiden Bodenfeuchtesysteme (vgl. SCHÜLER, 1997), liegen die Mittelwerte der TDR-Sondenmeßwerte im Bereich 0-30 cm in ähnlicher Höhe wie die in 30 cm Tiefe mit der Neutronensonde gemessenen Werte. An den Flächen 1 bis 3 betragen die Unterschiede kaum mehr als 1 Prozent.

An den Flächen 4 und 5 betragen sie zwar mehr als 4 Prozent, doch lassen sich die Unterschiede zu den Werten der Neutronensondenmessung auch ohne weiteres durch die räumliche Variabilität der Bodenfeuchte erklären, da die Messungen nicht am selben Punkt stattfanden.

Diese Variabilität der Bodenfeuchte an den einzelnen Flächen kommt auch in der Schwankungsbreite (Tabelle 5a und b) bzw. der Varianz der Meßwerte zum Ausdruck. Prinzipiell ist festzustellen, daß die Feuchtwerte in größerer Tiefe (0-30 cm) weniger stark schwanken als nahe der Erdoberfläche (0-15 cm). Dies ist an allen Meßflächen der Fall. Allerdings gibt es Unterschiede

**Tab. 5a:**  
Extremwerte und mittlerer Wassergehalt (in Vol%) im Bereich 0-15 cm gemessen mit der TDR- Sonde (August 1994 bis Dezember 1996).

Fläche Punkt	1	2	3	4	5	6
1	21,0	20,3	35,1	27,5	25,5	19,7
2	29,1	25,7	33,6	23,8	27,3	29,6
3	26,8	25,5	32,6	27,9	24,9	22,7
4	30,4	28,8	33,6	27,4	24,2	26,1
5	25,7	21,9	31,2	29,7	25,5	26,4
6	29,2	26,7	24,1	23,1	20,1	22,8
7	26,1	25,9	24,7	31,8	25,0	24,4
8	22,6	27,2	30,3	29,6	22,3	25,4
9	29,7	18,8	32,7	30,0	25,4	24,1
10	25,6	27,2	35,1	25,6	27,5	24,0
11	28,1	29,2	27,6	23,0	28,7	21,7
12	25,1	22,5	30,3	25,2	20,4	26,0
13	27,8	25,2	27,1	31,4	20,6	20,2
14	24,9	21,9	25,9	29,4	29,0	24,0
15	28,2	32,1	35,3	23,9	28,0	30,1
16	23,1	32,8	34,3	22,7	23,9	21,4
<b>Gesamt</b>						
Max	30,4	32,8	35,3	31,8	29,0	30,1
Min	21,0	18,8	24,1	22,7	20,1	19,7
Schw	9,4	14,0	11,2	9,1	8,9	10,3
Mittel	26,5	25,7	30,8	27,0	24,9	24,3

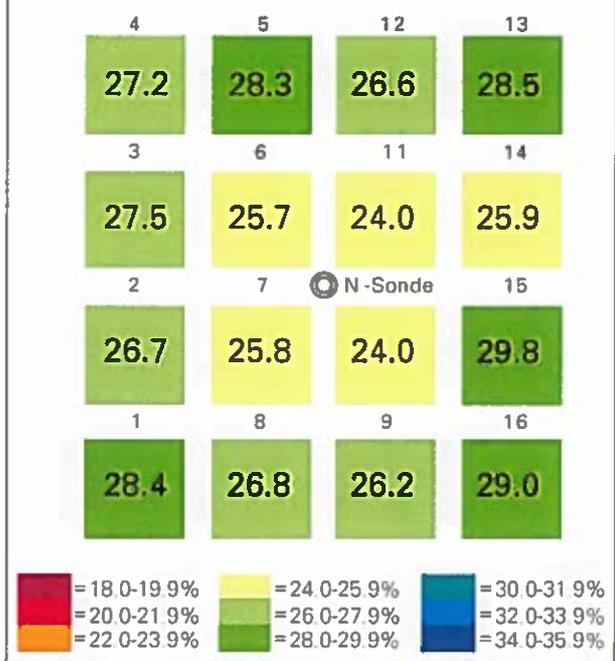
**Tab. 5b:**  
Extremwerte und mittlerer Wassergehalt (in Vol%) im Bereich 0-30 cm gemessen mit der TDR- Sonde (August 1994 bis Dezember 1996).

Fläche Punkt	1	2	3	4	5	6
1	27,2	20,8	30,9	28,4	21,1	
2	27,2	19,7	33,0	26,7	23,2	
3	27,9	23,0	28,7	27,5	21,3	
4	28,9	20,0	30,8	27,2	18,8	
5	27,6	23,9	27,7	28,3	27,1	
6	29,4	23,7	29,3	25,7	21,9	
7	27,2	21,0	27,1	25,8	20,1	
8	22,2	26,2	26,8	26,8	23,1	
9	26,9	24,1	33,8	26,2	23,0	
10	25,0	21,3	30,8	24,0	21,8	
11	23,4	22,0	28,4	24,0	20,3	
12	28,1	25,0	26,8	26,6	23,6	
13	27,2	19,9	25,1	28,5	18,6	
14	23,3	19,6	25,8	25,9	22,1	
15	30,4	21,5	30,0	29,8	21,1	
16	25,2	28,1	34,6	29,0	22,5	
<b>Gesamt</b>						
Max	30,4	28,1	34,6	29,8	27,1	
Min	22,2	19,6	25,1	24,0	18,6	
Schw	8,2	8,5	9,5	5,9	8,5	
Mittel	26,7	22,5	29,3	26,9	21,8	

**Abb. 9a:**  
Mittelwerte der Bodenfeuchte in 0-15 cm Tiefe an der Fläche 4.



**Abb. 9b:**  
Mittelwerte der Bodenfeuchte in 0-30 cm Tiefe an der Fläche 4.



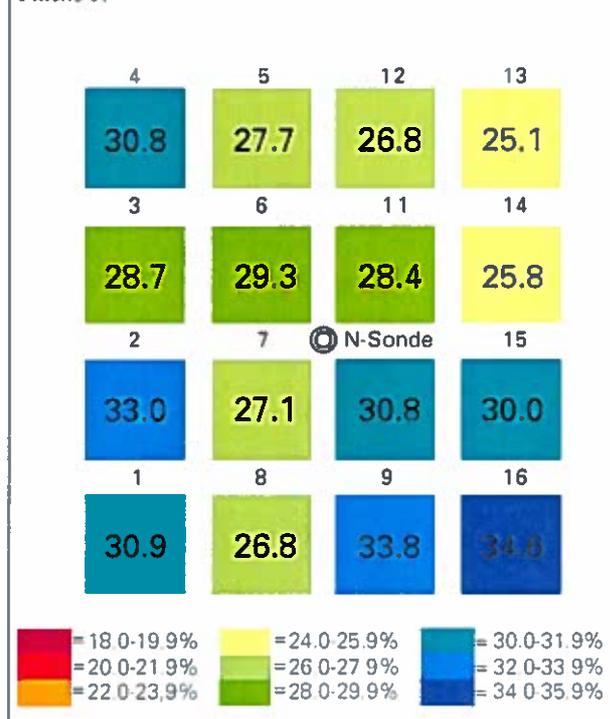
zwischen den einzelnen Flächen, wie stark diese "Vereinheitlichung" der Meßwerte von der Oberfläche in größere Tiefen gehend ausgeprägt ist.

Nimmt man die Varianz der 16 mittleren Bodenfeuchtwerte als Maß, geht diese bei Fläche 1 von 7,3 Vol% (0-15 cm Tiefe) auf 5,3 Vol% (0-30 cm Tiefe) zurück. Dagegen verringert sich die Varianz an der Fläche 4 von 9,8 Vol% auf 2,7 Vol%. Für die Veranschaulichung dieses Sachverhaltes sind in den Abbildungen 9a (für 0-15 cm) und 9b (für 0-30 cm) die mittleren Bodenfeuchtwerte der Fläche 4 in ihrer ursprünglichen Meßanordnung dargestellt. Recht deutlich ist in Abbildung 9b ein trockenerer zentraler Bereich zu erkennen, wohingegen in geringerer Bodentiefe noch kein einheitliches Muster deutlich wird.

Solche kleinräumigen Variabilitäten kommen vor allem durch Unterschiede in den Bodeneigenschaften aber auch durch Unterschiede in der Vegetation (unterschiedliche Durchwurzelung des Bodens) zustande.

Ein weiterer Grund für das Zustandekommen solcher oberflächennahen Unterschiede im Bodenwassergehalt ist das Mikrorelief des Bodens. Dies wird vor allem dann relevant, wenn Oberflächenabflüsse mit eine Rolle spielen. Bei der Fläche 3 kam es immer wieder zu solchen kleinräumigen Überflutungen. Dies kam folgendermaßen zustande:

Abb. 10:  
Mittelwerte der Bodenfeuchte in 0-30 cm Tiefe an der Fläche 3.



Nach länger andauernden intensiven Niederschlägen kam es (vor allem im Frühjahr, wenn durch die "Winterfeuchte" von Haus aus ausreichend Wasser im Boden vorhanden ist), zu einer Ansammlung von Wasser in einer Mulde oberhalb der Fläche. Diese Mulde war durch die Böschung einer Forststraße von der Fläche getrennt. War der Niederschlag stark genug, daß dieser kleine "Teich" so stark anschwellte, daß die Straße überflutet wurde, kam es zu diesen kleinräumigen Überflutungen der Fläche. Daher waren die etwas tiefer liegenden Teile der Fläche von diesem Abfluß stärker betroffen, als die höhergelegenen Bereiche. Aber auch ohne solche "Überschwemmungen" blieben die Meßpunkte in den Mulden deutlich feuchter als die übrigen Teile. In der Abbildung 10 ist dies deutlich zu erkennen. Die Meßpunkte 1 und 2, 9 und 10 sowie 15 und 16 liegen etwas tiefer als die übrigen Meßpunkte. Die Werte mit den niedrigeren Feuchtegehalten entsprechen allesamt etwas "höher" liegenden Punkten.

## 4.2 Bodenphysikalische Charakterisierung der Versuchsflächen

### 4.2.1 Allgemeines

Bisher wurden die Bodenfeuchteverhältnisse immer im Zusammenhang mit dem Gehalt an Wasser gesehen, der pro Einheitsvolumen Boden anzutreffen ist (volumetrischer Wassergehalt). Die Bodenfeuchte wurde in Volumsprozent angegeben. Diese Angaben haben aber in bezug auf die Verfügbarkeit des Wassers für die Vegetation nur wenig Aussagekraft, da das Bodenwasser unterschiedlich stark an die Bodenteilchen gebunden ist. Somit kann ein und derselbe Wassergehalt verschiedener Böden recht unterschiedliche Bedeutung haben. HEINRICH & HERGT (1994) geben dafür ein sehr anschauliches Beispiel. Bei einem Wassergehalt von 20 Prozent fühlt sich ein Sandboden naß, ein Schluffboden feucht und ein Ton trocken an. Die Kraft, welche aufgewendet werden muß, um dem Boden das Wasser zu entziehen, wird Bodenwasserpotential oder Saugspannung genannt. Dieses Potential wird als negativer Druck (d.h. Kraft pro Fläche) in Einheiten von Pascal (Pa) oder häufig auch noch in bar (entspricht  $10^5$  Pa) angegeben. Die Wasserbindung nimmt stark zu, wenn bei der Bodenaustrocknung weitvolumige Poren entleert sind und nur noch Feinporen Wasser enthalten. Die Pflanze kann

somit dem Boden nur solange Wasser entnehmen, als ihre Wurzeln eine Saugspannung aufweisen, die mit der Bodensaugspannung konkurrieren kann. Nach LARCHER (1984) entwickeln die Wurzeln Saugspannungen von wenigen bar, doch können Waldbäume Wurzelsaugspannungen von bis zu 30 bar entwickeln, um noch Wasser aus dem Boden zu entnehmen.

Für einen bestimmten Boden gibt es einen eindeutigen Zusammenhang zwischen dem Bodenwassergehalt und dem Bodenwasserpotential. Dieser Zusammenhang wurde früher als pF-Kurve bezeichnet und wird heute mit Bodenwassercharakteristik (BAUMGARTNER & LIEBSCHER 1990) oder Wasserspannungskurve (ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 1996) bezeichnet. Im folgenden wird die Bezeichnung Wasserspannungskurve verwendet. Der Zusammenhang ist nach KUTILEK & NIELSEN (1994) von der Dichte des Bodens, der geometrischen Anordnung der Bodenteilchen und Aggregate sowie weiterer chemischer und biologischer Eigenschaften abhängig. Da die Werte des Bodenwasserpotentials über drei bis vier Größenordnungen schwanken können, wird das Bodenwasserpotential zumeist in einer logarithmischen Skala aufgetragen. Dieser logarithmische Wert wird häufig als pF-Wert bezeichnet.

**4.2.2 Lagerungsdichte, nutzbare Wasserspeicherkapazität und Wassergehalt beim Welkepunkt**

Wie schon im Kapitel 3.1.4 beschrieben, wurden bei jeder Meßfläche beim Meßpunkt der Neutronen-sonde Bodenproben geworben und der Zusammenhang zwischen Bodenfeuchte und Bodenwasserpotential (d.h. die Wasserspannungskurve) ermittelt. Dafür wurden die Wassergehalte bei den Druckwerten  $1 \cdot 10^3$ ,  $5 \cdot 10^3$ ,  $1 \cdot 10^4$ ,  $1,5 \cdot 10^4$ ,  $3,3 \cdot 10^4$ ,  $5 \cdot 10^5$  und  $1,5 \cdot 10^6$  Pa bestimmt.

Die Ergebnisse dieser Messungen sind in Tabelle 6 zusammengefaßt. Diese Tabelle enthält auch die Werte der Lagerungsdichte, die durch einfache Wägung (nach Trocknung der Proben bei  $105^\circ\text{C}$ ) bestimmt wurde. Die nutzbare Wasserspeicherkapazität wurde nach den Angaben des ARBEITSKREISES FÜR STANDORTSKARTIERUNG (1996) aus der Differenz der Wassergehalte bei  $5 \cdot 10^3$  Pa (Feldkapazität) und  $1,5 \cdot 10^6$  Pa (Welkepunkt) errechnet.

Die Lagerungsdichte ist über das gesamte Profil gesehen beim Meßpunkt der Fläche 6 am niedrigsten, beim Meßpunkt der Fläche 3 am höchsten. Hohe Werte der Lagerungsdichte ( $>1,6 \text{ g/cm}^3$ )

Tab. 6: Lagerungsdichte LD (in  $\text{g/cm}^3$ ), nutzbare Wasserspeicherkapazität nWSK (definiert nach ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG, 1996) und Wassergehalt beim Welkepunkt WP (15 bar =  $1,5 \cdot 10^6$  Pa). Angaben in Vol%. (Bei Fläche 6 konnten für die Tiefe 110 cm aufgrund der Struktur der Probe keine Werte für 15 bar bestimmt werden.)

Fläche	Tiefe (in cm)	LD (in $\text{g/cm}^3$ )	nWSK (in Vol%)	Welkepunkt (Vol%)
1	15	1,23	21,3	13,3
	35	1,56	16,0	17,8
	55	1,40	14,6	18,3
	80	1,46	23,6	8,1
	Mittel	1,41	18,9	14,4
2	15	1,18	19,0	19,1
	30	1,20	17,9	16,1
	70	1,38	21,3	12,6
	110	0,93	40,3	8,6
	Mittel	1,17	24,6	14,1
3	15	1,37	19,1	18,9
	35	1,53	14,8	22,9
	70	1,43	20,1	22,4
	110	1,54	20,8	21,7
	140	1,65	27,3	8,7
	Mittel	1,50	20,4	18,9
4	15	1,24	24,6	12,1
	35	1,44	20,0	14,8
	65	1,52	14,0	22,8
	95	1,23	24,4	9,1
	Mittel	1,36	20,8	14,7
5	15	1,12	28,3	9,1
	35	1,23	23,2	11,5
	65	1,73	11,9	12,2
	Mittel	1,36	21,1	10,9
6	8	0,92	13,8	21,1
	15	1,02	15,9	19,3
	45	1,09	16,7	15,7
	75	0,82	23,5	26,0
	110	1,30		
	Mittel	1,03	17,5	20,5

kommen nur in tieferen Bereichen der Böden vor, besonders niedrige Werte dagegen praktisch überall, wobei die allgemein niedrigen Werte des Meßpunkts 6 (Kolmberg) besonders hervor zu heben sind. Diese sind vermutlich durch den hohen Anteil an Gesteinsgrus bedingt.

Geht man nach den Mittelwerten der nutzbaren Wasserspeicherkapazität, hat das gesamte Profil am

Meßpunkt 2 die höchste Kapazität aufzuweisen. Allerdings ist der hohe Mittelwert auf den extrem hohen Wert in 110 cm Tiefe zurückzuführen. Wird dieser Wert nicht berücksichtigt, ergibt sich auch hier nur ein Mittelwert von 19,4 Vol%, der in etwa dem Wert des Meßpunktes 1 entspricht.

In einer Tiefe von 15 cm, in der es von allen Meßflächen Werte gibt, ist die nutzbare Wasserspeicherkapazität bei Fläche 6 am niedrigsten, bei Fläche 5 am höchsten. Mit Ausnahme des Meßpunktes der Fläche 6 nehmen die Werte der nutzbaren Wasserspeicherkapazität zunächst mit zunehmender Tiefe ab, um dann in größerer Tiefe wieder zuzunehmen. Beim Meßpunkt der Fläche 5 konnten unter 65 cm keine Bodenproben geworben werden, sodaß eine etwaige Zunahme der Wasserspeicherkapazität in größerer Tiefe nicht feststellbar ist. Beim Meßpunkt der Fläche 6 nimmt die nutzbare Wasserspeicherkapazität im Gegensatz zu den anderen Meßpunkten mit zunehmender Tiefe zu. Leider konnte der dazugehörige Wert für die Bodenprobe aus 110 cm Tiefe nicht bestimmt werden.

Die Wassergehalte beim Welkepunkt schwanken zwischen 8,1 Vol% in 80 cm Tiefe beim Meßpunkt 1 und 26,0 Vol% in 75 cm Tiefe beim Meßpunkt 6. Bei der Profilbeschreibung (Tab. 3) wurde bei beiden Böden die Bodenart sandiger Lehm (bestimmt nach der Fingerprobe) ausgeschieden. Der sehr hohe Meßwert bei Meßpunkt 6 widerspricht dieser Ansprache, da für diese Bodenart Werte in dieser Höhe nicht in Frage kommen. Nach Angaben des ARBEITSKREISES FÜR STANDORTSKARTIERUNG (1996) liegen die Werte für den Welkepunkt für sandigen Lehm je nach Lagerungsdichte zwischen 5 und 14,5 Vol%. Auch die mit der Neutronensonde gemessenen Bodenfeuchtwerte (Tab. 4) widersprechen der angesprochenen Bodenart. Allerdings werden die hydrologischen Eigenschaften in dieser Tiefenstufe weniger durch den nur als Spaltenfüllung vorhandenen, geringen Feinbodenanteil, an dem die Bestimmung der Bodenart durchgeführt wurde, sondern durch den porös aufgewitterten Leithakalk bestimmt (vgl. Abschnitt 5). Die Bodenfeuchtwerte und die für die bodenphysikalischen Untersuchungen geworbenen Proben beinhalten dagegen sehr wohl den aufgewitterten Leithakalk mit seinem großem Wasserspeichervermögen.

Beim Pseudogley der Meßfläche 3 liegt die Feuchte, bei welcher der Welkepunkt erreicht wird, naturgemäß bei relativ hohen Werten. Einzig und allein der Wert in 140 cm Tiefe stellt eine Ausnahme dar. Auch ohne den sehr hohen Wert in 75 cm Tiefe

wurden für den Meßpunkt 6 hohe Werte für den Welkepunkt bestimmt. Durchgehend niedrige Werte ergaben sich für die Braunerde am Meßpunkt 5.

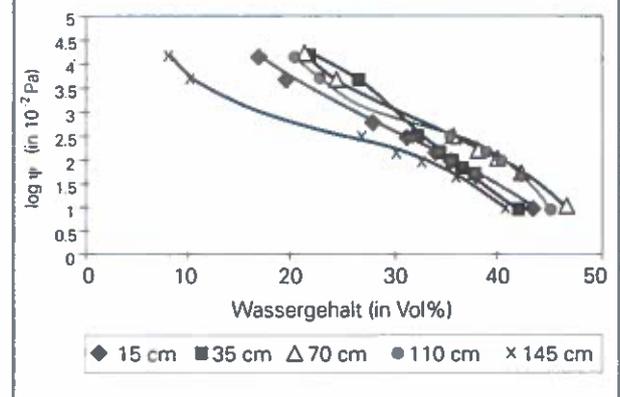
Die Meßpunkte 1, 2 und 4 haben ähnliche Welkepunkte aufzuweisen, wobei beim Meßpunkt 2 die Werte mit der Tiefe abnehmen, beim Meßpunkt 1 und 4 zunächst zunehmen, um in größerer Tiefe wieder auf einen niedrigen Wert abzufallen.

#### 4.2.3 Gegenüberstellung der Bodenwasserpotentiale in den einzelnen Tiefen

Mit Hilfe der im Labor bestimmten Wasserspannungskurven wurde der Frage nachgegangen, ob und in welchem Ausmaß die gemessenen Bodenfeuchtwerte Engpässen der Wasserversorgung entsprechen.

Abb. 11:

Wasserspannungskurven für das Meßprofil der Fläche 3 (Pseudogley, Jägerwiesgraben). Über dem Wassergehalt ist der Logarithmus des Bodenwasserpotentials  $Y$  aufgetragen. Durch die einzelnen Meßpunkte wurde eine Ausgleichskurve (Polynom 3. Grades) gelegt.



Als Beispiel für gemessene Wasserspannungskurven sind in Abbildung 11 die Ergebnisse für den Meßpunkt bei Fläche 3 (Pseudogley) dargestellt. Durch die einzelnen Meßpunkte wurde eine Ausgleichskurve gelegt, um die Unterschiede zwischen den einzelnen Tiefen besser erkennen zu können. Auch hier wird, wie schon beim Welkepunkt allein, der Unterschied zwischen der Kurve für 145 cm und den restlichen Kurven deutlich. Die Werte differieren bei den niedrigen Saugspannungspotentialen nicht stark, unterscheiden sich aber bei großen Drücken recht deutlich voneinander. Der Boden in 145 cm Tiefe ist demnach bei weitem nicht so bindig wie der Boden in den darüberliegenden Schichten und gibt somit das Wasser wesentlich schneller ab. Am bindigsten ist dagegen der Boden in 35 cm Tiefe.

Mit Hilfe dieser Werte wurde nun versucht, die mit der Neutronensonde gemessene Bodenfeuchte auf das jeweilige Bodenwasserpotential umzulegen. Die dadurch entstehenden Ungenauigkeiten wurden in Kauf genommen, da es vor allem um eine Einschätzung der Gefährdung durch Trockenheit ging und nicht um einzelne tatsächlich gemessene Werte des Bodenwasserpotentials.

Zu diesem Zweck wurde in folgender Weise vorgegangen:

Im ersten Schritt wurden die Saugspannungswerte der Druckstufen  $5 \cdot 10^5$  und  $1,5 \cdot 10^6$  Pa (entspricht 5 und 15 bar) um den Skelettanteil des Bodens reduziert. Die Bodenwasserpotentiale für diese beiden Druckstufen wurden nämlich für auf 2 mm gesiebte Proben bestimmt (vgl. Kap. 3.1.4). Als Maß für die Reduktion wurde der geschätzte Grobanteil der Bodenprofilbeschreibungen herangezogen (siehe Tabelle 3). Die hier angesprochenen Stufen des Grobanteiles entsprechen bestimmten Prozentwerten des Skelettgehaltes (siehe KILIAN & MAJER 1990).

Der zweite Schritt bestand darin, die Bereiche im Boden festzulegen, für die die jeweilige Wasserspannungskurve gültig sein sollte. Dazu wurden die in einer bestimmten Tiefe gemessenen Werte der einzelnen Druckstufen für den gesamten, durch diese Probe repräsentierten Bodenbereich als gültig angenommen. Auch hier wurden die Bodenprofilbeschreibungen (Tab. 3) zur Festlegung der Grenzen dieser Bereiche herangezogen. Gab es allerdings in einem der Bodenhorizonte mehr als eine Wasserspannungskurve, wurden zusätzliche Grenzziehungen mit Hilfe der Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen vorgenommen. Am Ende dieses Vorgangs gab es für das gesamte Bodenprofil in Abständen von jeweils 10 cm Tiefe eine Zuordnung von Bodenfeuchtwerten zu den oben angegebenen Druckstufen.

Im dritten Schritt wurde versucht, die Glättung der Bodenfeuchtwerte aufgrund des großen Meßvolumens der Neutronensonde (siehe Kap. 3.1.1) nachzuvollziehen. Zu diesem Zweck wurde alle 10 cm eine gewichtete Mittelung der obigen Daten über 30 cm durchgeführt, sodaß wie bei der Neutronensonde eine Art gleitendes Mittel entstand, wo Werte oberhalb und unterhalb der betreffenden Tiefe mit eine Rolle spielen.

Schlußendlich wurde im vierten und letzten Schritt durch die vorhin geglätteten Druckstufenwerte eine Ausgleichskurve (wie in Abb. 11 dargestellt) gelegt, um nicht nur für einzelne, sondern für

alle gemessenen Bodenfeuchtwerte das Bodenwasserpotential ermitteln zu können.

Die Ergebnisse der Umrechnungen von der aktuell gemessenen Bodenfeuchte in das jeweilige Bodenwasserpotential liefern die Abbildungen im Anhang.

So ist in der Abbildung A3a als Ausgangspunkt z.B. die Bodenfeuchte (angegeben in Volumsprozent) am Meßpunkt 3 über den Meßbereich der Neutronensonde über den gesamten Untersuchungszeitraum aufgetragen. Dabei wurden die Werte zwischen den Meßterminen auf einen wöchentlichen Intervall hin interpoliert. Deutlich zu erkennen ist das besonders feuchte Jahr 1996, wo die Bodenfeuchte fast nie unter 30 Volumsprozent sinkt und das abrupte Ende der Austrocknungsphase im Jahr 1995, als die extremen Niederschläge im September dieses Jahres die Austrocknung des Bodens beenden (siehe auch Abschnitt 4.5.2). Die übrigen Jahre weisen keine sehr starken Unterschiede auf. Der hydrologische Zyklus ist mehr oder minder ausgeprägt. Die trockeneren Jahre 1992 und 1994 kommen nur durch etwas länger andauernde niedrigere Werte im unteren Bereich des untersuchten Profils zum Ausdruck.

In Abbildung A3b ist das durch das oben angeführte Verfahren erzielte Resultat dargestellt. In dieser Abbildung ist der Logarithmus des Bodenwasserpotentials (=pF-Wert) über den Untersuchungszeitraum dargestellt. Insgesamt gesehen sind nur zwei Bereiche zu erkennen, wo der Boden so stark austrocknen kann, daß ein großer Teil des verfügbaren Wassers verbraucht ist. Dies ist in einer Tiefe zwischen 30 und 50 cm und in abgeschwächter Form zwischen 90 und 110 cm der Fall. Im oberen Bereich wird sogar der kritische Wert von  $pF=4,18$  (entspricht  $1,5 \cdot 10^6$  Pa = 15 bar) überschritten. Allerdings dürfte der Wert des Bodenwasserpotentials durch die Umrechnungsprozedur etwas überschätzt werden. Im zweiten angesprochenen Bereich werden solche Bodenwasserpotentiale nicht erreicht. Allerdings steigen hier die Werte auch immer wieder über 5 bar (= pF-Wert von 3,7) an.

Der restliche Teil des Bodens weist über die ganze Zeit hinweg genügend Wasser auf, sodaß in diesem Bodenbereich mit keinen Engpässen in der Wasserversorgung zu rechnen ist.

Auch an anderen Meßpunkten sind zwei solche Zonen in unterschiedlicher Tiefe mit höheren Bodenwasserpotentialen anzutreffen.

Beim Meßpunkt 1 (Parabraunerde) ist dies bis ca. 30 cm der Fall, wo im Herbst 1994 kurzzeitig Bodenwasserpotentialwerte von mehr als 10 bar

( $=1 \cdot 10^6$  Pa) erreicht wurden (Abb. A1b). Deutlicher ausgeprägt ist die Austrocknung zwischen 70 und 90 cm, wo der Bodenwasservorrat in trockenen Jahren fast aufgebraucht wird. Die Werte liegen im Herbst 1992 und 1994 für einige Wochen deutlich über 10 bar.

Beim Meßpunkt 4 (Parabraunerde) sind ebenfalls zwei solche Bereiche zu erkennen, doch sind diese nicht sehr deutlich voneinander abgegrenzt (Abb. A4b). Hier wird der Bodenwasservorrat bis etwa 50 cm stark in Anspruch genommen und dann wieder zwischen 70 und 110 cm. In diesem Zusammenhang darf aber nicht unerwähnt bleiben, daß die Umrechnung der Werte bis 50 cm keine aussagekräftigen Bodenwasserpotentiale lieferte, da diese die von der Literatur angegebenen Grenzwerte bei weitem überschritten. Ein Fehler bei der Bestimmung der Wasserspannungskurve ist nicht ganz auszuschließen, doch konnte keine korrekte Wiederholung der Bestimmung der betreffenden Wasserspannungswerte durchgeführt werden. Eine andere Möglichkeit für den Fehler (Unterschätzung des Grobanteils) ist auch sehr unwahrscheinlich, da der Grobanteil wesentlich höher sein müßte als in der Profilsprache geschätzt wurde. Trotz alledem kann man aber davon ausgehen, daß auch dieser Bereich zu den trockensten des gesamten Profils zählt.

Beim Meßpunkt 5 (Abb. A5b) erreicht das Bodenwasserpotential nur bis 40 cm Tiefe Werte über 5 bar ( $=5 \cdot 10^5$  Pa). In 30 cm wurde von August bis Anfang September 1992 sogar kurzzeitig die kritische Marke von 15 bar ( $=1,5 \cdot 10^6$  Pa) überschritten. Im übrigen Teil des Bodenprofils sind keinerlei problematische Zonen im Hinblick auf den Bodenwasservorrat auszumachen.

Der Meßpunkt 6 (Abb. 6b) kann bis auf 70 cm stärker austrocknen, sodaß hier Bodenwasserpotentiale bis zu 10 bar ( $=1 \cdot 10^6$  Pa) erreicht werden können. Der darunterliegende Bereich hat, wie aus Tabelle 8 zu entnehmen ist, einen sehr hohen Welkepunkt aufzuweisen, doch bleibt der Boden immer so feucht, daß dieser nicht erreicht wird.

Der Meßpunkt 2 hat von allen Meßpunkten den niedrigsten Wassergehalt aufzuweisen (Abb. 2b). An diesem Punkt wird auch der Wasservorrat am stärksten aufgebraucht. Praktisch im gesamten von der Neutronen-sonde erfaßten Bodenbereich von 30 bis 120 cm kann das Bodenwasserpotential über 5 bar ( $=5 \cdot 10^5$  Pa) steigen. Zwischen 60 und 80 cm Tiefe wird in trockeneren Jahren sogar der kritische Wert von 15 bar ( $=1,5 \cdot 10^6$  Pa) für einige Wochen überschritten. Umgekehrt wird der Wert für die Feld-

Tab. 7:  
Mittlere pF-Werte an den Meßpunkten der Neutronen-sonde (pF-Wert = Logarithmus des Bodenwasserpotentials in hPa= $10^2$  Pa).

Fläche Punkt	1	2	3	4	5	6
30	2,62	2,87	2,72	3,15	2,62	2,89
40	2,53	3,14	2,68	3,02	2,32	2,77
50	2,61	3,34	2,81	2,96	2,09	2,71
60	2,56	3,44	2,66	2,97	1,56	2,98
70	2,88	3,30	2,62	3,02	1,36	2,63
80	2,80	3,16	2,70	3,17	1,94	2,08
90	2,74	3,20	2,84	3,25	2,42	1,71
100	2,40	3,35	2,90	3,09	2,57	2,26
110	2,01	3,12	2,84	2,91	2,53	2,76
120	1,90	3,07	2,54	2,85	2,40	2,76
130			2,57	2,62	2,13	
140			2,57		2,00	
150			2,40		2,12	
Mittelwert	2,50	3,20	2,68	3,00	2,16	2,56

kapazität ( $0,05$  bar =  $5 \cdot 10^3$  Pa) an diesem Meßpunkt praktisch nie erreicht.

In Tabelle 7 wurden die Ergebnisse der Umrechnung auf das Bodenwasserpotential noch einmal zusammengefaßt. In dieser Tabelle sind die mittleren pF-Werte (d.h. der Logarithmus des Bodenpotentials in  $10^2$ Pa) in den einzelnen Tiefen gegenübergestellt. Ganz klar ist zu erkennen, daß bei den Meßpunkten der Fläche 2 und 4 die höchsten, und am Punkt der Fläche 5 die niedrigsten mittleren pF-Werte zu finden sind. Allerdings kommen die angeführten oberflächennahen Bereiche, die stark austrocknen können, in der Tabelle teilweise nicht so deutlich zur Geltung wie man es erwarten würde. So sind die mittleren Werte in 30 cm bei den Meßpunkten 1 und 5 nicht sehr hoch. Dies liegt vor allem daran, daß die hohen Werte hier immer nur für kurze Zeit erreicht werden und umgekehrt im Frühjahr zum Teil Werte der Feldkapazität erreicht werden.

### 4.3 Interzeption und Bestandesniederschlag

Die unterschiedliche Vegetation an den jeweiligen Flächen spielt bei der Verteilung des Niederschlags auf den Waldboden eine entscheidende Rolle. Das Kronendach beeinflusst die dem Boden durch den Niederschlag zugeführte Wassermenge, indem der Niederschlag nicht nur aufgefangen und verzögert

wieder abgegeben wird, sondern auch direkt verdunsten kann (Interzeptionsverdunstung). Dieser Verlust kann beträchtliche Ausmaße annehmen (vgl. dazu BALASZ 1983).

Die mit Hilfe des Bestandesniederschlags geschätzten Werte des Interzeptionsverlustes liegen durchaus in einer mit der Literatur vergleichbaren Größenordnung. BAUMGARTNER & LIEBSCHER (1990) geben für den Interzeptionsverlust für Buchen bzw. Eichen einen Wert von 10-20 % in der vegetationslosen Zeit und 20-30 % in der Vegetationszeit an. BALASZ (1983) gibt sogar einen größeren Schwankungsbereich des Interzeptionsverlustes an. Die Werte des gemessenen Bestandesniederschlags erreichen im Mittel zwischen 57 und 76 Prozent des Freilandniederschlags. Die Werte liegen im Winterhalbjahr (Oktober bis März) zwischen 64 und 87 Prozent im Sommerhalbjahr (April bis September) zwischen 52 und 67 Prozent des Freilandniederschlags (siehe Tabelle 8).

Tab. 8: Statistische Kennwerte des Anteils der gemessenen Bestandesniederschlagsmengen am Freilandniederschlag. Der Variationskoeffizient (d.h. Standardabweichung/Mittelwert) ist in Prozent angegeben.

Fläche	1	2	3	4	5	6
<b>Anzahl der Werte</b>						
Jahr	47	47	46	49	46	42
Winter	21	18	20	21	18	16
Sommer	27	29	26	28	28	26
<b>Mittlerer Anteil (in %)</b>						
Jahr	73,2	70,2	57,4	75,9	73,9	63,9
Winter	81,6	78,6	64,5	87,4	86,7	76,6
Sommer	67,0	64,9	51,9	67,2	65,7	56,1
<b>Standardabweichung</b>						
Jahr	20,4	24,3	18,1	24,0	24,2	23,0
Winter	23,3	25,6	20,0	22,1	23,8	29,2
Sommer	15,7	22,3	14,8	22,0	21,0	13,9
<b>Variationskoeff. (in %)</b>						
Jahr	27,9	34,6	31,5	31,6	32,7	36,0
Winter	28,4	32,6	31,0	25,3	27,5	38,1
Sommer	23,4	34,4	28,5	32,7	32,0	24,8

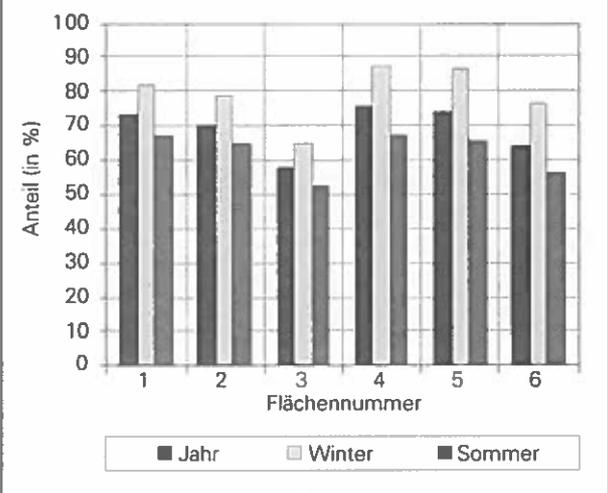
Die Werte kommen damit an einigen Flächen teilweise am unteren Teil des von der Literatur angegebenen Bereichs zu liegen. Allerdings muß man dabei berücksichtigen, daß bei diesen Messungen an den Versuchsflächen der Stammabfluß nicht berücksichtigt wurde.

Vergleicht man die Bestandesniederschläge der Probestflächen untereinander (Abb. 12), so muß man

diesen Stammabfluß vor allem bei der Fläche 3 mit berücksichtigen. An dieser Fläche ist die Hainbuche eindeutig die dominierende Baumart. Diese hat nach BRECHTEL & PAVLOV (1977) einen sehr großen Anteil des Niederschlags aufzuweisen, der über den Stamm abfließt (im Mittel etwa 20 Prozent des Freilandniederschlags), sodaß schon im vorhinein an dieser Fläche mit niedrigen Werten zu rechnen ist. Diese Tatsache ist in Abbildung 12 auch deutlich erkennbar. Auch die niedrigen Werte bei der Fläche 6 sind durch vermehrten Stammabfluß an den dort vorherrschenden Eschen und Linden erklärbar.

Auffallend ist, daß die drei höchstgelegenen Flächen 4 bis 6 deutlich größere Unterschiede zwischen Sommer- und Winterhalbjahr aufweisen als die drei niedrigeren Versuchsflächen. An den höhergelegenen Flächen beträgt der Unterschied zwischen Winter- und Sommerhalbjahr etwas mehr als 20 Prozent des Freilandniederschlags, an den tiefer gelegenen Flächen dagegen weniger als 15 Prozent.

Abb. 12: Prozentsätze der Niederschlagsmengen an den einzelnen Flächen im Bestand im Verhältnis zu Freilandniederschlagsmengen (Station Mannersdorf umgelegt auf die FBVA-Station).



Der Anteil des Bestandesniederschlags am jeweiligen Freilandniederschlag schwankt über das gesamte Jahr betrachtet mit Ausnahme der Flächen 1 und 3 ziemlich gleich stark. Die Standardabweichung der Werte liegt hier bei 23 bzw. 24 Prozent (siehe Tabelle 8). Berücksichtigt man die von Haus aus niedrigen Werte der Fläche 3, ergibt sich nur für Fläche 1 eine deutlich niedrigere Schwankung der Werte. Dies wird beim Variationskoeffizienten, der das Verhältnis zwischen Standard-

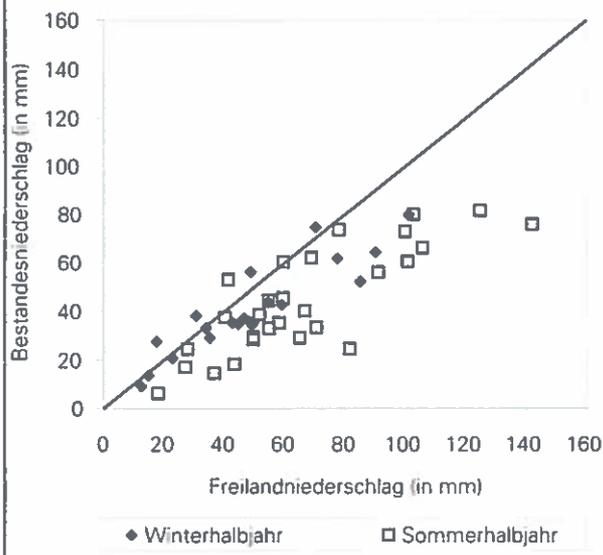
abweichung und Mittelwert darstellt, deutlich. Bei diesen Werten ist auch die im Verhältnis zum Mittelwert hohe Standardabweichung der Fläche 6 deutlich zu erkennen.

Weiters ist bei den Schwankungen der Anteile des Bestandesniederschlags am Freilandniederschlag auffällig, wie sich diese zu den jeweiligen Halbjahren an den unterschiedlichen Flächen verhalten. An den Flächen 1, 3 und 6 sind die Standardabweichungen im Winterhalbjahr deutlich höher als im Sommerhalbjahr; an den übrigen Flächen unterschieden sie sich kaum voneinander. Bei den Variationskoeffizienten wird dieser Unterschied noch deutlicher. An den erstgenannten Flächen ist er im Winter deutlich größer als im Sommer; an den anderen Flächen ist dies dagegen umgekehrt.

Aufgrund der Streuung gibt es naturgemäß auch Werte der gemessenen Traufen, die über dem Freilandniederschlag zu liegen kommen. Bei der Fläche 4 gibt es solche sogar im Sommerhalbjahr. Bei Fläche 3 dagegen praktisch überhaupt nicht (siehe Abbildungen 13a, b). Bei diesen Abbildungen ist weiters auch der deutlich ausgeprägtere Unterschied zwischen den Niederschlagsmengen im Winter- und im Sommerhalbjahr bei Fläche 4 gegenüber Fläche 3 erkennbar. Aber selbst die Mittelwerte bei der letztgenannten Fläche unterscheiden sich noch signifikant (t-Test auf einem 95 Prozent-Niveau) zwischen den beiden Jahreshälften.

Abb. 13a:

Zusammenhang zwischen den Freilandniederschlägen (Station Mannersdorf umgelegt auf FBVA-Station) und den gemessenen Bestandesniederschlagsmengen an der Fläche 4. Die Gerade entspricht gleichen Werten von Freiland- und Bestandesniederschlag.



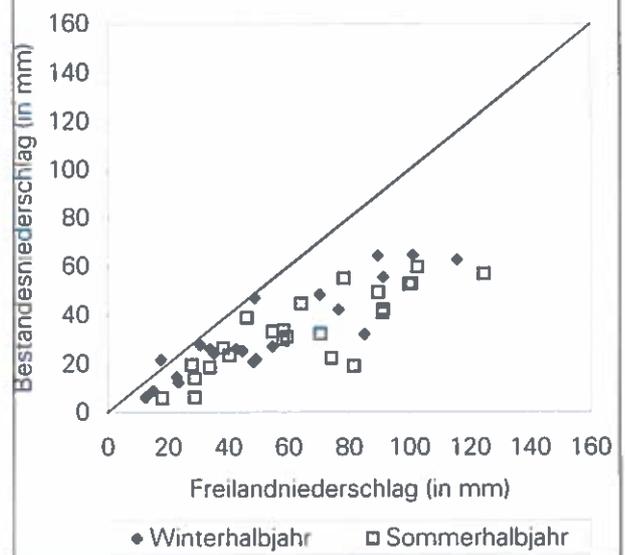
Weiters scheint nach den beiden Abbildungen der Interzeptionsverlust mit der Niederschlagsmenge zuzunehmen. Dies würde der gängigen Meinung widersprechen, daß der Interzeptionsverlust gerade bei geringeren Niederschlagsmengen relativ gesehen größer ist. Dies ist aber nur bedingt der Fall. Wird nämlich nicht der absolute Betrag der Niederschlagsmengen sondern der prozentuelle Anteil der Bestandesniederschlagsmengen am Freilandniederschlag zum Vergleich herangezogen, dann ist für die Sommerniederschläge keine Abhängigkeit von der Höhe des Freilandniederschlags erkennbar, bei den Winterniederschlägen könnte man eine solche Abhängigkeit zwar noch erahnen, doch ist auch hier die Streuung der Werte sehr groß. Diese scheinbare Abnahme des Anteils der Bestandesniederschlagsmengen am Freilandniederschlag, kann auch ohne weiteres damit zusammenhängen, daß die Niederschlagsmengen im Bestand größere Niederschlagsmengen, die im Winter oft in Form von Schnee fallen, nicht korrekt erfassen konnten.

#### 4.4 Hydrologische Zyklen der einzelnen Meßflächen

Da keine der sechs Meßflächen Grundwasseranschluß hat, und eine Beeinflussung durch Oberflächenabfluß praktisch nicht gegeben ist (eine

Abb. 13b:

Zusammenhang zwischen den Freilandniederschlägen (Station Mannersdorf umgelegt auf FBVA-Station) und den gemessenen Bestandesniederschlagsmengen an der Fläche 3. Die Gerade entspricht gleichen Werten von Freiland- und Bestandesniederschlag.



Ausnahme dazu bildet die Fläche 3, vgl. Abschnitt 4.1.2), kommt an den Bodenfeuchteprofilen der normale hydrologische Zyklus (Akkumulation des Bodenwassers im Winterhalbjahr und Austrocknung des Bodens im Sommerhalbjahr) deutlich zum Ausdruck.

#### 4.4.1 Neutronensondenmessungen

Der Wechsel von der Akkumulationsphase zur Austrocknungsphase fällt mit dem Beginn der Vegetationsperiode im Frühjahr zusammen, da damit der Wasserverbrauch steigt und somit bald der Wasserentzug größer als die durch den Niederschlag nachgelieferte Wassermenge ist. Der Feuchtegehalt des Bodens beginnt zu sinken.

Der Zeitpunkt der maximalen Bodenfeuchte liegt im Mittel über alle Meßtiefen an 5 der 6 Meßflächen in der ersten Aprilhälfte und somit bevor mit dem Laubausbruch die pflanzliche Aktivität unmittelbar erkennbar wird. Nur an der Meßfläche Jägerwiesgraben (Fläche 3) tritt dieser Termin erst relativ spät (um den 20. April) ein. Dagegen beginnt es an der Fläche Augustinerwald (Meßfläche 2) am frühesten auszutrocknen.

Zwischen der Bodentiefe und dem Erreichen der maximalen Bodenfeuchte ist kein einheitlicher Zusammenhang für alle Versuchsflächen erkennbar. An den Meßflächen Buchgraben und Augustinerwald (Flächen 1 und 2) ist eindeutig eine Abhängigkeit des Zeitpunktes mit der Tiefe gegeben. In einer Tiefe von 30 cm beginnt die Bodenfeuchte im Mittel schon Anfang März zu sinken. In einer Tiefe von einem Meter wird der maximale Wassergehalt des Bodens dagegen erst um den 20. April erreicht. Dagegen gibt es bei den übrigen Flächen keine eindeutige Differenzierung mit der Tiefe.

Im Herbst, wenn die Austrocknungsphase zu Ende geht und die Akkumulation des Bodenwassers beginnt, läuft der Vorgang in der umgekehrten Richtung ab. Die pflanzliche Aktivität und damit der Wasserbedarf wird so stark reduziert, daß die Zufuhr von Wasser durch den Niederschlag gegenüber dem Wasserverbrauch durch den Bestand überwiegt. Dieser Übergang wird in der Regel ebenfalls schon erreicht, bevor nach außen hin die Reduktion der pflanzlichen Aktivität sichtbar wird (d.h. sich das Laub zu verfärben beginnt).

Der Zeitpunkt, zu der normalerweise das Minimum der Bodenfeuchte eintritt, ist im Mittel über alle Meßtiefen an vier der sechs Meßflächen in der 2. Septemberhälfte zu finden. Nur bei den höchstgelegenen Meßflächen Hollerhöhe und Kolmberg

(Flächen 5 und 6) tritt dieser Termin schon um oder kurz vor dem 10. September ein.

Der Zeitpunkt des Übergangs von der Austrocknungs- zur Akkumulationsphase scheint von der Seehöhe abhängig zu sein. Bei den deutlich niedriger liegenden Flächen Buchgraben und Augustinerwald beginnt diese erst gegen Ende September. Einzige Ausnahme dazu bildet hier die Meßfläche Jägerwiesgraben. Obwohl diese Fläche im Kammbereich des Leithagebirges liegt, wird hier das Minimum der Bodenfeuchte im Schnitt erst um den 20. September erreicht.

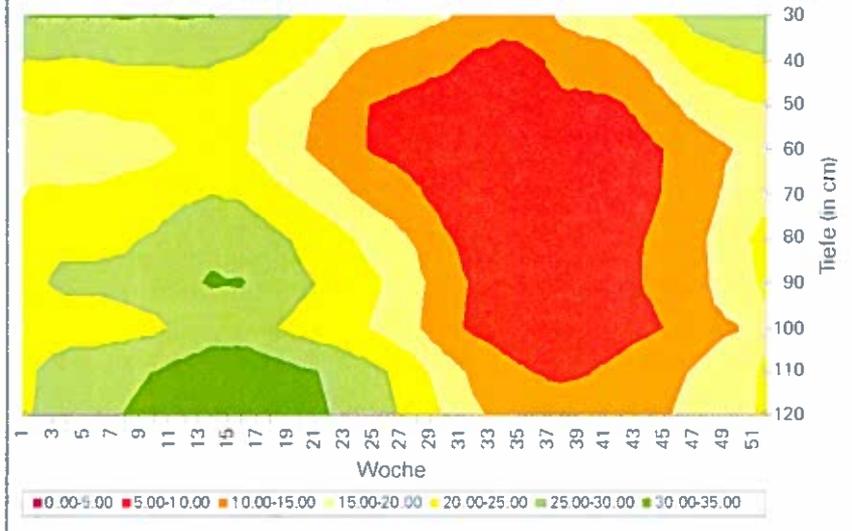
Auch der Zeitpunkt des Übergangs von der Austrocknung zur Akkumulation ist nicht an allen Flächen von der Bodentiefe abhängig. Am stärksten ist diese Abhängigkeit bei der Meßfläche Hollerhöhe ausgeprägt. Hier wird das Minimum der Bodenfeuchte in 30 cm Tiefe im Schnitt schon in der ersten Augusthälfte erreicht, in Tiefen von mehr als 120 cm dagegen erst Ende Oktober. Dagegen zeigen die errechneten mittleren Eintrittstermine an der Meßfläche Buchgraben wenig Änderung mit der Tiefe.

Trotz der sechsjährigen Meßreihe sind die gewonnenen Resultate nicht ganz von einzelnen Extremereignissen unbeeinflusst. Aus diesem Grund wird das Ergebnis durch das vorzeitige Ende der Austrocknungsphase im Jahr 1995 durch extrem hohe Niederschläge (siehe Abschnitt 4.5) etwas verfälscht. Werden die Ergebnisse von 1995 nicht mit berücksichtigt, verschieben sich die mittleren Eintrittstermine für den minimalen Bodenfeuchtegehalt um 3 bis 7 Tage, wobei die schon von vornherein späteren Eintrittstermine die größere Korrektur erfahren. Dadurch wird die Differenzierung nach der Seehöhe noch deutlicher ausgeprägt, so daß die um etwas mehr als 100 m Höhenunterschied zwischen der Fläche Buchgraben und Kolmberg fast drei Wochen Unterschied beim Zeitpunkt des Übergangs von Austrocknung zu Wiederbefeuchtung entsprechen.

Somit dauert die sommerliche Austrocknungsphase je nach Seehöhe unterschiedlich lang. An den tiefstgelegenen Flächen Buchgraben und Augustinerwald etwa 170 Tage, an den im tiefer liegenden Teil des Kammereichs befindlichen Flächen Jägerwiesgraben, Abgebrannte und Hollerhöhe etwa 160 Tage und an der höchstgelegenen Fläche Kolmberg ca. 150 Tage. Wie schon erwähnt, verlängert sich dieser Zeitraum um 3 bis 7 Tage, wenn man das ungewöhnliche Jahr 1995 nicht berücksichtigt.

Als Beispiel für einen mittleren Jahresgang der Bodenfeuchte ist der Bodenfeuchtegang des trocken-

Abb. 14:  
Mittlerer Gang der Bodenfeuchte an der Meßfläche 2 (Angaben in Volumsprozent).



sten Profils der Fläche Augustinerwald (Fläche 2) in Abbildung 14 dargestellt.

Sehr deutlich ist der Verlauf der Austrocknung des Bodenprofils zu erkennen, wobei der Beginn in etwa in die 15. bis 16. Woche fällt. Ende Juni ist die Bodenfeuchte im Bereich zwischen 50 und 60 cm bereits auf unter 10 Volumsprozent gesunken. Zum Zeitpunkt der stärksten Austrocknung (um den 20. September) enthält praktisch das gesamte Profil weniger als 10 Prozent Wasser. An der Oberfläche tritt danach sehr rasch wieder eine Anfeuchtung des Bodens ein, so daß hier im Dezember schon fast wieder das Ausgangsniveau erreicht wird. In größerer Tiefe ist dieses bei weitem noch nicht erreicht.

#### 4.4.2 TDR-Sondenmessungen

Die mit der TDR-Sonde ermittelten oberflächennahen Bodenfeuchteverhältnisse geben bezüglich der Dauer des hydrologischen Jahres nur bedingt Aufschluß. In diesen geringen Bodentiefen ist der Einfluß der aktuellen Witterung bereits deutlich ausgeprägt, sodaß der hydrologische Zyklus von den Auswirkungen weit weniger extremer Niederschlagsereignisse, wie dies 1995 der Fall war, überlagert werden kann.

Diese Überlagerung ist vor allem in der geringeren Meßtiefe (0-15 cm) ausgeprägt. So war zum Beispiel der Boden in dieser Tiefe im Jahr 1995 an allen Meßflächen nach den extremen Niederschlägen im September noch feuchter als im Frühjahr dieses Jahres und Mitte Mai desselben Jahres deutlich trockener als Mitte Juni.

Weiters können die Mittelwerte aufgrund der wesentlich kürzeren Meßreihe nicht unmittelbar mit

den Werten der Neutronensonde verglichen werden. Das eher ungewöhnliche Jahr 1995 mit extremen Niederschlägen im September und einer dadurch verkürzten Austrocknungsphase, vermindert zusätzlich diese Vergleichbarkeit.

Trotz alledem kann man die im einzelnen in 30 und 40 cm Tiefe mit der Neutronensondenmessung ermittelten Übergänge von Akkumulation des Bodenwassers zur Austrocknung des Bodens und umgekehrt auch bei den Messungen mit der TDR-Sonde finden. So wurde im Jahr 1994 der niedrigste mittlere Wert

der Bodenfeuchte in 0-30 cm Tiefe an allen Flächen Ende September registriert. Bei der Neutronensondenmessung in 30 cm Tiefe war dies außer beim Meßpunkt der Meßfläche Hollerhöhe (minimale Bodenfeuchte bereits Anfang September) auch zu diesem Termin der Fall.

#### 4.5 Zeitliche Analyse der Bodenfeuchte in Abhängigkeit von der Witterung.

##### 4.5.1 Allgemeine Charakterisierung der Niederschlagsverhältnisse

Für den Verlauf der Bodenfeuchte in den Einzeljahren der Messung ist der Niederschlag das entscheidende meteorologische Element. Aus diesem Grund wurde vor allem nach den Zusammenhängen zwischen den Niederschlagsmengen und dem Verlauf der Bodenfeuchte gesucht. Als Basisinformation sind in Tabelle 9 die Monatssummen des Niederschlags für die betreffenden Jahre 1991-1996 zusammen mit dem zehnjährigen Mittelwert über den Zeitraum 1981-1990 für die ausgewählte Station Mannersdorf und der FBVA-Station (soweit vorhanden) gegenübergestellt.

Die trockensten Jahre waren die Jahre 1992 und 1994, was sich auch schon in den Jahressummen niederschlägt. Allerdings liegen die Jahreswerte noch immer über dem 10jährigen Mittelwert der Jahre 1981-1990.

Im Jahr 1992 waren die Monate Jänner und Februar, April und Mai trocken. Im August 1992 fiel besonders wenig Niederschlag. Außerdem wurden sehr hohe Temperaturen verzeichnet. Nach den

Tab. 9:  
 Monatsniederschlagssummen der Station Mannersdorf (M) des hydrographischen Dienstes Niederösterreich und der FBVA-Station (F) in den Jahren 1991-1996, sowie die Mittelwerte der Station Mannersdorf für die Zeiträume 1981-1990 sowie 1991-1996.

Monat	Stat.	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1981-1990	1991-1996
1	M	4,3	14,5	29,4	31,6	28,4	52,6	34,0	26,8
	F		21,9						
2	M	31,5	12,8	15,9	10,7	39,4	31,6	39,0	23,7
	F		18,2		12,9	44,3	36,4		
3	M	38,3	93,4	21,6	28,4	83,5	35,2	36,0	50,1
	F	47,4	95,0		34,4	78,2	32,7		
4	M	18,6	25,4	16,1	72,0	73,1	102,6	39,0	51,3
	F	18,8			91,2	90,0			
5	M	214,4	11,2	43,6	75,8	55,1	124,5	64,0	87,4
	F					61,1	129,7		
6	M	82,0	93,3	60,2	45,4	71,8	99,9	68,0	75,4
	F					75,1	99,8		
7	M	82,0	87,4	121,0	33,9	12,2	67,7	49,0	67,4
	F				89,3	9,6	56,8		
8	M	30,3	9,3	72,0	67,4	63,4	110,9	77,0	58,9
	F		5,5			86,4	95,8		
9	M	48,4	67,0	44,7	36,7	206,5	106,8	64,0	85,0
	F				42,4	203,8	158,4		
10	M	20,2	62,3	116,6	90,2	16,5	47,1	41,0	58,8
	F					17,9	53,6		
11	M	98,5	99,0	63,9	74,1	45,5	23,0	41,0	67,3
	F	113,7			71,9	50,6	23,8		
12	M	35,7	64,8	64,3	43,5	97,2	16,8	41,0	53,7
	F	53,4			55,6				
Jahr	M	704,2	640,4	669,3	609,7	792,6	818,7	593,0	705,8
	F								

Angaben der ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (1992) lag die Temperatur im Osten von Österreich um mehr als 5 Grad über dem langjährigen Schnitt.

Im Jahr 1994 lagen die Niederschlagswerte in den Monaten Februar und März, sowie in den Monaten Juni, Juli und September deutlich unter dem Normalwert. Dazu kam noch, daß vom Juni bis September 1994 die Temperaturwerte teilweise recht deutlich über dem Normalwert lagen (ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1994). Das feuchteste Jahr war dagegen das Jahr 1996, in dem es außer im November und Dezember durchgehend zumindest durchschnittliche Niederschlagsmengen gab bzw. in den meisten Monaten

deutlich überdurchschnittliche Mengen zu verzeichnen waren.

Besonders extreme Niederschlagsmengen (mit Mengen über 200 mm) wurden im Mai 1991 und im September 1995 verzeichnet.

#### 4.5.2 Zeitlicher Verlauf der Bodenfeuchte in den einzelnen Jahren

##### 4.5.2.1 Neutronensondennmessungen

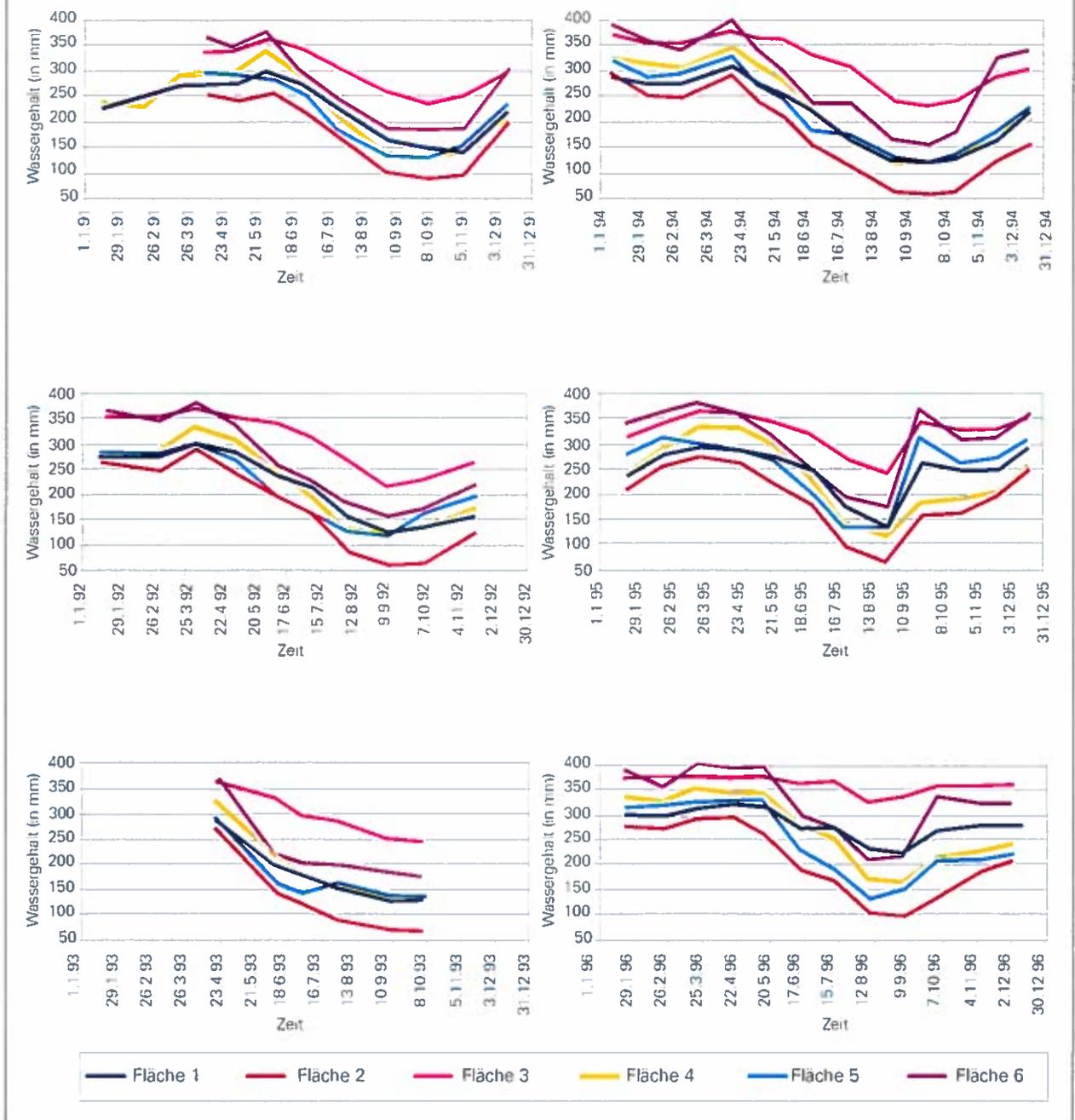
Zur Gegenüberstellung der Jahresgänge der Bodenfeuchte mit der Witterung wird die Wassermenge im Boden zwischen 30 und 120 cm herangezogen. Der im folgenden beschriebene jährliche Verlauf des Wassergehalts in diesem Bodenbereich ist in der Abbildung 15 für alle sechs Einzeljahre dargestellt.

Zu Beginn des Jahres 1991 stehen nur Daten der Meßflächen 1 und 4 zur Verfügung. Von einem niedrigen Niveau ausgehend steigen die Bodenfeuchtwerte bis zum Frühjahr hin noch deutlich an. Die Böden hatten anscheinend zu diesem Zeitpunkt noch nicht die volle Winterfeuchte erreicht. Wegen der geringen Niederschläge zu Beginn des Jahres 1991 (siehe Tabelle 9) geht die Auffüllung des Bodenwasservorrates auch nur langsam vor sich. Mitte Mai fallen rekordverdächtige Niederschläge. An der Station Mannersdorf wird am 17. Mai eine Tagesniederschlagsmenge von 131 mm verzeichnet. Diese extremen Niederschläge lassen die Bodenfeuchtwerte bei der Messung Ende Mai, Anfang Juni auf das Jahresmaximum hochschnellen. Im Normalfall hätte die Bodenfeuchte zu diesem Zeitpunkt bereits deutlich abgenommen und der Wassergehalt im Boden läge bereits um etwa 50 bis 100 mm unter den angegebenen Werten. Ab diesem Zeitpunkt erfolgt trotz weiterer ausreichender Niederschläge im Juni und Juli eine kontinuierliche Austrocknung des Bodens, die bis zur Messung Anfang September relativ konstant verläuft. An den tiefer gelegenen Flächen 1 bis 3 trocknet der Boden noch etwas aus, an den übrigen Flächen ändern sich die Verhältnisse kaum. Erst die deutlich über dem zehnjährigen Mittel liegenden Niederschläge im November 1991 lassen die Bodenfeuchte spürbar ansteigen.

Zu Beginn des Jahres 1992 liegen die Bodenfeuchtwerte auf höherem Niveau als 1991. Die wieder trockenen Wintermonate Jänner und Februar 1992 ändern die Feuchteverhältnisse kaum. Erst der feuchte März läßt die Bodenfeuchtwerte Anfang April noch etwas ansteigen und der Maximalwert des Jahres ist erreicht. Ab diesem Zeitpunkt

Abb. 15:

Verlauf der Bodenfeuchte an den einzelnen Meßflächen in den einzelnen Jahren (1991-1996) charakterisiert durch die Wassermenge zwischen 30 und 120 cm.



nimmt an allen Meßflächen die Bodenfeuchte rasch ab. Nur bei Meßfläche 3 ist die Abnahme zunächst noch nicht so stark ausgeprägt. Ab Anfang Juli beginnt auch an dieser Fläche die Bodenfeuchte stark abzunehmen. Anfang September wird das Jahresminimum erreicht, welches deutlich unter dem Vorjahreswert liegt. Ursache dieser starken Austrocknung ist vor allem der extreme August des Jahres 1992 (siehe vorigen Abschnitt). Anfang Oktober steigt die Bodenfeuchte wieder etwas an

und der Bodenwasservorrat wird durch die überdurchschnittlichen Niederschlagsmengen im Herbst wieder aufgefüllt.

Wegen längeren Meßunterbrechungen zu Beginn und am Ende des Jahres 1993 stehen nur Daten von Mitte April bis Anfang Oktober zur Verfügung. Sie umfassen aber immerhin den ökologisch wichtigsten Zeitraum der Vegetationsperiode. Die Maximalwerte im April 1993 liegen auf einem normalen Niveau. Da aber von April bis Mai nicht genügend Nieder-

schläge fallen und der Mai 1993 auch noch um mehr als 2 °C zu warm ist (ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1993), trocknen die Böden um einiges rascher aus als normal. Die einzige Ausnahme bildet wieder der Pseudogley an Meßfläche 3, wo die Austrocknung eher langsam erfolgt. Ab dem Meßtermin im Juni verlangsamt sich die Austrocknung an allen Flächen deutlich aufgrund der im Juli und August höheren Niederschlagsmengen. Der minimale Bodenwassergehalt des Jahres wird bei der Messung Anfang Oktober registriert. Dieser ist an fast allen Meßflächen etwas höher als beim Minimum im Jahr zuvor. Einzig und allein die Parabraunerde bei Meßfläche 1 ist Anfang Oktober 1993 ähnlich trocken wie im September 1992.

Zu Beginn des Jahres 1994 liegt der Wassergehalt der Böden bereits auf hohem Niveau. Die Werte liegen noch etwas höher als im Jahr 1992. Nachdem die Werte im Februar und März sogar etwas abgenommen haben, folgt eine feuchte Witterungsperiode, die zu einem neuerlichen Ansteigen und zum Erreichen des Maximums der Bodenfeuchte Mitte April führt. Die sommerliche Austrocknungsphase verläuft an den meisten Meßflächen recht gleichmäßig. Nur an den Meßflächen 5 und 6 kommt es im Juli zu einem kurzen Stillstand der Austrocknung. Grund dafür könnte ein heftiges Gewitter sein, das am 19. Juli auftrat und kleinräumig intensive Niederschläge verursachte. Die HZB-Station Mannersdorf verzeichnete an diesem Tag zwar nur 10,5 mm Niederschlag, doch registrierte die den Versuchsflächen nahe gelegene FBVA-Station 45,8 mm (dies ist auch der Grund dafür, daß sich die Niederschlagssummen für das betreffende Monat in Tabelle 9 zwischen der FBVA-Station und der HZB-Station Mannersdorf deutlich unterscheiden). Die minimalen Bodenfeuchtwerte werden Ende September erreicht und sind zum Teil die niedrigsten des gesamten Untersuchungszeitraums. Der Grund dafür liegt in praktisch durchgehend unter den langjährigen Werten liegenden Niederschlägen im Zeitraum Juni bis September 1994 (siehe Tabelle 9). Die Wiederbefeuchtung des Bodens erfolgt besonders im November und hier vor allem bei Meßfläche 6 recht zügig, so daß hier die Werte am Ende des Jahres 1994 höher als in den Jahren davor zu liegen kommen.

Zu Beginn des Jahres 1995 sind die Böden an den einzelnen Meßflächen bei weitem nicht so feucht wie ein Jahr zuvor. Da im Februar und März mehr Niederschläge zu verzeichnen sind als in den Jahren zuvor, steigt die Bodenfeuchte bis zum Märztermin

an. Sie beginnt allerdings Ende April bereits wieder zu sinken. Die hohen Werte des April 1994 werden jedenfalls nicht erreicht. Die Austrocknung geht besonders rasch im Juli 1995 vor sich. Dies ist aber nicht überraschend, da in diesem Monat fast keine Niederschläge fallen, und die Temperatur etwa 3 °C über dem Normalwert liegt (ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1995). Somit sind die Böden zu diesem Zeitpunkt fast ähnlich stark ausgetrocknet wie ein Jahr davor. Dieser Zustand ändert sich gänzlich, als im September große Niederschlagsmengen auftreten und den Boden dementsprechend befeuchten. Nachdem von der FBVA-Station schon an den ersten vier Tagen des Monats rund 50 mm registriert wurden, fallen zur Monatsmitte innerhalb einer Woche rund 140 mm Niederschlag. Diese großen Niederschlagsmengen bewirken ein für diese Jahreszeit überhaupt nicht übliches starkes Ansteigen der Bodenfeuchte. Dieser Anstieg ist allerdings unterschiedlich ausgeprägt. Bei der Felsbraunerde bei Meßfläche 5 werden sogar höhere Werte als im Frühjahr verzeichnet. Bei der Rendsina an Fläche 6 ist dieser Anstieg ähnlich hoch. Bei den anderen Meßflächen ist der Anstieg der Bodenfeuchte dagegen weit weniger stark ausgeprägt. Auffallend ist allerdings, daß an den Flächen 5 und 6 der Wassergehalt im Boden bei der Messung Ende Oktober wieder deutlich abnimmt, bei den Flächen 2 und 4, dagegen noch weiter zunimmt, obwohl im Oktober wenig Niederschläge zu verzeichnen waren. Dies könnte mit einer an den einzelnen Bodenprofilen unterschiedlich rasch verlaufenden Versickerung des überschüssigen Bodenwassers zusammenhängen. Da die Messung der Bodenfeuchte im September 1995 unmittelbar nach der feuchten Witterungsperiode zur Monatsmitte erfolgte, könnte zu diesem Zeitpunkt an den betreffenden Flächen ein Teil des überschüssigen Bodenwassers noch gar nicht die Meßtiefe von 30 cm erreicht haben. Darauf weisen auch die TDR-Sondenmessungen an den Meßflächen 2 und 4 hin. Im Gegensatz zu den Neutronensondenmessungen in größerer Tiefe wird hier bei der Messung im September sehr wohl das Frühjahrsniveau erreicht und beim Oktobertermin eine Abnahme im Wassergehalt verzeichnet. Die stärkeren Niederschläge im Dezember lassen die Bodenfeuchte an allen sechs Flächen deutlich ansteigen.

Wie schon in Kapitel 4.5.1 erwähnt, stellte das Jahr 1996 das feuchteste Jahr des gesamten Untersuchungszeitraums dar. Diese Tatsache kommt natürlich auch bei der Bodenfeuchte zum Ausdruck.

Fast an allen Meßflächen (Ausnahme ist Fläche 5) werden im Frühjahr 1996 die höchsten Wassergehalte des gesamten Untersuchungszeitraums gemessen. Manche dieser Extremwerte werden erst Mitte Mai, also ungewöhnlich spät verzeichnet. Ein weiteres Indiz für die besonders feuchten Verhältnisse während der Vegetationszeit ist die Tatsache, daß der Pseudogley bei Meßfläche 3 fast nicht austrocknet. Der Wassergehalt liegt zum Zeitpunkt des Minimums (schon im August) gerade um 50 mm unter dem Maximalwert im Mai. Im Jahr 1992 betrug dieser Unterschied das dreifache. Das Gegenteil dazu stellt die Felsbraunerde bei Fläche 5 dar. Trotz der feuchten Witterung trocknete der Boden fast genauso stark aus wie in den Jahren zuvor.

#### 4.5.2.2 TDR-Sondenmessungen

Die im August 1994 begonnenen TDR-Sondenmessungen liefern Informationen über die Bodenfeuchteverhältnisse der obersten 30 cm Tiefe. Der Wassergehalt des Bodens reagiert in diesem Bereich schneller und stärker auf die sich ständig ändernden Witterungsbedingungen als die Bodenfeuchte in größeren Tiefen.

Diese Tatsache ist auch in den Abbildungen 16a und 16b ersichtlich, wo die mittleren Bodenfeuchtwerte der 16 TDR-Meßpunkte pro Fläche dargestellt sind. Neben dem normalen hydrologischen Zyklus (siehe Abschnitt 4.4) sind in den Abbildungen auch deutlich Abweichungen davon zu erkennen. So zum Beispiel Ende Juni 1995, wo der Grad der Austrocknung des Bodens weniger stark

ausgeprägt ist als normal oder der Wassergehalt sogar zunimmt. Die massiven Niederschläge im September 1995 sind natürlich auch bei den TDR-Sondenmessungen erkennbar. Im Gegensatz zu den Verhältnissen in größeren Tiefen (vgl. vorigen Abschnitt) nimmt die Feuchte Ende Oktober an allen Flächen wieder ab. Schließlich ist auch noch eine weitere Abweichung gegenüber dem normalen Zyklus im Juli 1996 zu erkennen. Die Gründe für all diese Abweichungen vom normalen Verlauf liegen in einer besonders feuchten Witterung jeweils in der Zeit unmittelbar vor den Messungen. Mit Ausnahme des Extremereignisses im September 1995, wurden diese feuchten Witterungsperioden aber praktisch nur im Oberboden (in den obersten 30 cm) des Bodens wirksam.

In den Abbildungen 16a und 16b ist noch eine Tatsache auffällig. Die ansonsten sehr parallel mit den übrigen Kurven verlaufende mittlere Bodenfeuchte der Fläche 3 weist zu Beginn der Vegetationsperiode 1996 eine große Differenz zu den übrigen Werten auf. Der Unterschied zwischen den Werten der Fläche 3 und den der übrigen Flächen verringert sich allmählich zum Sommer hin. Die Ursache dafür liegt in einer teilweisen Überflutung der Fläche im April 1996. Der Grund für solche Überflutungen bei Fläche 3 wurde bereits in Kapitel 4.1.2 erwähnt. Diese Überschwemmung verursachte einen deutlich über dem normalen Wassergehalt liegenden Wert in den obersten Bodenschichten. Der Einfluß dieses erhöhten Wassergehalts ist aufgrund der weiter feuchten Witterung bis in den Sommer hinein gegeben.

Abb. 16a:

Verlauf der mittleren Bodenfeuchte an den einzelnen Meßflächen in 0-15 cm Tiefe.

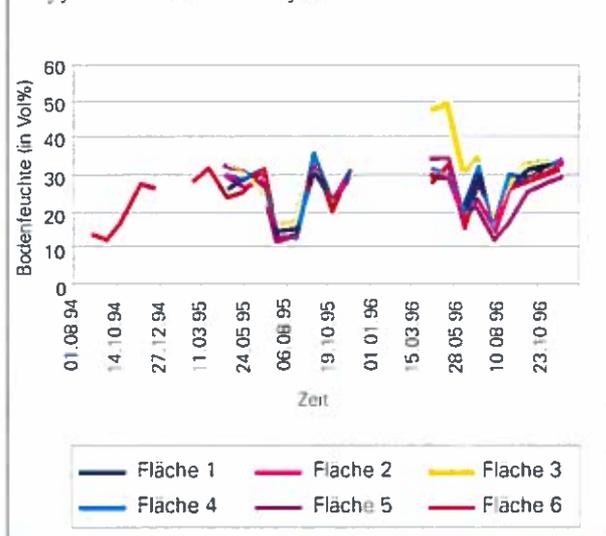
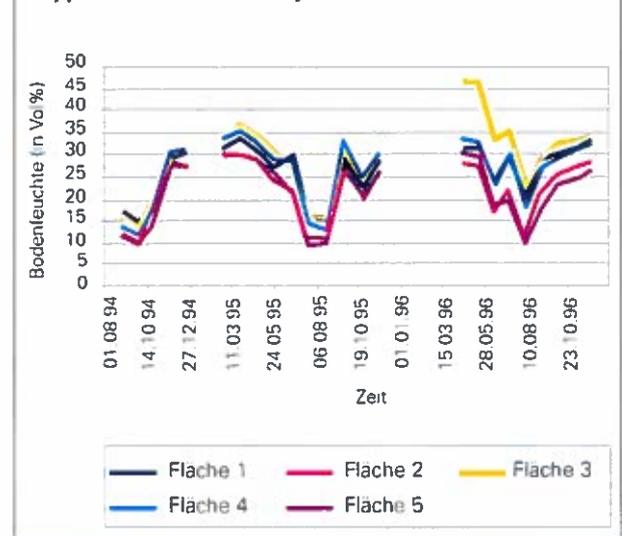


Abb. 16b:

Verlauf der mittleren Bodenfeuchte an den einzelnen Meßflächen in 0-30 cm Tiefe.



#### 4.6 Vereinfachte Bodenwasserbilanzen der Versuchsflächen

##### 4.6.1 Allgemeines

In diesem Kapitel wird versucht, die Meßflächen über ihren Bodenwasserhaushalt zu charakterisieren. Da nicht alle dafür relevanten Größen gemessen wurden, kann dies nur in vereinfachter Form geschehen.

Nach BAUMGARTNER & LIEBSCHER (1990) läßt sich der Bodenwasserhaushalt wie folgt darstellen:

$$P = I + E + T + R_o + R_{on} + R_s + \Delta S$$

Der Niederschlag  $P$  verteilt sich auf die Interzeption  $I$ , die Verdunstung vom Boden  $E$ , die Transpiration  $T$ , sowie die Abflüsse  $R_o$  (=Oberflächenabfluß),  $R_{on}$  (=oberflächennaher Abfluß) und  $R_s$  (=vertikale Versickerung). Das restliche Wasser wird vom Boden gespeichert und ändert den Bodenwasservorrat  $\Delta S$ . Man kann diese Gleichung vereinfachen, indem man mehrere Glieder zusammenfaßt und schreibt:

$$P_i = ET + R + \Delta S$$

Die Größe  $P_i$  stellt den in den Boden infiltrierenden Niederschlag dar (d.h. Niederschlag - Interzeption),  $ET$  die Verdunstung von Boden und Pflanzendecke,  $R$  die Summe aus den Abflüssen und der Versickerung, und  $\Delta S$  die Änderung des Bodenwasservorrats.

Die Größen  $P_i$  und  $\Delta S$  wurden gemessen, die Größen  $ET$  und  $R$  nicht. Allerdings kann man die maximal mögliche Verdunstung  $ET_p$  aus gängigen Formeln schätzen.

Für diese Arbeit wurde die Formel nach TURC (1961) verwendet. In diese gehen vor allem die meteorologischen Parameter Temperatur  $T$  und Globalstrahlung  $G$  ein. Die relative Luftfeuchtigkeit  $RF$  wird nur im Falle von sehr trockener Luft für Korrekturzwecke benutzt (vgl. SCHRÖDTER 1985). Für Luftfeuchten über 50 % wird der Wert 50 eingesetzt, sodaß für diesen Fall der letzte Faktor in der folgenden Gleichung gleich eins wird.

$$\frac{ET}{P} = \frac{0,4 \cdot T}{T + 15} \cdot (0,2338 \cdot G + 50) \cdot \left(1 + \frac{50 - RF}{70}\right)$$

Die Temperatur  $T$  entspricht der mittleren Temperatur in °C während der betrachteten Zeit, die Strahlung  $G$  der mittleren Globalstrahlung in  $J/cm^2$  und

die Feuchte  $RF$  der mittleren Luftfeuchte in Prozent. Der Faktor 0,2338 kommt dadurch zustande, daß die ursprüngliche Formel nicht für  $J/cm^2$  sondern für  $cal/cm^2$  angegeben wurde und  $1 J = 0,2338 cal$  entspricht. Alle für diese Formel notwendigen Eingangsparameter wurden an der FBVA-Station gemessen.

Da die Daten der FBVA-Station ab 1994 praktisch vollständig verfügbar waren, und davor größere Datenlücken aufgetreten waren (vgl. Abschnitt 3.1.3), wurde der Zeitraum, auf den sich die folgenden Auswertungen beziehen, auf die Jahre 1994 bis 1996 beschränkt.

##### 4.6.2 Klimatische Wasserbilanz und vereinfachte Bodenwasserbilanz

Nach dem ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG (1996) entspricht die klimatische Wasserbilanz dem Teil des Niederschlages, der theoretisch für die Wiederauffüllung des Bodenwasserspeichers, für die Grundwassererneuerung bzw. für den oberirdischen Abfluß zur Verfügung steht. Die Bilanz errechnet sich aus der Differenz zwischen Niederschlag ( $P$ ) und potentieller Verdunstung ( $ET_p$ ).

$$kWB = P - ET_p$$

Wie schon oben erwähnt, wurden für die Errechnung der Bilanz die Jahre 1994 bis 1996 herangezogen. Die Unterschiede zwischen den Witterungsverläufen der drei Jahre wird dabei besonders deutlich (vgl. dazu Abschnitt 4.5.1).

In den Abbildungen 17, 18 und 19 sind für die jeweiligen Jahre die auf Tagesbasis errechneten und vom Startzeitpunkt (1. April) weg akkumulierten klimatischen Wasserbilanzen bis zum 31. Oktober dargestellt.

Die Vegetationsperiode des Jahres 1994 beginnt zunächst sehr feucht, sodaß die Niederschlagsmengen die zu diesem Zeitpunkt noch relativ geringen Verdunstungsmengen deutlich überwiegen. Um den 20. April kehren sich die Verhältnisse um, und die bis dahin deutlich positive Bilanz beginnt zu sinken. Das Maximum der akkumulierten Wasserbilanz entspricht gleichzeitig auch dem Maximum der Bodenfeuchtwerte im Jahr 1994 (vgl. Abschnitt 4.5.2). Anfang Juni beginnt die Bilanz stark abzunehmen. Diese Abnahme verläuft recht kontinuierlich bis Mitte August mit einer kurzen Unterbrechung Mitte Juli. Auch diese kontinuierlich starke Abnahme der akkumulierten Bilanz ist in den Bodenfeuchtwerten wiederzufinden. Nachdem in

der zweiten Augushälfte die Bilanzen eher ausgeglichen sind, nimmt die akkumulierte Bilanz im September noch etwas ab und erreicht Anfang Oktober mit -225 mm das Minimum.

Abb. 17:  
Akkumulierte Wasserbilanz (P-ET<sub>p</sub>) für das Jahr 1994, ausgehend vom 1. April bis zum 31. Oktober.

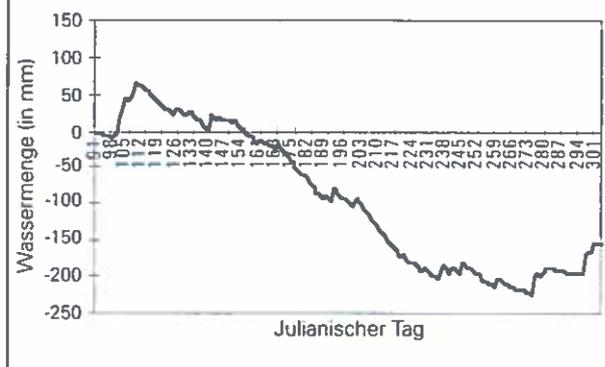
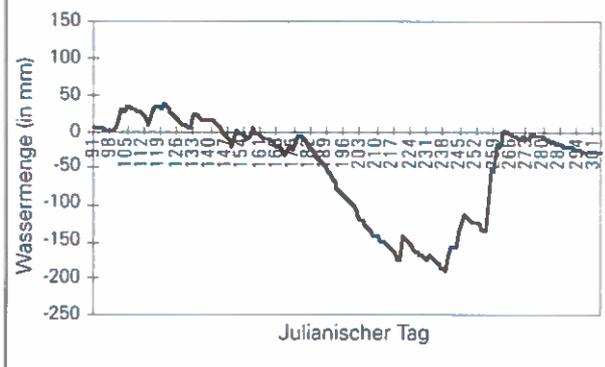


Abb. 18:  
Akkumulierte Wasserbilanz (P-ET<sub>p</sub>) für das Jahr 1995, ausgehend vom 1. April bis zum 31. Oktober.

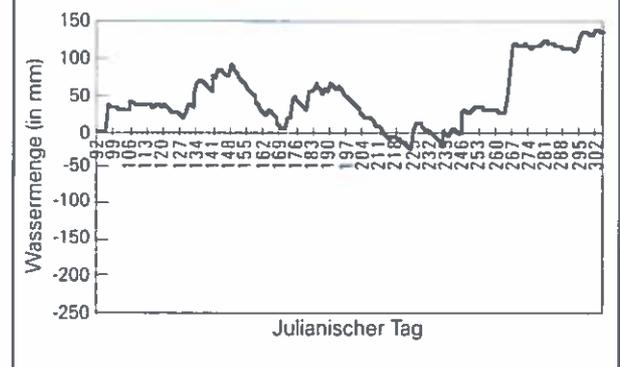


Im Jahr 1995 ist die Bilanz vom April bis Ende Juni mehr oder minder ausgeglichen, wobei ab Anfang Mai die Verdunstung eher überwiegt und die akkumulierte Bilanz langsam abnimmt. Im Juli ist die klimatische Wasserbilanz besonders negativ. Der akkumulierte Wert sinkt von nahe null auf minus 175 mm Anfang August. Bis Ende August sind die Werte der Bilanz bei weitem weniger stark negativ und die akkumulierte Bilanz sinkt Ende August auf das Minimum von minus 187 mm. Die großen Niederschlagsmengen im September (vgl. Abschnitt 4.5.1) führen dazu, daß die akkumulierte Bilanz bis zum 20. September praktisch wieder auf null (d.h. Startwert vom April) zurückgeht. Danach sind die Bilanzen wieder leicht negativ.

Vergleicht man dazu die Bodenfeuchtwerte, so ist das Maximum bereits im März anzutreffen (vgl.

Abschnitt 4.5.2) und die Werte nehmen von da an relativ gleichmäßig ab. Naturgemäß wirken sich die großen Niederschlagsmengen im September auch auf die Bodenfeuchtwerte aus. Allerdings reagieren

Abbildung 19:  
Akkumulierte Wasserbilanz (P-ET<sub>p</sub>) für das Jahr 1996, ausgehend vom 1. April bis zum 31. Oktober.



die einzelnen Böden unterschiedlich. Die Böden bei den Flächen 1, 3, 5 und 6 erreichen in etwa die Frühjahrswerte im Wassergehalt; die Böden der Flächen 2 und 4 bleiben dagegen deutlich darunter.

Wie schon mehrmals erwähnt war das Jahr 1996 sehr feucht. Dies wird auch aus Abbildung 19 deutlich. Der Wert der akkumulierten Bilanz wird über den gesamten betrachteten Zeitraum praktisch nicht negativ (das Minimum liegt bei minus 25 mm). Nur in der ersten Maihälfte und im Zeitraum vom 15. Juli bis 15. August überwiegt die Verdunstung eindeutig den Niederschlag. Von da an sind wieder eher positive Bilanzen zu verzeichnen und um den 20. September steigt die akkumulierte Wasserbilanz rapide auf Werte von plus 120 mm an.

Durch die feuchte Witterung im Frühjahr (positive Wasserbilanzen) bleiben die Bodenfeuchtwerte bis in den Mai hinein konstant hoch (vgl. 4.5.2). Die stärkste Austrocknung erfolgt korrespondierend mit der Wasserbilanz zwischen Mitte Juli und Mitte August.

Beim Vergleich zwischen dem Verlauf der akkumulierten klimatischen Wasserbilanz und der Bodenfeuchte an den einzelnen Flächen ist eine mehr oder minder gute Übereinstimmung festzustellen. Es wurde nun versucht, diese Zusammenhänge näher zu durchleuchten. Zu diesem Zweck wurde eine Regression zwischen der Wasserbilanz im jeweiligen Meßintervall als unabhängige Variable und der dazugehörigen Änderung des Bodenwassergehalts als abhängige Variable für jede Fläche durchgeführt. In Tabelle 10 sind die Ergebnisse zusam-

mengefaßt. Der Regression lagen 21 Werte ausgehend vom September 1994 bis zum Dezember 1996 zugrunde. Die Einschränkung der Werte im Jahr 1994 kam durch den späten Beginn der TDR-Sondenmessungen im Jahr 1994 zustande. Die Ergebnisse dieser Messungen dienten als Grundlage für die Abschätzung der Änderung des Bodenwassergehalts in den obersten 30 cm.

Tab. 10:  
Zusammenhang zwischen der klimatischen Wasserbilanz (unabhängige Variable) und der Änderung des Bodenwassergehalts (abhängige Variable) an den jeweiligen Flächen.

Fläche	Bestimmtheitsmaß (R <sup>2</sup> )	Achsenabschnitt der Regression	Steigung der Regression
1	0,918	-8,45	0,928
2	0,739	-11,56	0,943
3	0,928	-11,03	0,915
4	0,779	-13,76	0,985
5	0,734	-18,33	1,238
6	0,740	-10,70	1,417

Die Flächen lassen sich in zwei Kategorien einteilen. Zur ersten Kategorie gehört Fläche 1 und 3. Hier ist der Zusammenhang zwischen der klimatischen Wasserbilanz und der Änderung des Bodenwassergehalts sehr gut. Über 90 Prozent der Varianz des Bodenwassergehalts lassen sich über die klimatische Wasserbilanz erklären. Die Flächen scheinen hauptsächlich von der Wasserzufuhr durch den Niederschlag und dem Verbrauch von Wasser durch die Verdunstung geprägt zu sein.

Die zweite Kategorie sind die Flächen 2 und 4 bis 6. Hier ist der Zusammenhang mit der klimatischen Wasserbilanz deutlich weniger ausgeprägt. Nur 74 bzw. 78 Prozent (bei Fläche 4) der Varianz wird durch die klimatische Wasserbilanz erklärt. Der Rest ist anderen Faktoren zuzuschreiben (Versickerung bzw. Zu- und Abflüsse). Auffallend hoch sind die Werte der Steigung bei Fläche 5 und 6. Das heißt, daß die Änderungen im Bodenwassergehalt zumeist größer sind als die klimatische Bilanz. Dies bedeutet, sofern man von der Richtigkeit der errechneten Verdunstungswerte ausgehen kann, daß bei Wasserüberschuß mehr Wasser im Boden ist, als nach der klimatischen Wasserbilanz sein sollte.

Zum Abschluß dieses Kapitels wird versucht, die einzelnen Komponenten des Bodenwasserhaushalts gegenüberzustellen. Dabei wurde die Summe aus Verdunstung (ET) und Abfluß bzw. Versickerung (R)

aus den gemessenen Größen Niederschlag (P), Interzeption (I) und der Änderung des Bodenwassergehalts ( $\Delta S$ ) abgeschätzt. Der Niederschlag entsprach den Meßwerten der FBVA-Station. Die Interzeption ergab sich aus der Differenz zwischen dem Niederschlag und den an der jeweiligen Fläche gemessenen Bestandesniederschlag. Die Bodenwassergehaltsänderung wurde aus den Messungen der Bodenfeuchte mit Neutronen- und TDR-Sonde ermittelt. Die beiden Größen ET+R konnten aufgrund fehlender Messungen nicht voneinander abgegrenzt werden. Allerdings kann man aufgrund der vorhin beschriebenen Zusammenhänge zwischen der klimatischen Wasserbilanz und den Änderungen im Bodenwassergehalt davon ausgehen, daß vor allem an den Flächen 1 und 3 die Größen Abfluß und Versickerung eine eher untergeordnete Rolle spielen.

In der Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Berechnungen zusammengefaßt. Da die oberste Bodenschicht (bis 30 cm Tiefe) in die Berechnungen miteinbezogen werden mußten und die TDR-Sondenmessungen in dieser Tiefe erst im August 1994 begannen, konnte eine Bilanzierung erst ab diesem Zeitpunkt erfolgen.

Die sehr trockenen Verhältnisse im Jahr 1994 werden aus der Tatsache deutlich, daß an keiner der Meßflächen auch nur annähernd die Werte der potentiellen Evapotranspiration erreicht werden. Da sowohl ET als auch R im Hinblick auf den Wasserhaushalt Verbraucherterme darstellen, ist davon auszugehen, daß die Verdunstung zu diesem Zeitpunkt stark eingeschränkt war.

Im Jahr 1995, wo im betrachteten Zeitraum die potentielle Verdunstung den Niederschlag etwas überwiegt, wird vor allem an der Flächen 3 deutlich weniger Wasser verbraucht als die angegebenen potentiellen Verdunstungswerte. Demgegenüber entspricht der Wert bei Fläche 4 in etwa dem Wert der potentiellen Verdunstung.

Im Jahr 1996 liegen die Werte für ET+R im Verhältnis zu den potentiellen Verdunstungswerten bei allen Flächen höher, was dem besonders feuchten Charakter dieses Jahres entspricht. An den Flächen 2, 4 und 5 werden die  $ET_p$  erreicht oder sogar überschritten. Demgegenüber liegen die Werte für ET+R bei den Flächen 3 und 6 wieder deutlich unter den  $ET_p$ -Werten.

Da es an einigen Meßprofilen im Falle von sehr feuchten Witterungsperioden anscheinend zu Zuflüssen kommt, die den Wert ET+R vermindern bzw. sogar negativ werden lassen, sind die in Tabelle 11 angeführten Werte von ET+R nicht unmittelbar

vergleichbar. Dies wird vor allem dann deutlich, wenn man den extrem feuchten September 1995 in den Bilanzen nicht mitberücksichtigt. Vor allem an den Flächen 5 und 6 ergibt sich ein deutlich anderes Verhältnis zwischen ET+R und  $ET_p$ . Liegt das

Tab. 11:  
Abgeschätzte Komponenten des Wasserhaushalts für die einzelnen Flächen im Sommerhalbjahr für 1994, 1995 und 1996 (Bezeichnung der Komponenten nach Abschnitt 4.6.1). Aufgrund des erstmaligen Einsatzes der TDR-Sonde im August 1994 konnte nur der Zeitraum ab Ende August in die Auswertung miteinbezogen werden.

Fläche	Größe	1994	1995	1996
1	Zeitraum	29.08.-20.10.	24.03.-25.10.	19.04.-04.10.
	Dauer	52 Tage	215 Tage	168 Tage
	Niederschlag	94,7 mm	555,4 mm	559,1 mm
	Interzeption	31,6 mm	150,7 mm	158,2 mm
	ETp	95,7 mm	576,3 mm	496,0 mm
	ET + R	64,6 mm	474,5 mm	452,2 mm
2	Zeitraum	29.08.-19.10.	24.03.-24.10.	18.04.-04.10.
	Dauer	51 Tage	214 Tage	169 Tage
	Niederschlag	94,7 mm	555,4 mm	559,1 mm
	Interzeption	33,6 mm	172,7 mm	222,2 mm
	ETp	95,3 mm	575,3 mm	499,4 mm
	ET + R	40,6 mm	519,9 mm	502,5 mm
3	Zeitraum	31.08.-21.10.	24.03.-24.10.	18.04.-04.10.
	Dauer	51 Tage	214 Tage	169 Tage
	Niederschlag	86,3 mm	555,4 mm	559,1 mm
	Interzeption	37,5 mm	245,0 mm	254,1 mm
	ETp	92,3 mm	575,3 mm	499,4 mm
	ET + R	57,8 mm	413,9 mm	377,0 mm
4	Zeitraum	29.08.-19.10.	22.03.-24.10.	17.04.-02.10.
	Dauer	51 Tage	216 Tage	168 Tage
	Niederschlag	94,7 mm	557,4 mm	554,3 mm
	Interzeption	31,5 mm	142,5 mm	180,8 mm
	ETp	95,3 mm	576,6 mm	500,4 mm
	ET + R	52,2 mm	588,4 mm	513,1 mm
5	Zeitraum	31.08.-19.10.	24.03.-24.10.	17.04.-03.10.
	Dauer	49 Tage	214 Tage	169 Tage
	Niederschlag	86,2 mm	555,4 mm	558,0 mm
	Interzeption	26,8 mm	164,9 mm	180,8 mm
	ETp	91,1 mm	575,3 mm	500,8 mm
	ET + R	48,4 mm	476,4 mm	533,4 mm
6	Zeitraum	29.08.-19.10.	22.03.-25.10.	19.04.-02.10.
	Dauer	51 Tage	217 Tage	166 Tage
	Niederschlag	94,7 mm	557,4 mm	554,3 mm
	Interzeption	38,3 mm	228,4 mm	201,7 mm
	ETp	95,3 mm	577,4 mm	494,2 mm
	ET + R	29,3 mm	435,4 mm	415,9 mm

Verhältnis nach den ursprünglichen Angaben bei rund 83% für die Fläche 5 und 75 % für die Fläche 6, ergeben sich ohne Berücksichtigung des Septemberwertes die Prozentsätze 112 % für Fläche 5 und 105 % für die Fläche 6. Führt man dies auch für den feuchten September 1996 durch, so ergibt sich folgende Charakteristik für die einzelnen Flächen. Den niedrigsten Wasserverbrauch (ET+R) scheinen die Flächen 1 und 3 zu haben. Bei Fläche 3 werden nur Werte von 70 bis 80 Prozent der potentiellen Verdunstung erreicht. Den höchsten Wasserverbrauch (ET+R) weisen dagegen die Flächen 4, 5 und 6 auf.

#### 4.7 Feuchtezahlen nach Ellenberg

Auf allen Flächen (Abb. 20) überwiegen bei weitem die Arten mit Feuchtezahl "5", also "Frischezeiger mit Schwergewicht auf mittelfeuchten Böden" (ELLENBERG ET AL. 1991). Arten, die extreme Trockenheit oder Feuchte anzeigen, kommen nur vereinzelt vor. So sind nur auf der Fläche "Buchgraben" Trockenzeiger (Feuchtezahl "3"), und nur auf den Flächen "Jägerwiesgraben" und "Hollerhöhe" Feuchtezeiger (Feuchtezahl "7" bzw. "8") vorhanden. Unterschiede zwischen den Flächen ergeben sich daher in erster Linie aus den unterschiedlichen Anteilen von Arten mit den Feuchtezahlen "6" bzw. "4".

Das Überwiegen der Frischezeiger (Feuchtezahl "5") auf allen Meßflächen hat zur Folge, daß die gemittelten Feuchtezahlen (Abb. 21) zwischen den Flächen nur geringe Unterschiede (4.85-5.2) aufweisen. Dennoch kommt es zwischen den Meßflächen zu einer Differenzierung in trockenere (Buchgraben, Augustinerwald, Abgebrannte) und frischere Standorte (Jägerwiesgraben, Hollerhöhe, Kolmberg). Auf den beiden Kalkstandorten "Augustinerwald" und "Kolmberg" ergeben sich deutliche Unterschiede zwischen der Zeigerwertberechnung nur auf Basis des Sommeraspekts und der Berechnung einschließlich des Frühjahrsaspekts. Das sind auch die beiden Flächen, die durch das Auftreten von Frühjahrs-Geophyten (*Allium ursinum*, *Galanthus nivalis*, *Dentaria enneaphyllos*) ausgeprägte jahreszeitliche Unterschiede in der Deckung der Krautschicht aufweisen (Tab. 2). Die genannten Arten treten im Gebiet v.a. auch als Kalkzeiger bzw. Basenzeiger auf.

In Tab. 12 sind Rangkorrelationskoeffizienten nach SPEARMAN zwischen den ELLENBERG-Feuchtezahlen und den berechneten pF-Werten (vgl. Abschnitt

Abb. 20:  
Spektrien der Feuchtezahlen auf den Meßflächen. Darstellung einschließlich Frühjahrsaspekt, ohne Gewichtung mit Deckungswerten.

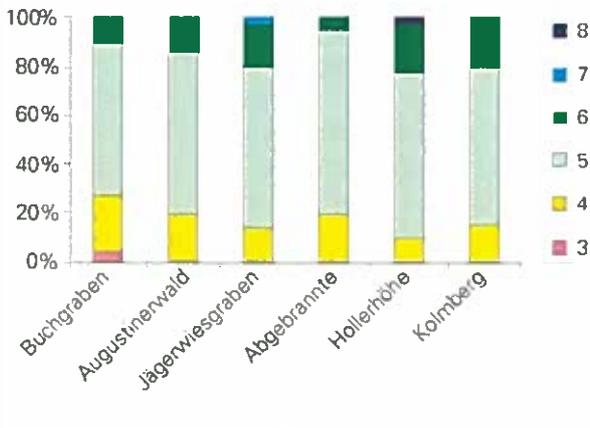
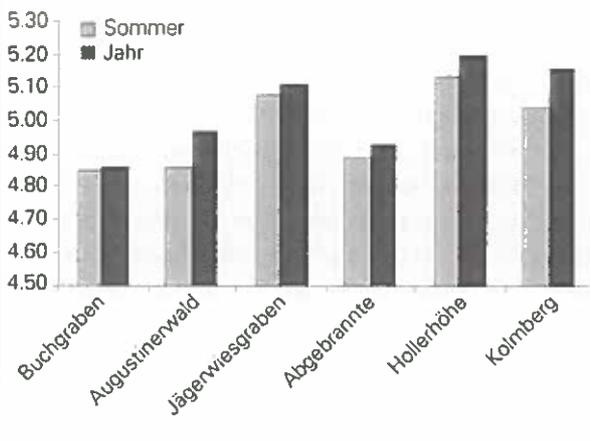


Abb. 21:  
Gewichtetes arithmetisches Mittel der Feuchtezahlen auf den Meßflächen.



4.2.3) in verschiedenen Bodentiefen dargestellt. Die ganzjährigen pF-Werte ergeben in unserem Datensatz keine oder nur sehr schwache Korrelationen mit den Feuchtezahlen. Dagegen lassen sich aber bei saisonaler Betrachtung der pF-Werte signifikante Zusammenhänge feststellen. Einerseits zeigen die Feuchtezahlen recht eindeutige Korrelationen mit den Aprilwerten bzw. den Feuchtemaxima (= Minima der pF-Werte) in 30 cm Tiefe, andererseits sind sie aber auch mit den Septemberwerten bzw. den Feuchteminima (= Maxima der pF-Werte) in 90 cm Tiefe korreliert. Die verschiedenen Varianten zur Berechnung der mittleren Feuchtezahlen liefern ähnliche Ergebnisse. Die pF-Werte unmittelbar an der Bodenoberfläche ergeben keinen Zusammenhang mit den Feuchtezahlen.

Tab.12:  
Korrelationskoeffizienten nach SPEARMAN zwischen gemittelten Feuchtezahlen und pF-Werten für verschiedene Bodentiefen. Werte mit zwei Sternen entsprechen Korrelationen, die auf dem 1 %-Niveau, mit einem Stern, die auf dem 5 %-Niveau signifikant sind.

		Feuchtezahlen nach ELLENBERG					
		Tiefe [cm]	n	Jahr		Sommer	
				gew.	ungew.	gew.	ungew.
pF min.	0-30	5	-0,200	-0,200	-0,205	-0,400	
	30	6	-0,841*	-0,928**	-0,750	-0,870*	
	60	6	-0,600	-0,486	-0,638	-0,314	
	90	6	-0,429	-0,200	-0,406	-0,029	
pF April	0-30	5	0,100	0,100	0,051	0,000	
	30	6	-0,771	-0,829*	-0,812*	-0,771	
	60	6	-0,600	-0,486	-0,638	-0,314	
	90	6	-0,429	-0,200	-0,406	-0,029	
pF Jahr	0-30	5	0,500	0,500	0,103	0,300	
	30	6	0,116	-0,029	-0,029	0,029	
	60	6	-0,143	-0,257	-0,493	-0,143	
	90	6	-0,600	-0,429	-0,435	-0,314	
pF max.	0-30	5	-0,200	-0,200	-0,667	-0,100	
	30	6	-0,086	0,086	0,435	0,143	
	60	6	-0,029	-0,086	-0,377	0,086	
	90	6	-0,886*	-0,771	-0,638	-0,714	
pF Sept.	0-30	5	0,700	0,700	0,205	0,600	
	30	6	0,029	-0,086	0,203	0,257	
	60	6	-0,314	-0,371	-0,551	-0,257	
	90	6	-0,771	-0,657	-0,638	-0,600	

## 5 Diskussion

Wegen der auch in durchschnittlichen Jahren innerhalb der Vegetationsperiode über längere Zeiträume negativen klimatischen Wasserbilanz (Abschnitt 4.6.2) kommt es im Lauf des Sommers zu einer kontinuierlichen Austrocknung der Bodenprofile (Abschnitt 4.5.2). Die Minima der Wasservorräte werden dabei zwischen Mitte August und Mitte Oktober erreicht (Abb. 15). Auf einigen Meßstandorten wird dabei regelmäßig in einem Teil des Bodenprofils der Welkepunkt (pF-Wert = 4.18) erreicht (Abschnitte 4.2.3). Das betrifft insbesondere die Standorte "Augustinerwald", "Jägerwiesgraben" und "Abgebrannte".

Der je nach Bodentiefe unterschiedliche jahreszeitliche Verlauf der Bodenfeuchte, angegeben durch den Wassergehalt (vgl. Abschnitt 4.1.1) oder das Bodenwasserpotential (vgl. Abschnitt 4.2.3), verändert sich dabei nicht geradlinig mit zunehmender Tiefe, sondern es fallen in den Bodenprofilen Bereiche auf, die sich durch stärkere oder geringere Austrocknung unterscheiden (Abschnitt 4.2.3). In einigen Fällen zeigen sich hier Zusammenhänge mit der Bodenhorizontierung (Anhang, Abb. A1a-A6b, Tab. 3). Insbesondere Bodenhorizonte mit höherem Tongehalt fallen dabei auf. So trocknet in den Meßprofilen 1 (Buchgraben) und 4 (Abgebrannte) der tonig-lehmige Bt(g)-Horizont im Spätsommer und Herbst weniger stark aus als das übrige Bodenprofil.

Eine besondere Erwähnung verdient hier das Meßprofil 6 (Kolmberg), wo der Bereich in 75-105 cm Bodentiefe ständig die höchsten Feuchtwerte aufweist (Abb. A3a, A3b). Dieser Tiefenbereich liegt in der Verwitterungszone des Leithakalks, wo der Boden nur geringen Feinbodenanteil aufweist. Das hier überwiegende Grobskelett besteht aus sehr porösem Leithakalk, der sich im feuchten Zustand mit dem Taschenmesser leicht schneiden läßt und erst beim Trocknen aushärtet. Die Pflanzen können offenbar das im aufgewitterten Kalk gespeicherte Wasser auch nutzen. Jedenfalls wurden von uns in dieser Tiefe Bänder von verfilzten Feinwurzeln gefunden, die Spalten im porösen Kalk völlig ausfüllten (Tab. 3).

Das Wurzelsystem der Bäume dürfte einen zusätzlichen Einfluß auf den Feuchteverlauf der einzelnen Flächen haben. Eine stärkere Wasserentnahme durch Baumwurzeln kann in jenen Bodentiefen angenommen werden, wo innerhalb eines sonst einheitlichen Bodenhorizonts die Austrocknung ein Maximum erreicht. Im Meßprofil 3 (Jägerwiesgraben) beispielsweise kann das außer für den oberflächennahen Profilabschnitt auch noch für 90-110 cm Tiefe angenommen werden (Abb. A3a, A3b). Dieser Befund steht auch mit den Angaben von KREUTZER (1961) in Einklang, der für die hier dominierende Hainbuche eine "Zweiteilung des Wurzelsystems in ein intensives oberflächennahes Wurzelwerk und ein extensives Tiefenwurzelsystem" beschreibt.

Die beträchtliche vertikale und horizontale Variation (Abschnitte 4.1, 7) der Böden hat zur Folge, daß besonders auf den trockeneren Standortstypen Bäume auf ein weitreichendes und tiefgehendes Wurzelsystem angewiesen sind, das ihnen in Trockenjahren Zugang zu im Bodenprofil eng lokalisierten oder in größerer Tiefe noch vorhandenen Wasserreserven verschafft.

Von den im Gebiet vorherrschenden Baumarten (KARRER & KILIAN 1990) sind besonders die Eichenarten, aber auch die Hainbuche durch ein tiefgehendes Wurzelsystem ausgezeichnet (KREUTZER 1961). Das verschafft ihnen einen Vorteil gegenüber der Rotbuche (*Fagus sylvatica*), die sich im Gebiet auf lokalklimatisch günstigere Grabeneinhangs und auf höher gelegene Revierteile beschränkt, wo die sommerliche Austrocknungsphase um bis zu drei Wochen kürzer ist als in den Tieflagen (vgl. Abschnitt 4.4.1). Die im Gebiet vorhandenen eichenreichen Bestände erweisen sich unter diesem Blickwinkel bezüglich ihrer Artenzusammensetzung als standortsangepaßt. Als zusätzliche waldbauliche Konsequenz folgt, daß die trockeneren Standortseinheiten im Gebiet weiterhin als Niederwald bewirtschaftet werden sollten (KRISSEL & MÜLLER 1990), da bei Trockenperioden in der Jugendphase Stockausschläge durch das bereits vorhandene, gut ausgebaute Wurzelsystem gegenüber Kernwüchsen deutlich im Vorteil sind.

Zur Beurteilung, ob ein Standort für eine bestimmte Baumart geeignet ist, reicht eine Beschränkung der Standortdiagnose auf den Oberboden nicht aus. Im Fall des Meßstandorts 6 (Kolmberg) läßt der sehr steinige Oberboden (BC-Horizont) auf einen ausgesprochen trockenen Standort schließen (Tab. 3). Für den Oberboden wird das auch durch die Messungen mit der TDR-Sonde bestätigt (Abschnitt 4.1.2). Erst die Öffnung eines tiefergehenden Bodenprofils macht die stellenweise unter dem Steinpflaster verborgenen Leimbänder (B-Horizont) und den dauernd feuchten Bereich des porösen, aufgewitterten Leithakalks für die Standortbeurteilung zugänglich. Einen ersten Hinweis darauf geben aber bereits die auf dem Standort vorkommenden Pflanzenarten (*Allium ursinum*, *Galanthus nivalis*), die zumindest im Frühjahr auf ausreichende Bodenfeuchte angewiesen sind (Abschnitt 4.7).

Die Korrelationskoeffizienten zwischen den gemittelten ELLENBERG-Feuchtezahlen der auf den Meßflächen vorkommenden Arten und den Bodenwasserpotentialen (pF-Werte) in verschiedenen Bodentiefen (Tab. 12) beleuchten unterschiedliche Aspekte der pflanzlichen Wasserversorgung.

In das Frühjahr, hier durch den April vertreten, fällt die Zeit mit der besten Wasserversorgung (Abb. 17). In diese Zeit fallen aber auch der Laubaustrieb und ein Höhepunkt des Wurzelwachstums der

Pflanzen. Der dabei hohe Wasserbedarf dürfte für den Zusammenhang zwischen den Feuchtezahlen und den pF-Werten in 30 cm Bodentiefe, also im Hauptwurzelraum der Pflanzen, verantwortlich sein.

Andererseits erreicht die Bodenfeuchte im Spätsommer und Herbst, hier durch den September repräsentiert, die niedrigsten Werte bzw. das Bodenwasserpotential die Maxima. Hier zeigen sich Korrelationen zwischen den Feuchtezahlen und den pF-Werten in 90 cm Bodentiefe. Das kann dahingehend interpretiert werden, daß in Perioden schlechter Wasserversorgung für die Pflanzen bedeutsam wird, inwiefern noch Wasserreserven im Unterboden verfügbar sind. Daß der hier relevante Tiefenbereich bei 90 cm liegt, ist überraschend, da die Baumschicht in die Berechnung der mittleren Feuchtezahlen nicht einbezogen wurden. Die in Kraut- und Strauchschicht vorkommenden Pflanzen dürften, ähnlich wie auch die Bäume, zusätzlich zur Hauptmasse der Feinwurzeln nahe der Bodenoberfläche auch noch tiefergehende Wurzelstränge zur Wasserversorgung in Trockenperioden haben.

Beim Vergleich der verschiedenen Komponenten der Wasserbilanz zwischen den Meßflächen (Tab. 11) fällt auf, daß sich Interzeption und Wasserverbrauch gegenläufig verhalten. Fläche 3 (Jägerwiesgraben) mit besonders niedrigen Werten für ET+R weist die höchsten Werte für die Interzeption auf, wogegen auf Fläche 4 (Abgebrannte) niedrige Interzeption und hohe Werte für ET+R zusammenfallen. Das widerspricht den Erwartungen, da grundsätzlich sowohl die Interzeption mit der Dichte der Baumkronen zunimmt, als auch die Transpiration mit der Grünmasse wächst (LARCHER 1984). Diese Zusammenhänge gelten bei im übrigen vergleichbaren Verhältnissen, also auf vergleichbarem Standort mit derselben Baumart. In unserem Fall ist allerdings die Vergleichbarkeit dadurch erschwert, daß bei der Auswahl der Meßflächen ein repräsentativer Querschnitt durch die Standortvielfalt des Reviers mit jeweils unterschiedlichen Baumarten angestrebt worden war. Dazu kommt noch, daß bei den vorliegenden Untersuchungen Stammabfluß, Zu- und Abflüsse von Wasser sowie die Versickerung nicht erfaßt wurden.

Wasserzuflüsse, -abflüsse und die Versickerung werden in erster Linie von Standortmerkmalen bestimmt, insbesondere von der Geländeform und dem Aufbau des Bodenprofils, und erst in zweiter Linie von der Vegetation. Von unseren Meßprofilen können nur für die Standorte "Buchgraben" (Unterhang) und "Jägerwiesgraben" (Mulde) nennens-

werte Zuflüsse angenommen werden. Letzterer weist auch tatsächlich die niedrigsten Werte für ET+R auf. Abflüsse von größerem Ausmaß sind aufgrund der geringen Hangneigung (Tab. 1) kaum zu erwarten. Allenfalls auf den Standorten "Augustinerwald" und "Kolmberg" wären Abflüsse denkbar, wenn nach dem Einziehen der Frühjahrs-Geophyten die Bodenvegetation nur mehr geringe Deckung aufweist. Bezüglich der Versickerung kann angenommen werden, daß sie auf den Meßstandorten mit Pseudogley (Jägerwiesgraben) und Parabraunerde (Buchgraben, Abgebrannte) aufgrund des Profilaufbaus (Tab. 3) nur eine geringe Rolle spielt.

Unterschiede in Interzeption, Evapotranspiration und Stammabfluß dürften in unserem Untersuchungsgebiet vor allem in der Vegetation (Tab. 2) und erst in zweiter Linie in Standortunterschieden begründet sein. Wegen der geringen Hangneigungen sind für alle Standorte vergleichbare Strahlungsverhältnisse anzunehmen. Die Standorte unterscheiden sich allenfalls in der Ausgesetztheit gegenüber Wind. Hier könnte etwa auf dem Standort "Kolmberg" (Gipfelkuppe) ein höherer Transpirationsanspruch angenommen werden als auf den relativ windgeschützten Standorten "Buchgraben" und "Jägerwiesgraben".

Die Vegetation beeinflusst Interzeption und Evapotranspiration hauptsächlich über die Baumschicht. Dabei wirkt sich nicht nur die Bestandesdichte, sondern auch die Artenzusammensetzung aus. Artspezifische Unterschiede in der Dichte und im Aufbau der Kronen beeinflussen etwa die Interzeption, andererseits können sich auch Unterschiede im Wurzelsystem auf die Wassernachlieferung und damit auf die Transpiration auswirken. Bei Baumarten mit glatter Rinde (Hainbuche) bzw. solchen, die erst in höherem Alter eine rissige Borke bekommen (Linde, Birke), gelangt ein größerer Teil des von den Kronen aufgefangenen Niederschlagswassers durch den Stammabfluß ebenfalls in den Boden und verbessert damit die Wasserbilanz. In unserem Fall kann daher für die Flächen 3 (Jägerwiesgraben) und 6 (Kolmberg), die beide relativ hohe Interzeptionswerte aufweisen (Tab. 11), ein stärkerer Stammabfluß angenommen werden als für die Flächen 2 (Augustinerwald) und 1 (Buchgraben), wo Eichen bzw. Feldahorn dominieren.

Neben der Baumschicht muß aber auch noch die Bodenvegetation berücksichtigt werden. In den relativ lichten Beständen "Buchgraben" und "Abgebrannte" weist die Krautschicht, in der Wimpersegge (*Carex pilosa*) dominiert, die ganze Vegetati-

onsperiode hindurch hohe Deckungswerte (70-80 %) auf (Tab. 2). Hier ist anzunehmen, daß durch den Wasserverbrauch bzw. die Interzeption der Bodenvegetation die verringerte Interzeption der Baumschicht zum Teil kompensiert wird.

## Danksagung

Besonderer Dank gebührt DI H. Margl, der diese Untersuchungen angeregt, die Versuchsflächen ausgewählt und eingerichtet und in den Jahren 1991 bis 1993 die Messungen zum Teil auch durchgeführt hat. Als sehr wertvoll erwies sich dabei Herr Andreas Fiege, der als Mitarbeiter der Abteilung Klimakunde von Anfang an dabei war. Er betreute die Messungen durchwegs und erleichterte mit zahlreichen praktischen Anregungen den Auf- und Abbau der Meßeinrichtungen sowie das Graben der Bodenprofile. Weiters danken die Autoren Dr. W. Kilian, dem ehemaligen Leiter des Instituts für Forstökologie, der die vorliegende Arbeit initiierte und selbst einen Teil der Bodenprofilbeschreibungen vor Ort vornahm. Der bodenphysikalische Teils der Untersuchungen wäre ohne die Hilfe von DI G. Markart und Mag. B. Kohl vom Institut für Wildbach und Lawinenkunde der FBVA in Innsbruck nicht möglich gewesen. Mag. Kohl führte die praktische Arbeit (Bodenprobenwerbung vor Ort, Bestimmung der bodenphysikalischen Parameter im Labor) durch, DI Markart gab zahlreiche wertvolle Hinweise zur Interpretation der gewonnenen Daten. Für die Erstellung des FORTRAN-Programms zur Verrechnung von ökologischen Zeigerwerten danken wir Herrn Dr. R. Hacker. Nicht zuletzt sei auch Herrn HR DI Friedrich Ruhm, dem Direktor der FBVA, gedankt, der diese Untersuchungen von Anfang an unterstützte.

## 6 Literatur

- ARBEITSKREIS STANDORTSKARTIERUNG 1996: *Forstliche Standortsaufnahme. Begriffe, Definitionen, Einteilungen Kennzeichnungen, Erläuterungen*. 5. Aufl. Eching bei München, IHW-Verlag.
- BALASZ A. 1983: *Interzeptionsverdunstung des Waldes im Winterhalbjahr als Bestimmungsgröße des nutzbaren Wasserdargebots*. Beiträge zur Hydrologie.
- BAUMGARTNER A. & LIEBSCHER H.J. 1990: *Allgemeine Hydrologie. Quantitative Hydrologie. Lehrbuch der Hydrologie Band 1*. Berlin/Stuttgart, Gebrüder Bornträger.
- BEHR O., MÜLLER W. & REITINGER J. 1976: *Praktische Aspekte der Bodenfeuchtemessung mittels Neutronensonde*. Österreichische Wasserwirtschaft, 28(7/8): 138-146.
- BLUM W.E.H., SPIEGEL H. & WENZEL W.W. 1989: *Bodenzustandsinventur – Konzeption, Durchführung und Bewertung, Empfehlungen zu einer Vorgangsweise in Österreich*. Arbeitskreis Bodenzustandsinventur.
- BOBEK H., KURZ W., ZWITTKOVITS F. & FESL M. 1971: *Klimatypen*. In: ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (Hrsg.): *Atlas der Republik Österreich*. Wien, Freytag-Berndt-Verlag.
- BRAUN-BLANQUET J. 1964: *Pflanzensoziologie*. 3. Aufl. Wien/New York, Springer-Verlag, 865 S.
- BRECHTEL H.M. & PAVLOV M.B. 1977: *Niederschlagsbilanz von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen in der Rhein-Main-Ebene*. Arbeitspapier des DVWK. Bonn und Hessische Forstliche Versuchsanstalt Hannover-Münden.
- DASBERG S. & DALTON F.D. 1985: *Time-domain reflectometry field measurements of soil water content and electrical conductivity*. Soil Sci. Soc. Am. J., 49: 293-297.
- EHRENDORFER F. (Hrsg.) 1973: *Liste der Gefäßpflanzen Mitteleuropas*. 2. Aufl. Stuttgart, Gustav Fischer Verlag, 318 S.
- ELLENBERG H., WEBER H.E., DÜLL R., WIRTH V., WERNER W. & PAULIBEN D. 1991: *Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa*. Scripta Geobot., 18: 1-248.
- ENGLISCH M. & KILIAN W. (Hrsg.) 1998: *Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich*. FBVA-Berichte, 104: 1-112.
- FREY W., FRAHM J.-P., FISCHER E. & LOBIN W. 1995: *Die Moos- und Farnpflanzen Europas*. 6. Aufl. In: GAMS H. (Begr.): *Kleine Kryptogamenflora*. Stuttgart/Jena/New York, Gustav Fischer Verlag, 426 S.
- GARTNER, K., 1997: *Wasserhaushalt ausgewählter Standorte im Osten Österreichs*. In: MÜLLER F. (Hrsg.): *Waldbau an der unteren Waldgrenze*. FBVA-Berichte, 95: 31-43.
- HANUS H., SÜSS H.J. & SCHURMANN G. 1972: *Einfluß von Lagerungsdichte, Ton und Schluff- sowie Humusgehalt auf die Wassergehaltsbestimmung mit Neutronensonden*. Z. Pflanzenernährung Bodenkunde, 132: 4-16.
- HEINRICH D. & HERGT M. 1994: *Dtv-Atlas zur Ökologie. Tafeln und Texte*. 3. Auflage, München, Deutscher Taschenbuchverlag.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST IN ÖSTERREICH 1994: *Die Niederschläge, Schneeverhältnisse und Lufttemperaturen in Österreich im Zeitraum 1981-1990*. Beiträge zur Hydrographie Österreichs, 52. Hydrographisches Zentralbüro im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft.
- KARRER G. & KILIAN W. 1990: *Standorte und Waldgesellschaften im Leithagebirge*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien, 165: 1-244.
- KILIAN W. & MAJER C. 1990: *Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Anleitung zur Feldarbeit und Probenahme*. FBVA-Berichte, Sonderheft: 1-58.
- KREUTZER K. 1961: *Wurzelbildung junger Waldbäume auf Pseudogleyböden*. Forstwiss. Centralbl., 80: 356-392.

- KRISSL W. & MÖLLER F. 1990: *Die Standorte im Revier Sommerein/Leithagebirge als waldbauliche Behandlungseinheiten*. In: KARRER G. & KILIAN W. 1990: *Standorte und Waldgesellschaften im Leithagebirge*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien, 165: 195-219.
- KUTILEK M. & NIELSEN D.R. 1994: *Soil Hydrology*. Cremlingen-Destedt, Catena Verlag.
- LARCHER W. 1984: *Ökologie der Pflanzen*. 4. Aufl. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer.
- LEE R. 1980: *Forest Hydrology*. New York, Columbia University Press.
- MARKART G. & KOHL B. 1995: *Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden-/Vegetationseinheiten*. FBVA-Berichte, 89: 1-38.
- MUCINA L., GRABHERR G. & WALLNÖFER S. (Hrsg.) 1993: *Die Pflanzengesellschaften Österreichs. Teil III. Wälder und Gebüsch*. Jena, Gustav Fischer Verlag, 353 S.
- MÖLLER F. 1981: *Bodenfeuchtigkeitsmessungen in den Donauauen des Tullner Feldes mittels Neutronensonde*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanst. Wien, 141: 1-49, Anhang.
- NEUHAUSL R. 1981: *Entwurf der syntaxonomischen Gliederung mitteleuropäischer Eichen-Hainbuchenwälder*. In: DIERSCHKE H. (Hrsg.): *Syntaxonomie*. Vaduz, J. Cramer, 533-546.
- NEUWINGER-RASCHENDORFER I. & CZELL A. 1965: *Böden in den Tiroler Zentralalpen*. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Ökologische Untersuchungen in der subalpinen Stufe, Teil 1, 2. Auflage: 371-411
- OTTO H.J. 1994: *Waldökologie*. Stuttgart, Verlag Eugen Ulmer, 391 S.
- SCHRÖDTER H. 1985: *Verdunstung. Anwendungsorientierte Meßverfahren und Bestimmungsmethoden*. Berlin/Heidelberg/New York/Tokio, Springer Verlag.
- SCHÖLER G. 1997: *Vergleichende Betrachtung von Neutronen- und TRIME-TDR-Sonden-Messdaten*. In: *Methoden zur Bodenfeuchte-Erfassung*. Seminar der Bayer. Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft (veranstaltet von T. PREUHLER & W. GRIMMEISEN). Forstl. Forschungsber. München, 167: 113-129.
- TOPP G.C., DAVIES J.L. & ANNAN A.P. 1980: *Electromagnetic Determination of Soil Water Content: Measurements in Coaxial Transmission Lines*. Water Resources Research, 16(3): 574-582.
- TURC L. 1961: *Évaluation des besoins en eau d'irrigation, évapotranspiration potentielle, formule simplifiée et mise à jour*. Ann. Agron., 12: 13-49.
- ULRICH E., HEILIG M. & GROSSMANN W. 1991: *Zur allgemeinen Hydrologie im Lehrforst Rosalia*. Centralbl. Gesamte Forstwesen, 108(4): 367-383.
- VAN DER MAAREL E. 1979: *Transformation of cover-abundance values in phytosociology and its effects on community similarity*. Vegetatio, 39: 97-114.
- WESTHOFF V. & VAN DER MAAREL E. 1978: *The Braun-Blanquet approach*. In: WHITTAKER R.H. (Ed.): *Classification of plant communities*. 2<sup>nd</sup> ed. The Hague, Junk, 287-399.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1992: *Wetter- und Klimaübersicht August 1992*.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1993: *Wetter- und Klimaübersicht Mai 1993*.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1994: *Wetter- und Klimaübersicht für das Jahr 1994*.
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK 1995: *Wetter- und Klimaübersicht Juli 1995*.
- ZUKRIGL K. 1977: *Eichenwälder im niederösterreichischen Weinviertel (Vorläufige Mitteilung)*. Stud. Phytol. (Pécs), 1977: 161-164.

Verfasser: Mag. Karl Gartner  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Institut für Forstökologie  
Seckendorff-Gudent Weg 8  
1131 Wien  
E-mail: karl.gartner@fbva.bmlf.gv.at

Dipl.-Ing. Franz Starlinger  
Forstliche Bundesversuchsanstalt  
Institut für Forstökologie  
Seckendorff-Gudent Weg 8  
1131 Wien  
E-mail: franz.starlinger@fbva.bmlf.gv.at

## 7 Anhang

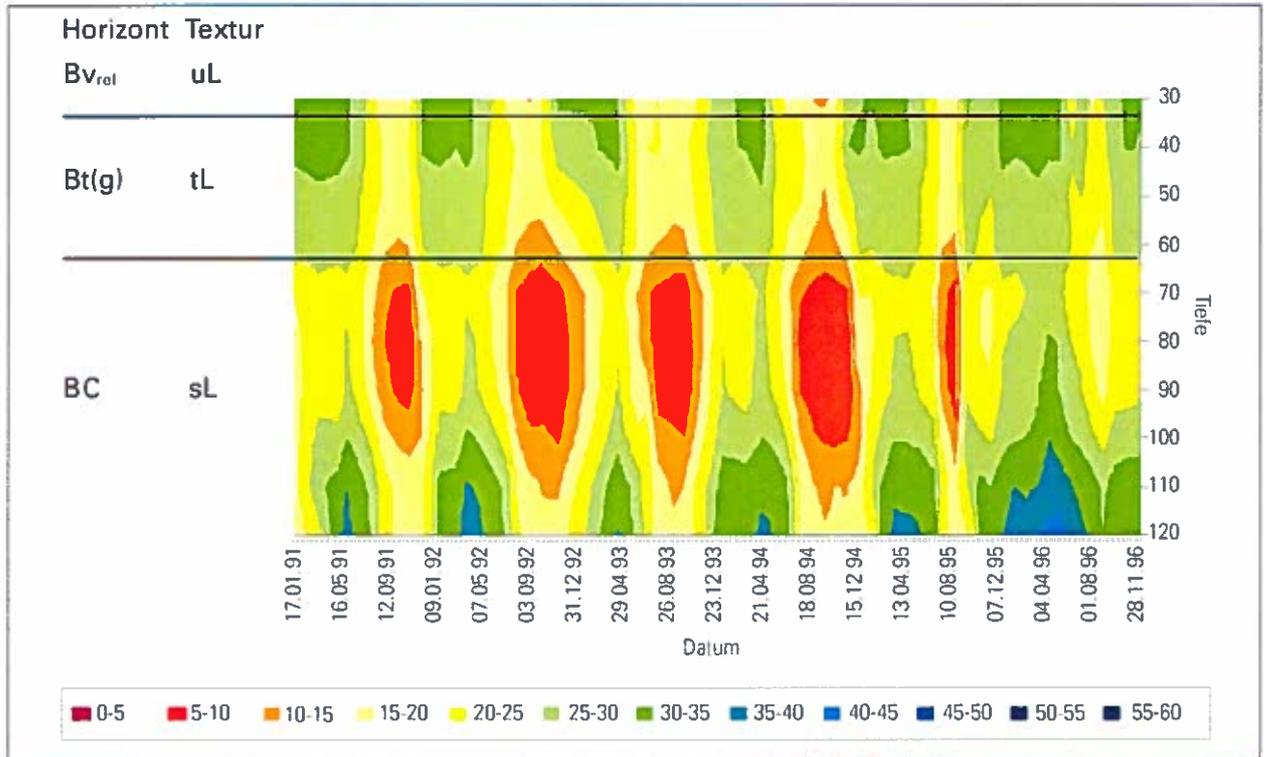
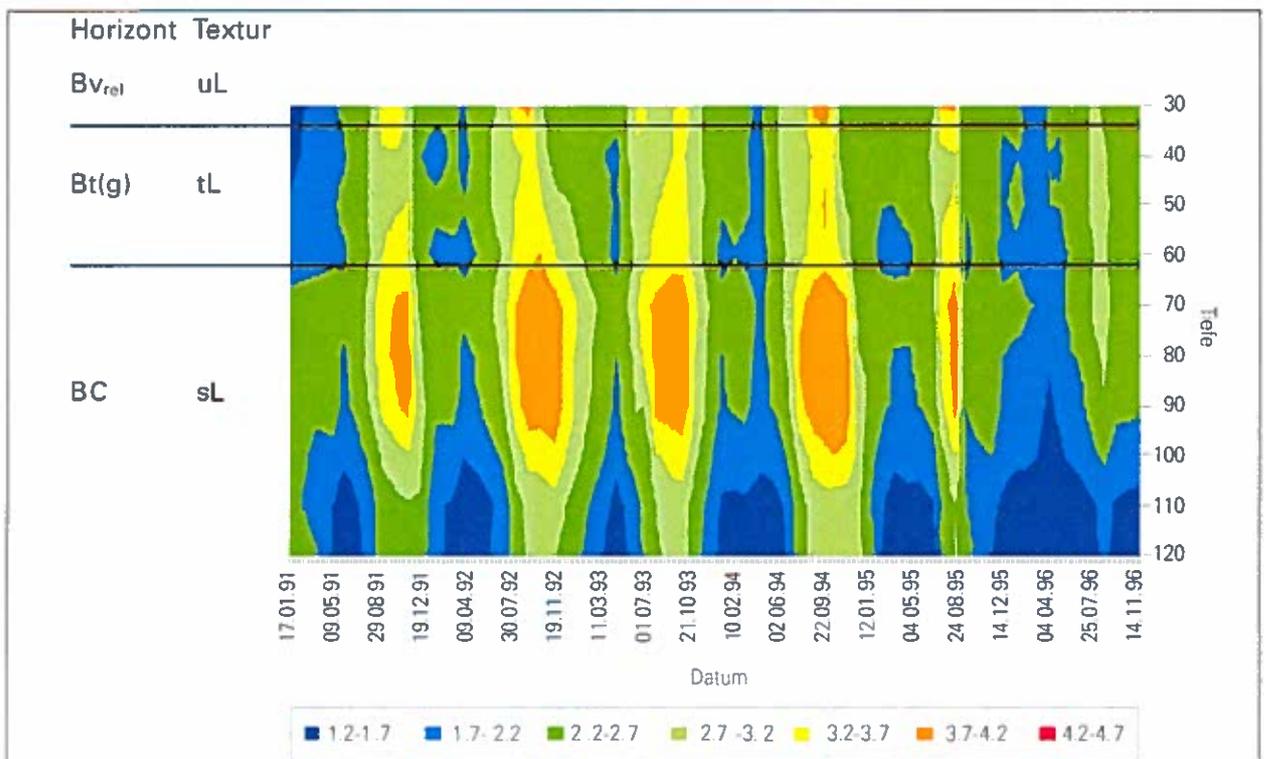


Abb. A1a: Interpolierter Verlauf der Bodenfeuchte (Angaben in Volumsprozent) und Bodenhorizontierung am Messpunkt der Fläche 1/Buchgraben (Parabraunerde) für den Zeitraum 1991-1996 (uL = schluffiger Lehm, tL = toniger Lehm, sL = sandiger Lehm).

Abb. A1b: Interpolierter Verlauf der pF-Werte (pF-Wert = Logarithmus des Bodenwasserpotentials in  $\text{hPa} = 10^2 \text{ Pa}$ ) und Bodenhorizontierung am Messpunkt der Fläche 1/Buchgraben (Parabraunerde) für den Zeitraum 1991-1996 (uL = schluffiger Lehm, tL = toniger Lehm, sL = sandiger Lehm).



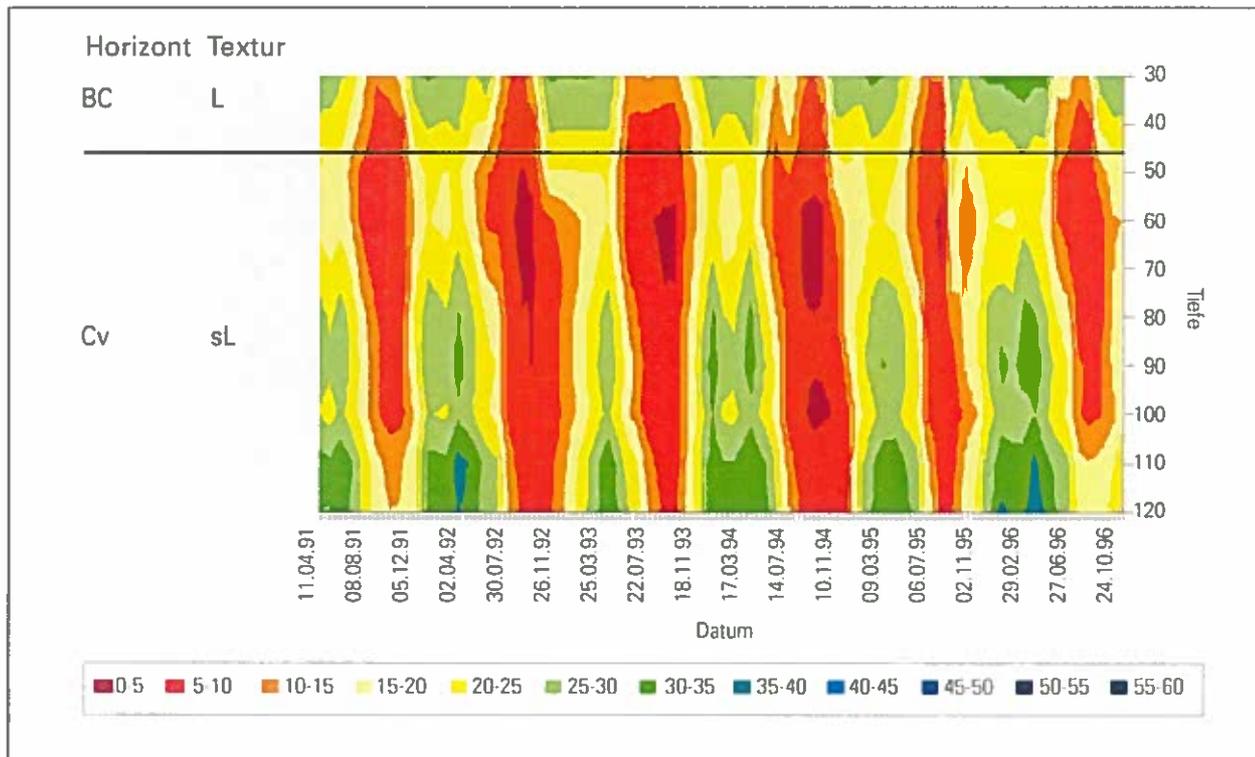
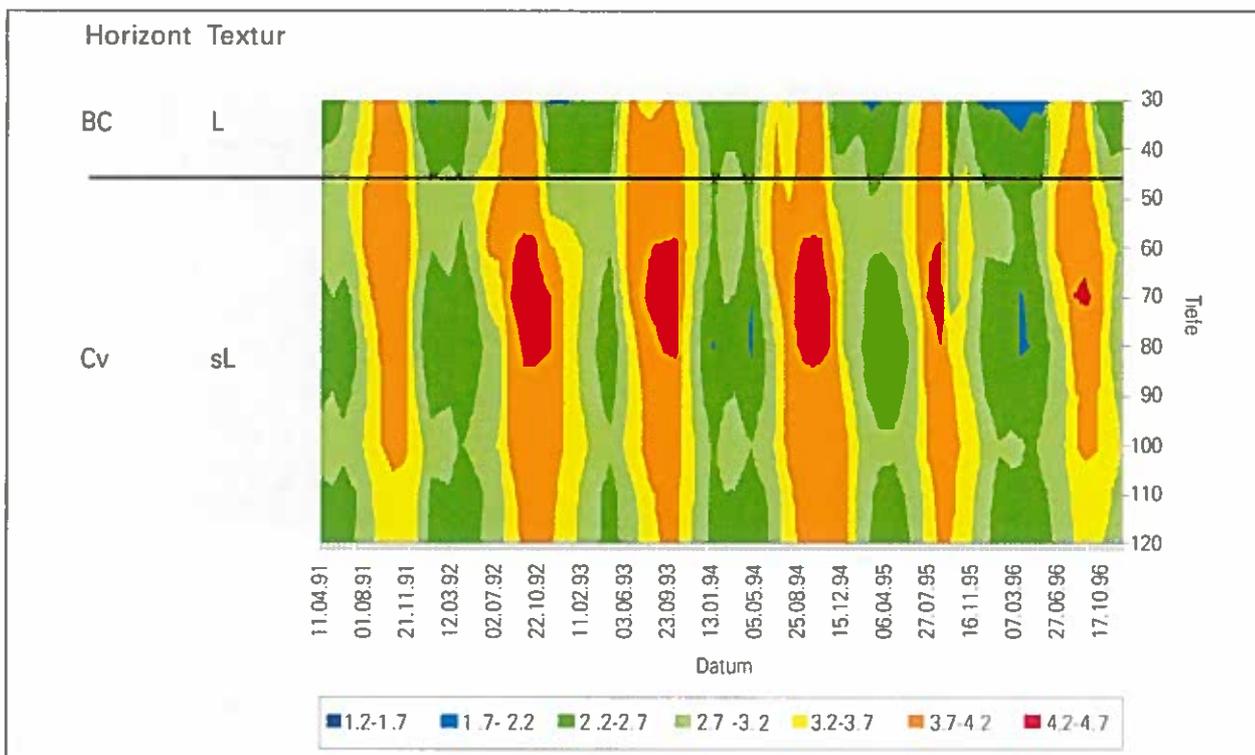


Abb. A2a: Interpolierter Verlauf der Bodenfeuchte (Angaben in Volumsprozent) und Bodenhorzontierung am Messpunkt der Fläche 2/Augustinerwald (Kalk-Braunlehm) für den Zeitraum 1991-1996 (L = Lehm, sL = sandiger Lehm).

Abb. A2b: Interpolierter Verlauf der pF-Werte (pF-Wert = Logarithmus des Bodenwasserpotentials in hPa=10<sup>2</sup> Pa) und Bodenhorzontierung am Messpunkt der Fläche 2/Augustinerwald (Kalkbraunlehm) für den Zeitraum 1991-1996 (L = Lehm, sL = sandiger Lehm).



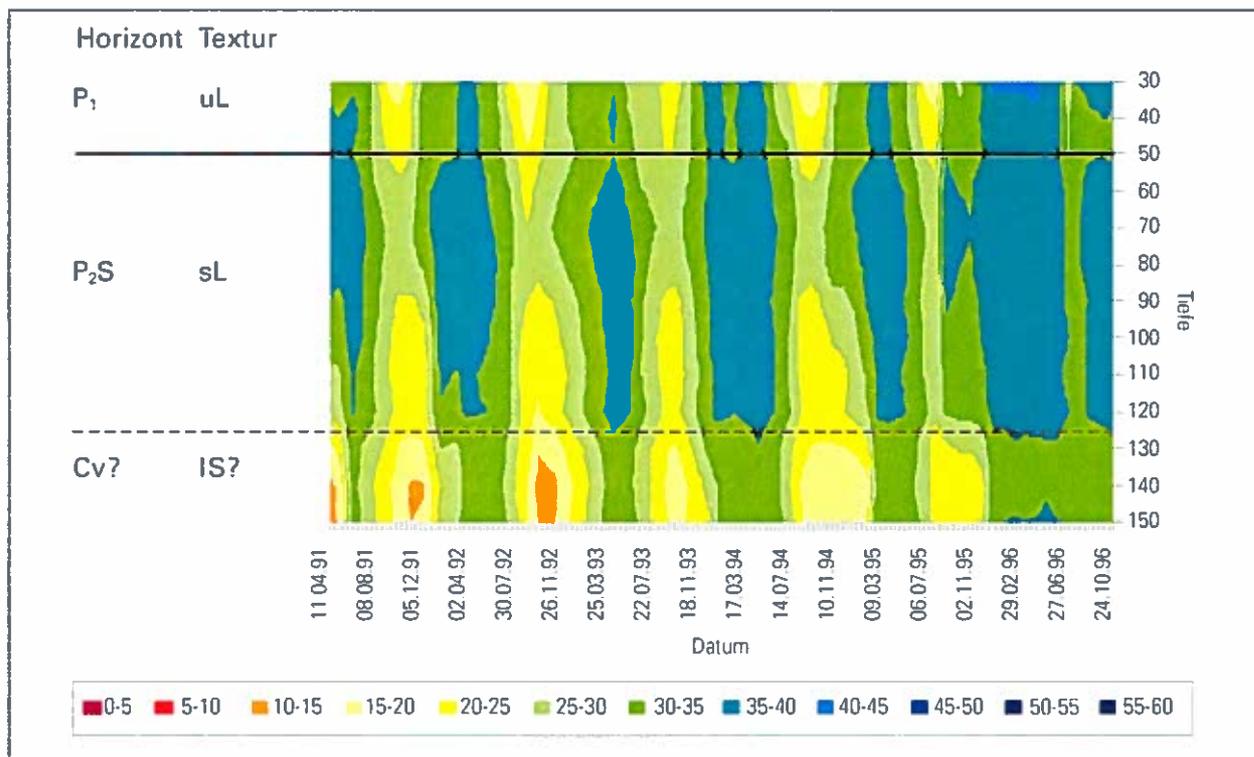
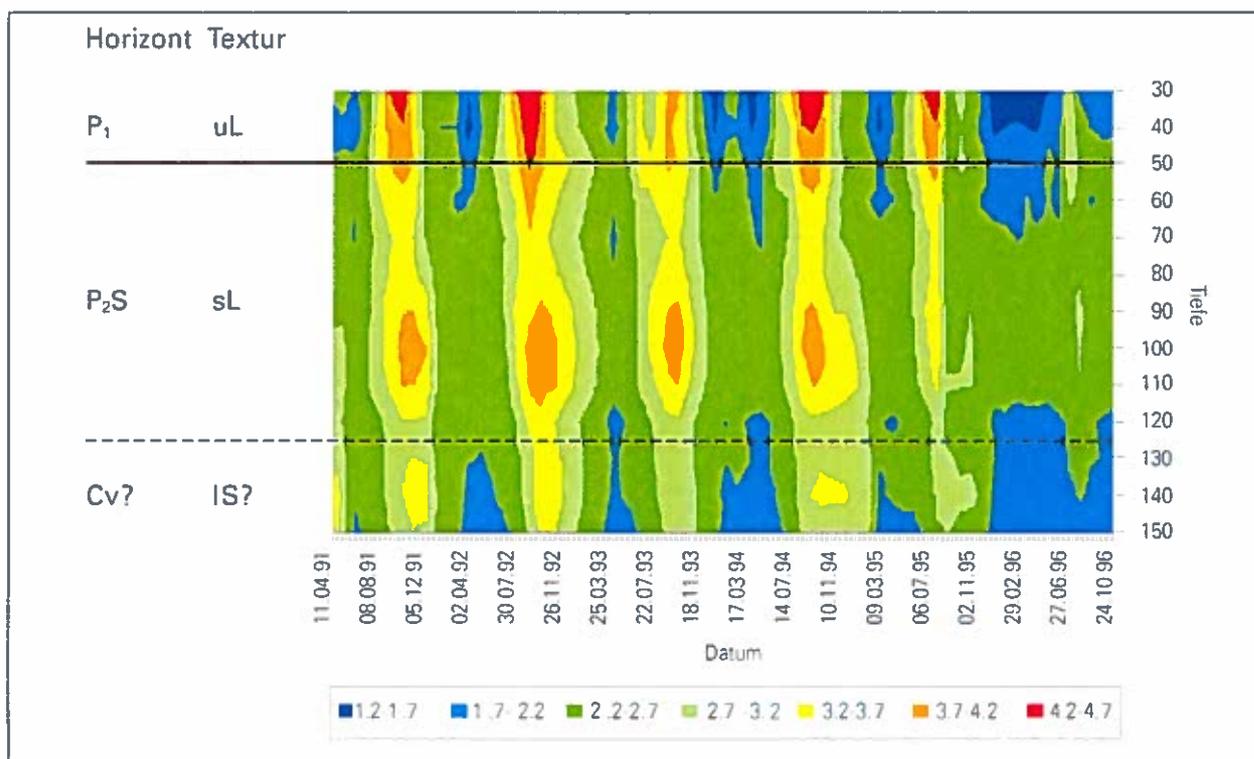


Abb. A3a: Interpolierter Verlauf der Bodenfeuchte (Angaben in Volumenprozent) und Bodenhorizontierung am Meßpunkt der Fläche 3/Jägerwiesgraben (Pseudogley) für den Zeitraum 1991-1996 (uL=schluffiger Lehm, sL=sandiger Lehm, IS=lehmiger Sand).

Abb. A3b: Interpolierter Verlauf der pF-Werte (pF-Wert = Logarithmus des Bodenwasserpotentials in hPa=10<sup>3</sup> Pa) und Bodenhorizontierung am Meßpunkt der Fläche 3/Jägerwiesgraben (Pseudogley) für den Zeitraum 1991-1996 (uL= schluffiger Lehm, sL = sandiger Lehm, IS = lehmiger Sand).



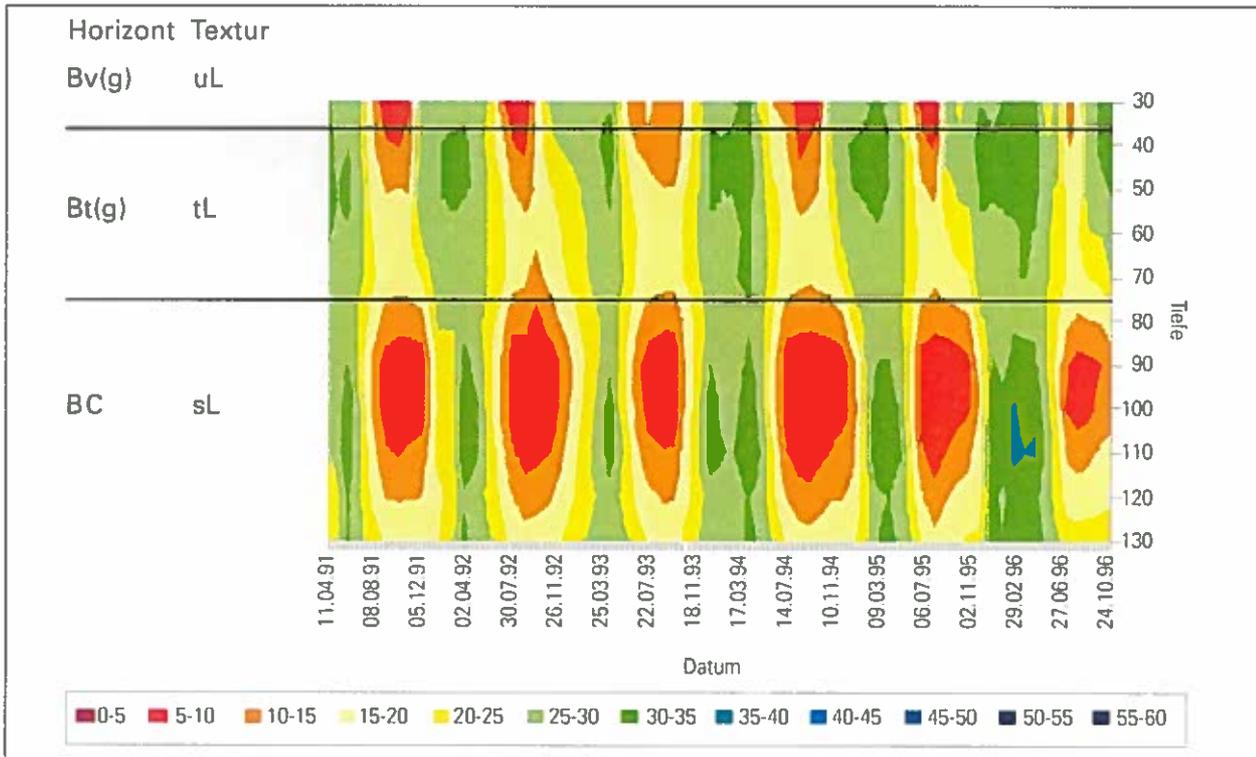
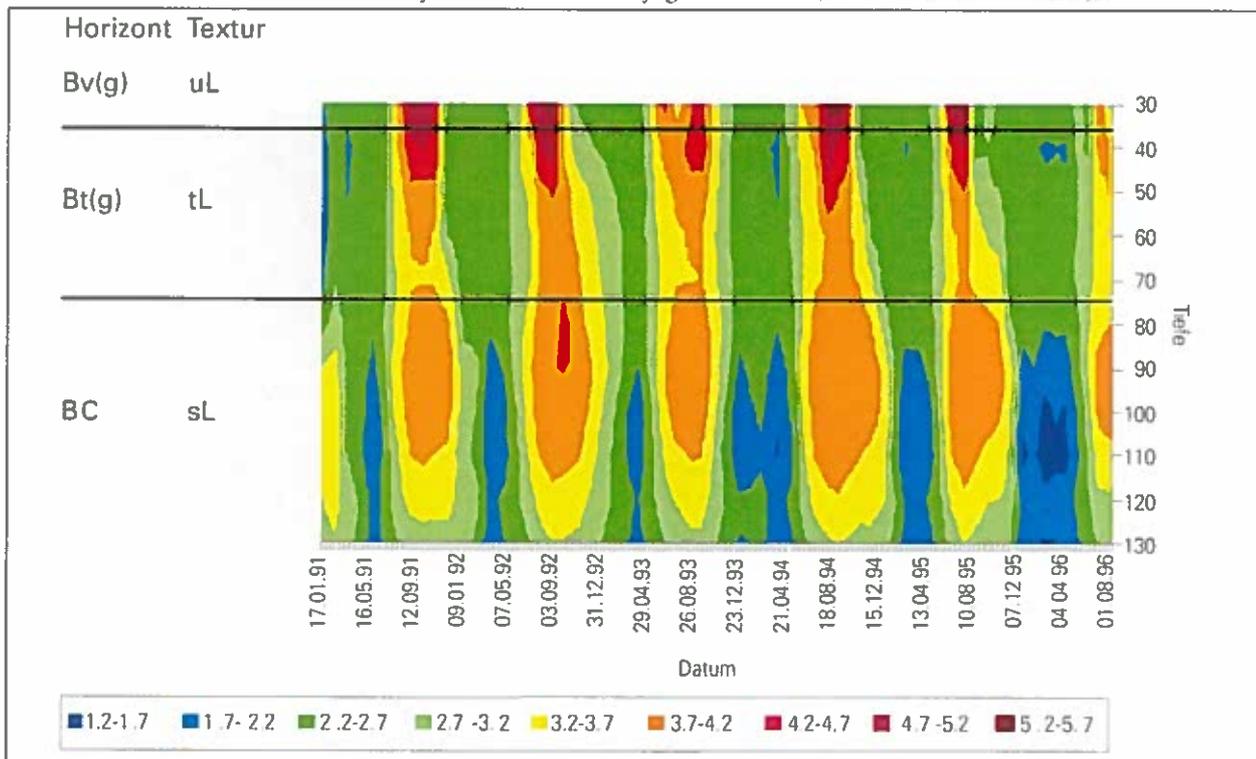


Abb. A4a: Interpolierter Verlauf der Bodenfeuchte (Angaben in Volumenprozent) und Bodenhorizontierung am Meßpunkt der Fläche 4/Abgebrannte (Parabraunerde) für den Zeitraum 1991-1996 (uL=schluffiger Lehm, tL=toniger Lehm, sL = sandiger Lehm).

Abb. A4b: Interpolierter Verlauf der pF-Werte (pF-Wert = Logarithmus des Bodenwasserpotentials in hPa=10<sup>2</sup> Pa) und Bodenhorizontierung am Meßpunkt der Fläche 4/Abgebrannte (Parabraunerde) für den Zeitraum 1991-1996 (uL = schluffiger Lehm, tL = toniger Lehm, sL = sandiger Lehm).

Die Werte in 30 bis 50 cm Tiefe stellen keine vernünftigen Werte dar (siehe Text Abschnitt 4.2.3).



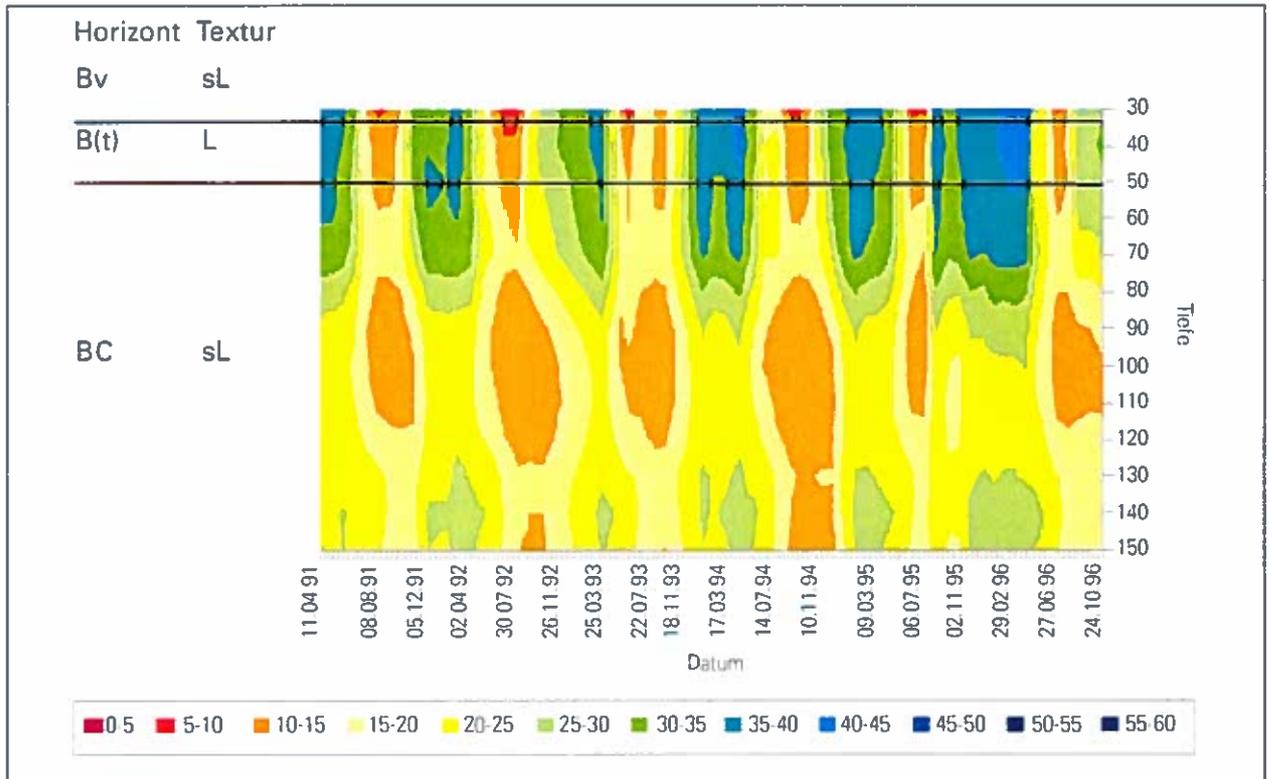
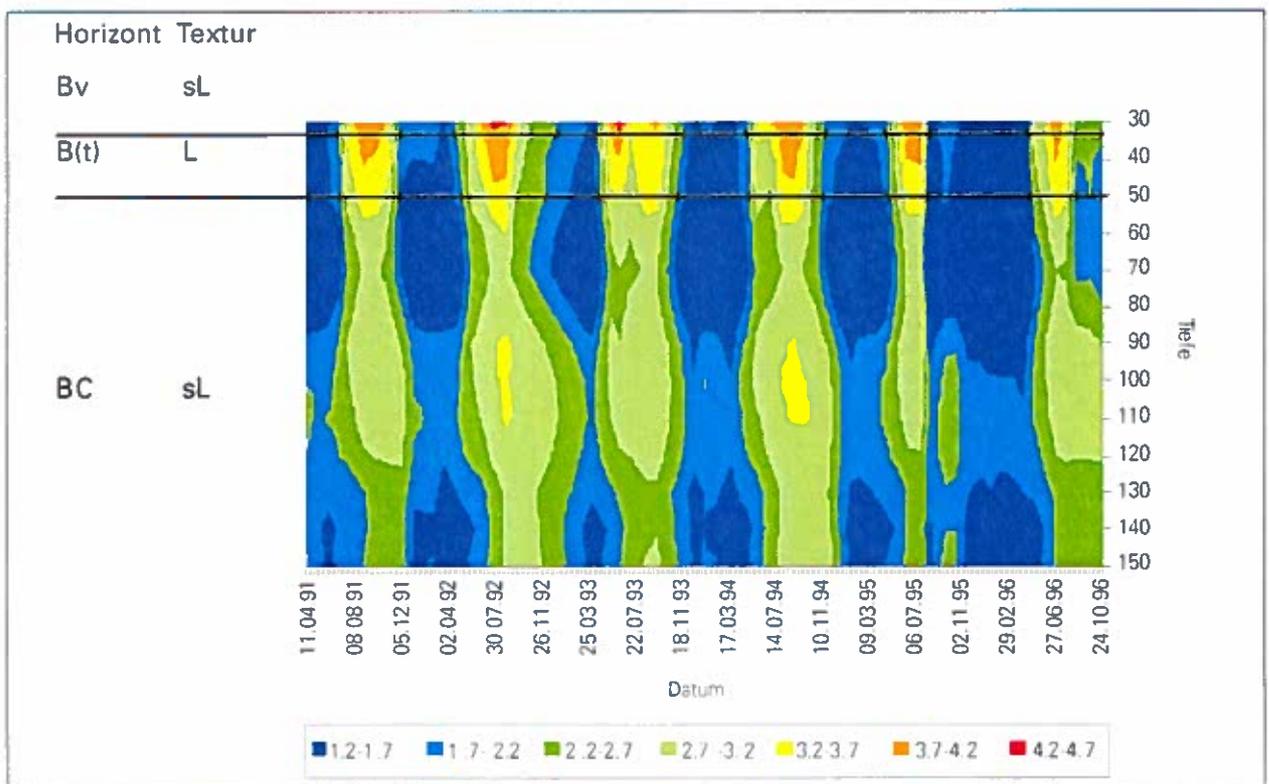


Abb. A5a: Interpolierter Verlauf der Bodenfeuchte (Angaben in Volumsprozent) und Bodenhorizontierung am Meßpunkt der Fläche 5/Hollerhöhe (Braunerde) für den Zeitraum 1991-1996 (sL=sandiger Lehm, L = Lehm).

Abb. A5b: Interpolierter Verlauf der pF-Werte (pF-Wert = Logarithmus des Bodenwasserpotentials in hPa=10<sup>2</sup> Pa) und Bodenhorizontierung am Meßpunkt der Fläche 5/Hollerhöhe (Braunerde) für den Zeitraum 1991-1996 (L = Lehm, sL = sandiger Lehm).



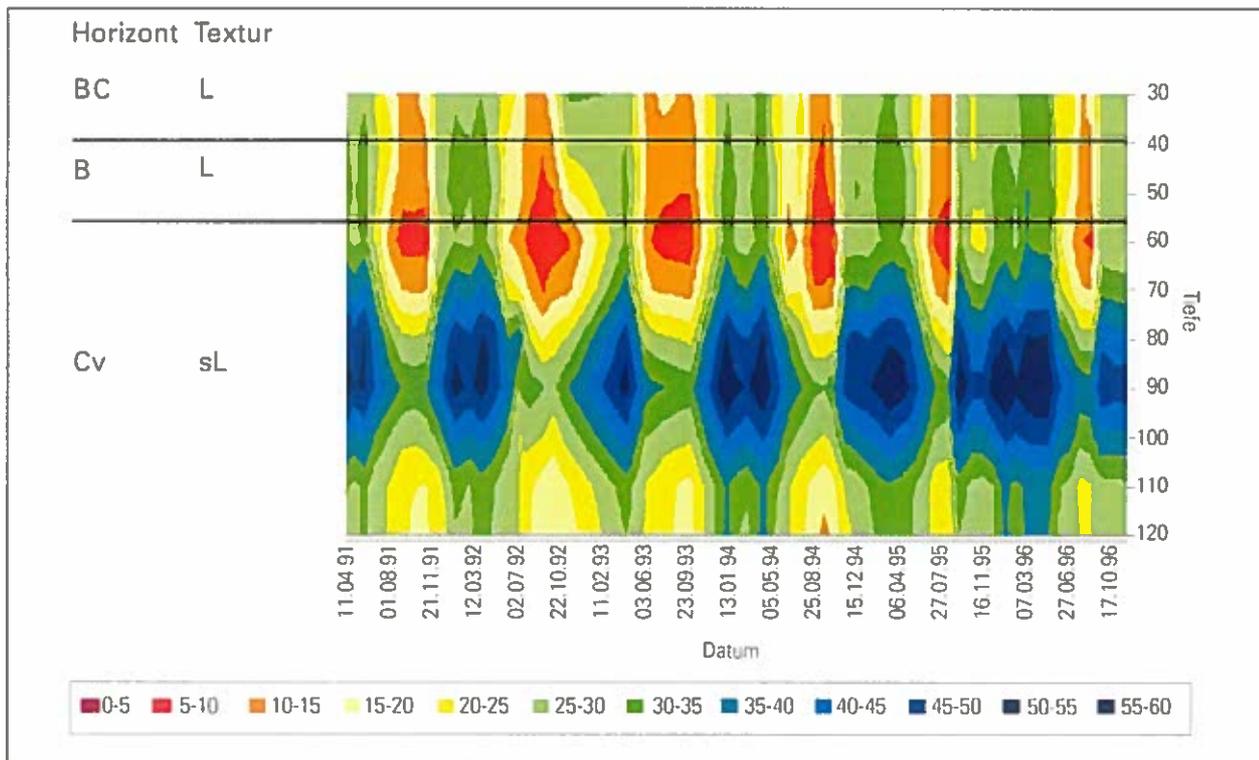
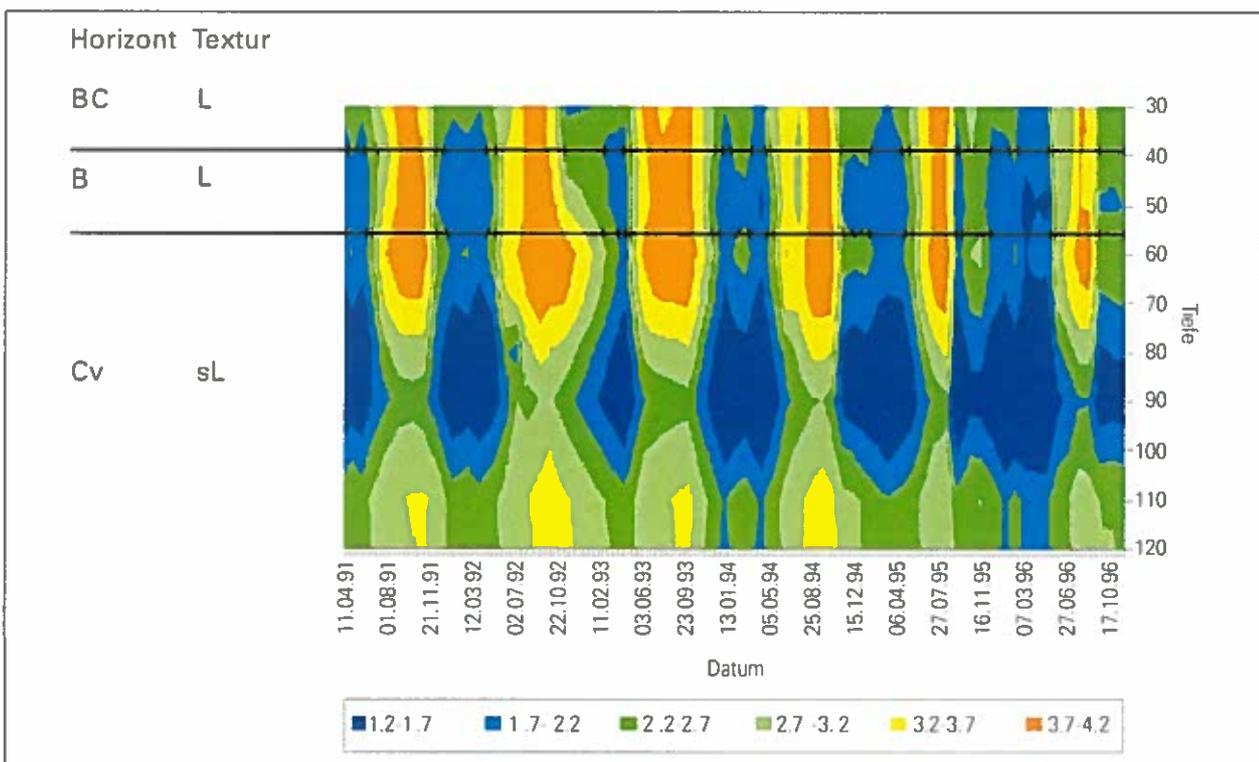
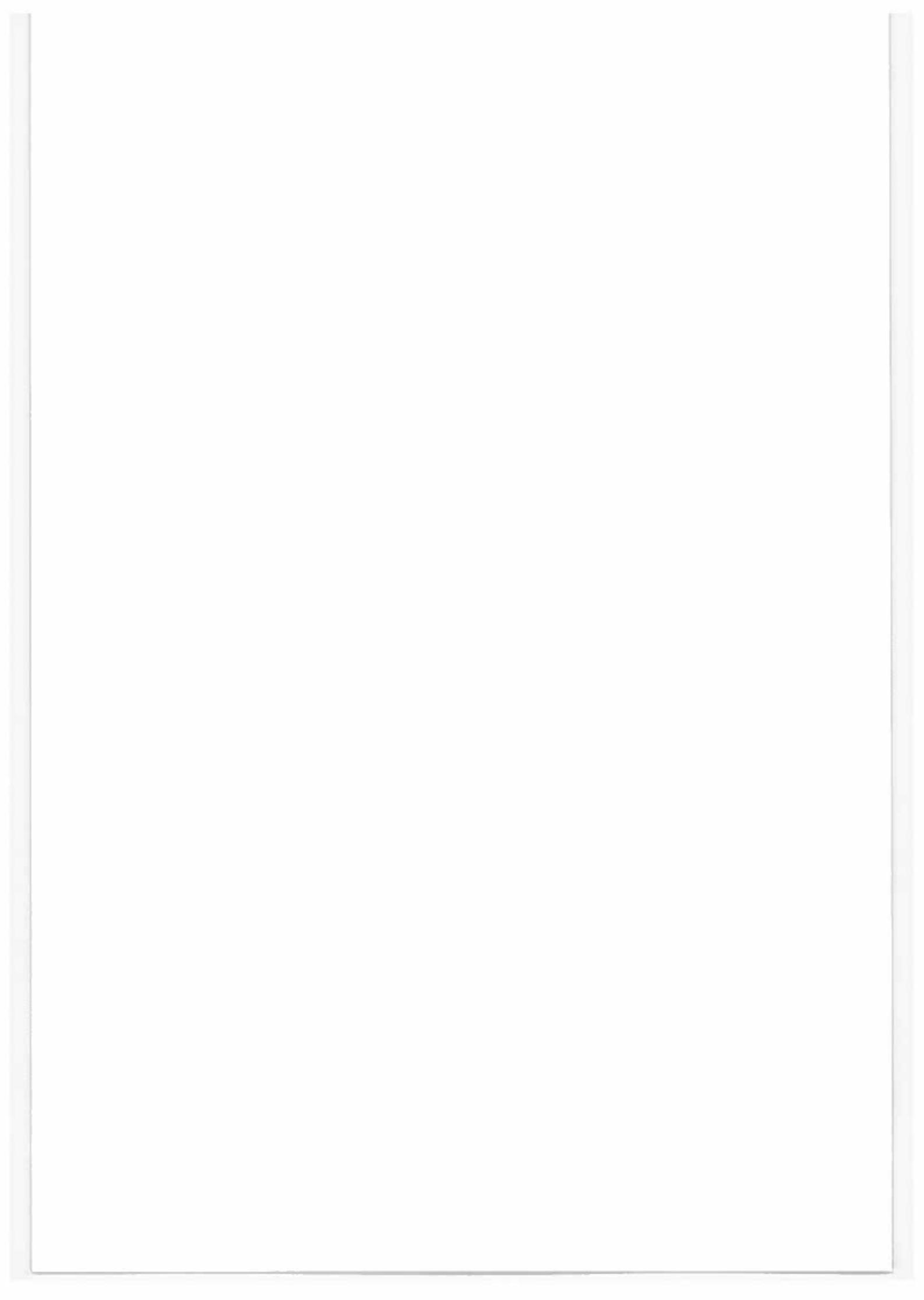


Abb. A6a: Interpolierter Verlauf der Bodenfeuchte (Angaben in Volumsprozent) und Bodenhorizontierung am Meßpunkt der Fläche 6/Kohberg (Braunlehm-Rendsina) für den Zeitraum 1991-1996 (L = Lehm, sL = sandiger Lehm).

Abb. A6b: Interpolierter Verlauf der pF-Werte (pF-Wert = Logarithmus des Bodenwasserpotentials in hPa=10<sup>2</sup> Pa) und Bodenhorizontierung am Meßpunkt der Fläche 6/Kohberg (Braunlehm-Rendsina) für den Zeitraum 1991-1996 (L = Lehm, sL = sandiger Lehm).





**FBVA-Berichte**  
Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien

			Preis in ÖS
1953	1	Forstliche Arbeitslehre und Menschenführung. Referate von der GEFFA-Tagung 1952 in Ort bei Gmunden (Oberösterreich). 137 Seiten	vergriffen
1954	2	FRAUENDORFER, R. Forstliche Hilfstafeln. 167 Seiten	vergriffen
1955	3	LOHWAG, K. Erkenne und bekämpfe den Hausschwamm und seine Begleiter! 61 Seiten	vergriffen
1955	4	GRÜLL, H.; TRAUNINGER, W. Neuzeitliche Forstsaatguterzeugung in Pfropfplantagen. I. Teil, Plusbaumauswahl und Pfropfung. 73 Seiten	20.—
1956	5	HAFNER, F.; HEDENIGG, W. Planiergerät im forstlichen Straßen- und Wegebau. 75 Seiten	20.—
1957	6	FRAUENDORFER, R. Planung und Durchführung von Stichprobenahmen. 65 Seiten	vergriffen
1958	7	FRAUENDORFER, R. Betriebswirtschaftliche Untersuchungen im steirischen Bauernwald. (Gemeinde Haslau 1955). 157 Seite	50.—
1985	8	POLLANSCHÜTZ, J. Waldzustandsinventur 1984. Ziele - Inventurverfahren - Ergebnisse. 29 Seiten	vergriffen
1985	9	GLATTES, F.; SMIDT, S.; DRESCHER, A.; MAJER, C.; MUTSCH, F. Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. Einrichtung und Ergebnisse 1984. 81 Seiten	vergriffen
1985	10	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1974/75, 1975/76 und 1976/77. 76 Seiten	80.—
1986	11	STAGL, W.; DRESCHER, A. Wild - Vegetation - Forstschäden. Vorschläge für ein Beurteilungsschema. 19 Seiten	30.—
1986	12	NATHER, J. Proceedings of the International Symposium on Seed Problems under Stressfull Conditions, Vienna and Gmunden, Austria June 3.-8. 1985. 287 Seiten	vergriffen
1986	13	SMIDT, S. Bulkmessungen in Waldgebieten Österreichs. Ergebnisse 1984 und 1985. 32 Seiten	vergriffen
1986	14	EXNER, R. Die Bedeutung des Lichtfaktors bei Naturverjüngung. Untersuchungen im montanen Fichtenwald. 48 Seiten	vergriffen
1986	15	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1977/78, 1978/79 und 1979/80. 81 Seiten	90.—
1986	16	HAUK, E.; HÖLLER, P.; SCHAFFHAUSER, H. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1984/85 und 1985/86. 90 Seiten	90.—
1987	17	MERWALD, I. Lawinenereignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1980/81 und 1981/82. 74 Seiten	80.—

1987	18	EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. Strukturanalysen im subalpinen Fichtenwald (Niedere Tauern, Radstadt/Salzburg). 102 Seiten	100.—
1987	19	HAUPOLTER, R. Baumsterben in Mitteleuropa. Eine Literaturübersicht. Teil 1: Fichtensterben. KREHAN, H.; HAUPOLTER, R. Forstpathologische Sondererhebungen im Rahmen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1984-1988. Kiefernbestände - Bucklige Welt.. 73 Seiten	vergriffen
1987	20	GLATTES, F.; SMIDT, S. Höhenprofil Zillertal. Untersuchung einiger Parameter zur Ursachenfindung von Waldschäden. Ergebnisse von Luft-, Niederschlags- und Nadelanalysen 1985. 65 Seiten	vergriffen
1987	21	RUETZ, W.; NATHER, J. Proceedings of the IUFRO Working Party on Breeding Strategy for Douglas-Fir as an Introduced Species. Working Party: S2.02-05. Vienna, Austria June 1985. 300 Seiten	300.—
1987	22	JOHANN, K. Standraumregulierung bei der Fichte. Ausgangsbaumzahl - Stammzahlreduktion - Durchforstung - Endbestand. Ein Leitfaden für den Praktiker. 66 Seiten	60.—
1987	23	POLLANSCHÜTZ, J.; NEUMANN, M. Waldzustandsinventur 1985 und 1986. Gegenüberstellung der Ergebnisse. 98 Seiten	100.—
1987	24	KLAUSHOFER, F.; LITSCHAUER, R.; WIESINGER, R. Waldzustandsinventur Untersuchung der Kronenverlichtungsgrade an Wald- und Bestandesrändern. 94 Seiten	100.—
1988	25	JOHANN, K. Ergebnisse einer Rotfäuleuntersuchung in sehr wüchsigen Fichtenbeständen. 88 Seiten	90.—
1988	26	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1986. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 114 Seiten	120.—
1988	27	SMIDT, S. Messungen der nassen Deposition in Österreich. Meßstellen, Jahresmeßergebnisse, Literatur. 72 Seiten	80.—
1988	28	Forum Genetik - Wald - Forstwirtschaft. Bericht über die 5. Arbeitstagung von 6. bis 8. Oktober 1987. Kongresshaus Innsbruck. 192 Seiten	200.—
1988	29	KRISSL, W.; MÖLLER, F. Mischwuchsregulierung von Fichte und Buche in der Jungwuchsphase. 52 Seiten	50.—
1988	30	MARCU, GH.; TOMICZEK, C. Eichensterben und Klimastress. Eine Literaturübersicht. 23 Seiten	30.—
1988	31	KILIAN, W. Düngungsversuche zur Revitalisierung geschädigter Fichtenbestände am Ostrong. 50 Seiten	50.—
1988	32	SMIDT, S.; GLATTES, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal, Meßbericht 1987. 234 Seiten	250.—
1988	33	ENK, H. 10 Jahre Kostenuntersuchung bei Tiroler Agrargemeinschaften und Gemeindewäldern. 124 Seiten	130.—
1988	34	KREHAN, H. Forstpathologische Sondererhebungen im Rahmen der Österreichischen Waldzustandsinventur 1984-1988. Teil II: Fichtenbestände im Ausserfern (Tirol) und im grenznahen Gebiet des Mühl- und Waldviertels. 60 Seiten	60.—
1988	35	SCHAFFHAUSER, H. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1986/87. 138 Seiten	145.—

1989	36	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (8). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. 128 Seiten	130.—
1989	37	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 100 Seiten	105.—
1989	38	MERWALD, I. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1982/83, 1983/84. 92 Seiten	100.—
1989	Sonderheft	SCHNEIDER, W. Verfahren, Möglichkeiten und Grenzen der Fernerkundung für die Inventur des Waldzustandes. 118 Seiten	200.—
1989	39	KREHAN, H. Das Tannensterben in Europa. Eine Literaturstudie mit kritischer Stellungnahme. 58 Seiten	60.—
1989	40	KRISSL, W.; MÜLLER, F. Waldbauliche Bewirtschaftungsrichtlinien für das Eichen-Mittelwaldgebiet Österreichs. 134 Seiten	140.—
1990	41	KILLIAN, H. Bibliographie zur Geschichte von Kloster, Forstlehranstalt und Forstlicher Versuchsanstalt Mariabrunn - Schönbrunn. 162 Seiten	165.—
1990	42	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1974 - 1976 und Kurzfassung der Wildbachereignisse in Österreich in den Jahren 1974 - 1987. 98 Seiten	100.—
1990	43	Beiträge zur Wildbacherosions- und Lawinenforschung (9). IUFRO-Fachgruppe S1.04-00. Vorbeugung und Kontrolle von Wildbacherosion, Hochwässer und Muren, Schneeschäden und Lawinen. 80 Seiten	80.—
1990	44	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988. Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 33 Seiten	35.—
1990	44A	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1988 (Anhang). Luftschadstoffmessungen, Meteorologische Daten, Niederschlagsanalysen. 230 Seiten	280.—
1990	Sonderheft	KILIAN, W.; MAJER, C. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Anleitung zur Feldarbeit und Probenahme. 58 Seiten	70.—
1990	45	NEUMANN, MARKUS; SCHADAUER, K. Waldzustandsinventur. Methodische Überlegungen und Detailauswertungen. 88 Seiten	90.—
1990	46	Zusammenkunft der Deutschsprachigen Arbeitswissenschaftlichen und Forsttechnischen Institute und Forschungsanstalten. Bericht über die 18. Zusammenkunft vom 18.-20. April 1990. 286 Seiten	340.—
1991	47	SMIDT, S. Beurteilung von Ozonmeßdaten aus Oberösterreich und Tirol nach verschiedenen Luftqualitätskriterien. 87 Seiten	90.—
1991	48	ENGLISCH, M.; KILIAN, W.; MUTSCH, F. Österreichische Waldboden-Zustandsinventur. Erste Ergebnisse. 75 Seiten	80.—
1991	49	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Ziele, Methoden und erste Ergebnisse. 128 Seiten	130.—
1991	50	SMIDT, S. Messungen nasser Freilanddepositionen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. 90 Seiten	90.—

1991	51	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Europa und Asien, I. 33 neue Bockkäfer aus der palaearktischen und orientalischen Region (Coleoptera, Cerambycidae). 75 Seiten	200.—
1991	52	FÜRST, A. Der forstliche Teil der Umgebungsüberwachung des kalorischen Kraftwerkes Dürnrohr. Ergebnisse von 1981 bis 1990. 42 Seiten	45.—
1991	53	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1977-1979. 80 Seiten	80.—
1991	54	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1980-1982. 78 Seiten	80.—
1991	55	WIESINGER, R.; RYS, J. Waldzustandsinventur: Untersuchung der Zuwachsverhältnisse an Wald- und Bestandesrändern. 60 Seiten	60.—
1991	56	RACHOY, W.; EXNER, R. Erhaltung und Verjüngung von Hochlagenbeständen. 60 Seiten	95.—
1991	57	SMIDT, S.; HERMAN, F.; LEITNER, J. Höhenprofil Zillertal. Meßbericht 1989/90. 28 Seiten	30.—
1991	58	STAGL, W.; HACKER, R. Weiden als Prosshölzer zur Äsungsverbesserung. 56 Seiten	60.—
1991	59	HOLZER, K.; OHENE-COFFIE, F.; SCHULTZE, U. Vegetative Vermehrung von Fichte für Hochlagenaufforstungen. Physiologische und phänologische Probleme der Anpassung. 73 Seiten	75.—
1991	60	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Asien II. 63 neue Bockkäfer aus Asien, vorwiegend aus China und Thailand, (Coleoptera: Disteniidae und Cerambycidae). 71 Seiten	140.—
1992	61	STAGL, W. Auswertung der "Trakte" zum Staatsvertrag "Vereinbarung zwischen Bund und dem Land Kärnten über gemeinsame Maßnahmen zur Sicherung eines ausgewogenen Verhältnisses von Wald und Wild". 62 Seiten	105.—
1992	62	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1983-1985. 72 Seiten	75.—
1992	63	FÜRST, A. Blatt- und nadelanalytische Untersuchungen im Rahmen des Waldschaden Beobachtungssystems. Ergebnisse 1989. 37 Seiten	40.—
1992	Sonderheft 1	DRAGOVIC, N. Terminologie für die Wildbachverbauung. Fachwörterbuch deutsch - serbokroatisch. Terminologija Uredjenja Bujicnih Tokova. Recnik Strucnih Termina Srpskohrvatsko - Nemacki. 43 Seiten	50.—
1992	64	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1986-1988. 91 Seiten	95.—
1992	65	NATHER, J. (HRSG.) Proceedings of the meeting of IUFRO - WP S2.02-21 on "Actual problems of the legislation of forest reproductive material and the need for harmonization of rules at an international level". Gmunden / Vienna - Austria, June 10. - 14. 1991. 180 Seiten	200.—
1992	66	JEGLITSCH, F. Wildbachereignisse in Österreich 1989. 60 Seiten	60.—

1992	67	Ökosystemare Studien in einem inneralpinen Tal. Ergebnisse aus dem Projekt "Höhenprofil Zillertal". 152 Seiten	180.—
1992	68	LUZIAN, R. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1987/88, 1988/89, 1989/90, 1990/91. 188 Seiten	200.—
1992	69	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Asien III. 57 neue Bockkäfer aus Asien. Vorwiegend aus China, Thailand und Vietnam (Coleoptera, Cerambycidae). 63 Seiten	120.—
1992	70	Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Erste Ergebnisse aus dem Projekt "Höhenprofile Achenkirch". 103 Seiten	100.—
1992	71	Österreichisches Waldschaden-Beobachtungssystem. Beiträge zum WBS-Seminar vom 23. April 1992. 111 Seiten	115.—
1992	72	VOSHMIGIR, D. (BEARB.). Das Schrifttum der Forstlichen Bundesversuchsanstalt. Teil IV: 1974 bis 1990. 115 Seiten	80.—
1993	73	MÜLLER, F. Auswahl und waldbauliche Behandlung von Gen-Erhaltungswäldern. 24 Seiten	25.—
1993	74	Lawinenbericht 1991/92. Dokumentation und Fachbeiträge. 110 Seiten	80.—
1993	75	HOLZSCHUH, C. Neue Bockkäfer aus Europa und Asien IV. 60 neue Bockkäfer aus Asien, vorwiegend aus China und Thailand (Coleoptera: Cerambycidae). 63 Seiten	100.—
1994	76	SCHADAUER, K. Baumartenatlas für Österreich. Die Verbreitung der Baumarten nach Daten der Österreichischen Waldinventur. 160 Seiten	200.—
1994	77	KAISER, A. Projekt "Höhenprofil Zillertal" Analyse der vertikalen Temperatur- und Windstruktur und ihr Einfluß auf die Immissionskonzentrationen. 95 Seiten	80.—
1994	78	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin. Höhenprofil Achenkirch. Ergebnisse aus dem Bereich Phyllosphäre. 134 Seiten	120.—
1994	79	FÜRST, W.; JOHANN, K. Modellkalkulationen zum Naturverjüngungsbetrieb. 53 Seiten	55.—
1994	80	ANDRECS, P. Schadensereignisse in Wildbacheinzugsgebieten Österreichs 1990 und 1991. 47 Seiten	50.—
1994	81	GEBUREK, T.; MÜLLER, F.; SCHULTZE, U. Klimaänderung in Österreich. Herausforderung an Forstgenetik und Waldbau. 113 Seiten	100.—
1994	82	KILIAN, W.; MÜLLER, F.; STARLINGER, F. Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs Eine Naturgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. 60 Seiten	70.—
1995	83	JOHANN, K. Ergebnis der Großdüngungsversuche St. Martin und Flachau Ertragskundlicher Abschlußbericht. 102 Seiten	100.—
1995	84	HOLZSCHUH, C. Beschreibung von 65 neuen Bockkäfern aus Europa und Asien, vorwiegend aus Thailand und China (Coleoptera: Disteniidae und Cerambycidae). 63 Seiten	60.—

1995	85	KRISTÖFEL, F.; POLLANSCHÜTZ, J. Entwicklung von Fichtenpflanzen nach Triebrückschnitten. 17 Seiten	20.—
1995	86	CECH, T.; TOMICZEK, C. Forstpathologische Erhebungen im Gebiet Achtental. 46 Seiten	50.—
1995	87	HERMAN, F., SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin - Bewertung der Belastung von Gebirgswäldern, Schwerpunkt Rhizosphäre. 288 Seiten	450.—
1995	88	CECH, T.; PERNY, B.; DONAUBAUER, E. Wipfelsterben an Jungfichten in Österreich und beteiligte Mikropilze. 32 Seiten	50.—
1995	89	MARKART, G.; KOHL, B. Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden- / Vegetations- einheiten. Ergebnisse der Beregnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg. 38 Seiten	60.—
1995	90	LANG, E. Starkregensimulation - Ein Beitrag zur Erforschung von Hochwasserereignissen . 70 Seiten	100.—
1995	91	LUZIAN, R.; RAMMER, L.; SCHAFFHAUSER, H. Lawinenbericht 1992/93 - Dokumentation und Fachbeiträge. 52 Seiten	80.—
1995	92	SCHIELER, K.; BÜCHSENMEISTER, R.; SCHADAUER, K. Österreichische Forstinventur - Ergebnisse 1986/90. 262 Seiten	250.—
1996	93	NEUMANN, M. (HRSG.) Österreichisches Waldbeobachtungssystem Beiträge zum 4. WBS-Seminar in Wien am 23. November 1995. 177 Seiten	260.—
1996	94	HERMAN, F.; SMIDT, S. Ökosystemare Studien im Kalkalpin Abschätzung der Gefährdung von Waldökosystemen. 291 Seiten	350.—
1997	95	MÖLLER, F. Waldbau an der unteren Waldgrenze. 129 Seiten	190.—
1997	96	LANG, E.; STARY, U.; KOHL, B.; MARKART, G.; PROSKE, H.; TRINKAUS, P.; ANDRECS, P.; GOTTSCHLING, H. Beiträge zur Wildbachforschung. 51 Seiten	80.—
1997	97	RASCHKA, H.-D. Forstliche Biomasseproduktion im Kurzumtrieb. 29 Seiten	50.—
1997	98	KELLER, G. Mykosoziologische Studie über die Mykorrhizapilze der Zirbe - Artenspektrum und Sukzession in der hochsubalpinen Stufe der Tiroler Zentralalpen. 74 Seiten	110.—
1997	99	SMIDT, ST. Lexikon für waldschädigende Luftverunreinigung mit Index Deutsch-Englisch/Englisch-Deutsch. 209 Seiten	318.—
1997	100	KRONFUSS, H. Das Klima einer Hochlagenaufforstung in der subalpinen Höhenstufe - Haggen im Sellraintal bei St. Sigmund, Tirol ( Periode 1975 - 1994 ). 331 Seiten	400.—
1998	101	NEUMANN, M. Waldwachstumskundlicher Rauchhärteest „Arnoldstein“ - Auswertung einer 25jährigen Fallstudie . 42 Seiten	60.
1998	102	JUNGWIRTH, P. Zuwachsuntersuchungen an Fichte in verschiedenen Seehöhenstufen in den südlichen Zwischenalpen Österreichs . 54 Seiten	80.—

1998	103	SCHULTZE, U. Untersuchung der Angepaßtheit von Fichtensämlingen an die Seehöhe Klimakammertestung der Fichtenbeerntungen der Reifejahre 1991 und 1992. 38 Seiten	60.—
1998	104	ENGLISCH, M. & KILIAN, W. (HRSG.). Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich. 112 Seiten	170.—
1998	105	HEINZE, B. Molekulargenetische Unterscheidung und Identifizierung von Schwarzpappeln und Hybridpappelklonen. 44 Seiten	70.—
1998	106	HEINZE, B. Erhaltung der Schwarzpappel in Österreich - forstwirtschaftliche, genetische und ökologische Aspekte. 33 Seiten	50.—
1998	107	HOLZSCHUH, C. Beschreibung von 68 neuen Bockkäfern aus Asien, überwiegend aus China und zur Synonymie einiger Arten (Coleoptera: Cerambycidae). 65 Seiten	100.—
1999	108	LANG, E.; HAGEN, K. Wildbacheinzugsgebiet Gradenbach – Analyse des Niederschlag- und Abflußgeschehens 1968 - 1996. 109 Seiten	160.—
1999	104	ENGLISCH, M. & KILIAN, W. (HRSG.). Anleitung zur Forstlichen Standortskartierung in Österreich. 2. erweiterte Auflage, 114 Seiten	170.—
1999	109	P. ANDRECS Wildbacheinzugsgebiet Graschnitzbach – Hydrologisches Nachschlagewerk mit Kommentaren. 107 Seiten	160.—
1999	110	C. HOLZSCHUH Beschreibung von 71 neuen Bockkäfern aus Asien, vorwiegend aus China, Laos, Thailand und Indien (Coleoptera, Cerambycidae). 64 Seiten	100.—
2000	111	F. MÜLLER (Hrsg.) Mariabrunner - Waldbautage Umbau sekundärer Nadelwälder. 237 Seiten	350.—
2000	112	W. FORST & H. SCHAFFER Konzept des neuen Österreichischen Waldentwicklungsgesamtplanes „WEP-Austria-Digital“. 22 Seiten	44.—
2000	113	F. HERMAN (Hrsg.) Forschungsergebnisse und Forschungsbedarf zum Thema „Sustainable Future of Mountain Forests in Europe“. Beiträge für den 3. Internationalen Workshop in Igls/Tirol zur Umsetzung der Resolution S4 am 3.-5. Mai 2000. 83 Seiten	120.—
2000	114	K. JOHANN † Ergebnisse von Düngungsversuchen nach 30 Jahren ertragskundlicher Beobachtung. 93 Seiten	140.—
2000	115	K. GARTNER; F. STARLINGER Untersuchungen zum Wasserhaushalt einzelner Waldstandorte im Leithagebirge – Ergebnisse der Bodenfeuchtemessungen im nordöstlichen Teil des Leithagebirges in den Jahren 1991 bis 1996. 47 Seiten	70.—

