



FBVA-BERICHTE 117/2000

Forstliche Bundesversuchsanstalt Wien
Waldforschungszentrum

Der Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen

Dargestellt am Beispiel der Aufforstung
von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain

*Water-Yield of Afforestations in High
Altitude*

*Demonstrated by the Example of the
Afforestation at Haggen near St. Sigmund
(Sellrain Valley, Tirol)*

G. MARKART

FDK 114.12:116.24:233:(23):(436)



BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT
UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT

Das Lebensministerium

Empfohlene Zitierung:

Der Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen - Dargestellt am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain / G. Markart. FBVA-Berichte; Schriftenreihe der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, 2000, Nr. 117, 126 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
Seckendorff-Gudent Weg 8
A-1131 Wien

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

Nachdruck mit Quellenangabe gestattet

Inhaltsverzeichnis

Verzeichnis der Abkürzungen und Kurzzeichen	9
Kurzfassung	11
Abstract	11
1 Einleitung und Problemstellung	12
2 Zum Wasserhaushalt von Waldstandorten	14
2.1 Interzeption, Niederschlag im Bestand, Stammablauf	14
2.1.1 Interzeptionswirkung der Bodenvegetation bzw. der Streudecke im Bestand	16
2.1.2 Interzeptionsleistung von Rasen und Zwergstrauchheiden	16
2.1.3 Bodenevaporation und Interzeption durch die Bestandesstreu	16
2.1.4 Stammablauf	17
2.2 Bodenwasser – Infiltration, Evapotranspiration, Abfluß, Versickerung	17
3 Beschreibung des Arbeitsgebietes	19
3.1 Ursachen der Waldlosigkeit im Sellrainer Obertal	19
3.1.1 Landwirtschaftliche Nutzung	19
3.1.2 Klimatische Faktoren	20
3.2 Geschichtlicher Überblick	20
3.3 Geologie - Böden	21
3.4 Klima	23
3.4.1 Niederschläge	23
3.4.2 Lufttemperatur	24
4 Versuchsanlage - Methodik	25
4.1 Lage des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Versuchsflächen	25
4.2 Simulierte Starkregen	29
4.3 Natürliche Niederschläge auf der Freifläche	32
4.4 Niederschlag im Bestand	33
4.4.1 Interzeptionsverlust	33
4.4.2 Kronendurchlaß	33
4.4.3 Stammablauf	34
4.4.4 Schnee-Wasseräquivalent im Freiland und im Bestand	34
4.5 Boden	35
4.5.1 Potential des Bodenwassers	35
4.5.1.1 Meßprinzip	35
4.5.1.2 Meßgeräte	35
4.5.1.3 Tensiometermessungen - Versuchsanordnung	37
4.5.2 Bestimmung des Wasseranteiles mittels TDR	37
4.5.2.1 Meßprinzip	37
4.5.2.2 Meßgeräte	38
4.5.2.3 Versuchsanlage	38

4.5.3	Bodenprofile und Probenwerbung	39
4.5.4	Labormethodik	39
4.5.4.1	Korngrößenverteilung - Textur	39
4.5.4.2	Lagerungsdichte trocken (LD - nach Ö-Norm L 1068)	39
4.5.4.3	Feststoffdichte (FD - nach Ö-Norm L 1068)	39
4.5.4.4	Organische Substanz (OS)	39
4.5.4.5	Bestimmung des Bodenskelettanteiles	40
4.5.4.6	Gesättigte Wasserleitfähigkeit (Kf-Wert)	40
4.5.4.7	Wasseranteil-Wasserpotential-Kennlinien (pF-Kurven)	40
4.6	Bestimmung der Nadeloberfläche am Standort ZNF	40
4.6.1	Allgemeines	40
4.6.2	Versuche zur Bestimmung der Nadelfläche mit dem Leaf-Area-Meter	41
4.6.3	Berechnung über Regressionsanalysen aus Vergleichsdaten	42
5	Ergebnisse und Diskussion	42
5.1	Freiland-Niederschlag	42
5.1.1	Berechnung fehlender Meßwerte aus Daten der Station St. Sigmund der TIWAG	43
5.1.2	Niederschlagscharakteristika der Vegetationsperioden 1989 - 1994	46
5.1.3	Extremwerte des Niederschlages in den Vegetationsperioden 1989 bis 1994	51
5.2	Bestandesniederschlag am Standort ZNF	52
5.2.1	Einfluß von Intensität, Niederschlagsmenge und -dauer auf den Bestandesniederschlag	52
5.2.2	Schneeniederschlag - räumliche Verteilung	53
5.2.3	Räumliche Verteilung des Regenniederschlages im Bestand	54
5.2.3.1	Niederschlagsverteilung bei simulierten Starkregen im Jahr 1991	54
5.2.3.2	Räumliche Verteilung der natürlichen Niederschläge in den Jahren 1992 bis 1994	54
5.2.4	Komponenten des Bestandesniederschlages in den Jahren 1991 - 1994	55
5.2.5	Beziehungen zwischen Freiland-Niederschlag und den Niederschlagsgrößen im Bestand	61
5.2.5.1	Verhältnis des Niederschlages zur Interzeption des Bestandes	61
5.2.5.2	Kronenspeicherkapazität	63
5.2.5.3	Stammablauf	65
5.2.6	Einfluß des Windes auf die Komponenten des Bestandesniederschlages	65
5.3	Bestandesentwicklung in den Jahren 1992 bis 1994	66
5.3.1	Nadeloberfläche und Kronenprojektion	66
5.3.2	Höhenzuwachs nach Stärkeklassen	67
5.3.3	Kronenansatz (vgl. Abb. 5.3.3)	68
5.3.4	Kronenlänge (vgl. Abb. 5.3.4)	68
5.4	Bodenphysikalische Charakteristika	68
5.4.1	Korngrößenverteilung, Skelettanteil	68
5.4.2	Organische Substanz (OS)	69
5.4.3	Lagerungsdichte (LD)	70
5.4.4	Feststoffdichte des Feinbodens $\leq 2\text{mm}$	71
5.4.5	Wasserspannungskurven (pF-Kurven) und Porenvolumina	71
5.4.5.1	Allgemeines	71
5.4.5.2	Freiland-pF-Kurven aus Tensiometerwerten in Kombination mit gravimetrischen Bestimmungen	72
5.4.5.3	Freiland-pF-Kurven aus Tensiometerwerten und Bodenfeuchtemessungen mit TDR-Sonden	72
5.4.5.4	Labor-pF-Kurven (Methodik vgl. Kap. 4.5.4.7)	74
5.4.5.5	Porenraumverteilung unter Miteinbeziehung des Grobanteiles	76

5.5	Bodenwasserpotential	76
5.5.1	Qualität der Tensiometerdaten	76
5.5.2	Bodenwasserpotential in den Meßperioden 1989 bis 1994	80
5.6	Wasserbilanz einer Aufforstung mit Zirbe (Standort ZNF) für die Monate Juli bis September in den Jahren 1992 bis 1994	89
5.6.1	Umsatz im Kronenraum	89
5.6.2	Saisonale Änderung des Bodenwasseranteiles - Vergleich Aufforstung (ZNF) und Freifläche mit <i>Calluna vulgaris</i> (LYST)	90
5.6.3	Gemeinsame Ermittlung der Verdunstung und der Änderung des Bodenwasseranteiles nach der Wasserbilanzmethode	95
5.6.4	Berechnung des Wasserumsatzes mit dem hydrologischen Modell BROOK90 (FEDERER 1995)	96
5.6.4.1	Eingangsdaten - Erstellung und Quellen	96
5.6.4.2	Benötigte Bestandeskenngrößen	96
5.6.4.3	Bilanzen Juli-September 1992 bis 1994	96
5.6.5	Vergleich Wasserbilanzmethode - BROOK90	99
5.6.5.1	Niederschlagsumsatz im Kronendach	99
5.6.5.2	Evapotranspiration und Versickerung	99
5.7	Zusammenhang zwischen Stammzahlhaltung, Interzeptionsleistung, Bestandesstabilität und Bewirtschaftungsaufwand	100
6	Zusammenfassung	103
7	Literaturverzeichnis	106
8	Anhang	115

Abbildungsverzeichnis

Abb. 3.1:	Lage des Untersuchungsgebietes	22
Abb. 4.1.1:	Die Hochlagenaufforstung Haggen mit den Versuchsflächen von SW gesehen.	26
Abb. 4.1.2:	Detailansicht mit den Versuchsflächen HEUM, ZNF, LYST und BASIS (Herbst 1993).....	27
Abb. 4.1.3:	Lageskizze und Instrumentierung der Versuchsfläche ZNF	29
Abb. 4.1.4:	Kronenkarte der Versuchsfläche ZNF im Jahr 1992	30
Abb. 4.2:	Starkregensimulation zur Quantifizierung der Interzeptionsleistung des Bestandes am Standort ZNF.....	31
Abb. 4.4.2:	Sammelrinnen und -behälter zur Quantifizierung des Kronendurchlasses (K_D) in der Versuchsfläche ZNF.....	33
Abb. 4.5.1.2:	JET-FILL Tensiometer der Fa. SOILMOISTURE auf der Freifläche LYST	36
Abb. 4.5.3:	Entnahmeschema für Zylinderproben und Lockermaterial.....	39
Abb. 5.1.1.3 a-c:	Zusammenhang zwischen dem Niederschlag in Haggen (Totalisator in 1 m Höhe) und der Meßstation der TIWAG in St. Sigmund im Sellrain für die Jahre 1989 bis 1991	44
Abb. 5.1.1.3 d-f:	Zusammenhang zwischen dem Niederschlag in Haggen (Totalisator in 1 m Höhe) und der Meßstation der TIWAG in St. Sigmund im Sellrain für die Jahre 1992 bis 1994	45
Abb. 5.1.1.3 g:	Zusammenhang zwischen dem Niederschlag in Haggen (Totalisator in 1 m Höhe) und der Meßstation der TIWAG in St. Sigmund im Sellrain bei gemeinsamer Verrechnung der Meßwerte der Jahre 1992 bis 1994	46
Abb. 5.1.1.4:	Vergleich der in den Meßperioden 1992 bis 1994 in Haggen über Totalisatoren und einen automatischen Regenschreiber gemessenen Niederschlagsmengen mit den Meßwerten der Station St. Sigmund der TIWAG ..	48
Abb. 5.1.1.5:	Tagessummen der Niederschläge an der Station BASIS in den Vegetationsperioden 1989 bis 1991 gemessen mit einem automatischen Regenschreiber - Bezugshöhe 3 m.....	49
Abb. 5.1.1.5:	Tagessummen der Niederschläge an der Station BASIS in den Vegetationsperioden 1992 bis 1994, gemessen mit einem automatischen Regenschreiber - Bezugshöhe 3 m.....	50
Abb. 5.2.2:	Räumliche Verteilung der Schneehöhen (in cm) und Wasseräquivalente auf der Versuchsfläche ZNF am 28. Februar 1992.....	53
Abb. 5.2.4.1 a:	Zi-Berechnungsfläche (ZNF): Niederschlag, Stammablauf, Kronendurchlaß und Interzeption für 8 simulierte Starkregen (1991).....	55
Abb. 5.2.4.1 b:	Zi-Berechnungsfläche (ZNF): Niederschlag, Stammablauf, Kronendurchlaß und Interzeption für 8 simulierte Starkregen (1991) und die Meßperioden 1992 bis 1994.....	59
Abb. 5.2.5.1:	Interzeption versus Freiland-Niederschlag am Standort ZNF getrennt für die simulierten Starkregen 1991 und die Meßperioden 1992 bis 1994, sowie gemeinsam für alle Beobachtungen der Jahre 1991 bis 1994	62
Abb. 5.2.5.2.1:	Niederschlag im Bestand versus Freiland-Niederschlag am Standort ZNF für die Meßperioden 1992 bis 1994.....	63
Abb. 5.2.5.2.2:	Beziehung zwischen dem Variationskoeffizienten des Kronendurchlasses und dem Niederschlag für den Zeitraum Juli bis September 1992-1994.....	64
Abb. 5.2.5.2.3:	Beziehung zwischen dem Variationskoeffizienten des Stammablaufes und dem Niederschlag für den Zeitraum Juli bis September 1992-1994.....	65
Abb. 5.3.1.1:	Verteilung der Nadeloberfläche nach Höhenklassen und ihre Änderung während des Untersuchungszeitraumes.	67
Abb. 5.3.1.2:	Verteilung der Kronenprojektion nach Höhenklassen und ihre Änderung während des Untersuchungszeitraumes.....	67
Abb. 5.3.3:	Höhe des Kronenansatzes und dessen Änderung während des Untersuchungszeitraumes.	68
Abb. 5.3.4:	Änderung der Kronenlänge während des Untersuchungszeitraumes	68
Abb. 5.4.1.1:	Textur der Feinfraktion des Bodens der vier obersten Tiefenstufen an den Versuchsflächen.	69
Abb. 5.4.1.2:	Mittlere Verteilung der festen Bodenfraktion (Skelettanteil > 2mm Durchmesser, Feinfraktion < 2mm) und des Gesamtporenvolumens über die verschiedenen Tiefenstufen am Standort ZNF.....	69
Abb. 5.4.2:	Organische Substanz in den obersten Tiefenstufen der vier Versuchsflächen.	70
Abb. 5.4.3:	Lagerungsdichte ermittelt an Zylinderproben (200 cm ³ Volumen) in Abhängigkeit von der Bodentiefe auf den vier Versuchsflächen.	71
Abb. 5.4.4:	Feststoffdichte des Feinbodens ≤ 2 mm in Abhängigkeit von der Bodentiefe auf den vier Versuchsflächen.....	71
Abb. 5.4.5.3:	Zeitlicher Verlauf der Aufsättigung der Bodenmatrix bei simulierten Starkregen am Standort ZNF.....	73

Abb. 5.4.5.4.1:	Experimentell an Zylinderproben (200 cm ³ Volumen) für die Versuchsflächen BASIS, HEUM, LYST und ZNF ermittelte Druckpotential-Wasseranteilsbeziehungen.....	75
Abb. 5.4.5.4.2:	Ausgleichsfunktionen der pF-Kurven für die Versuchsfläche ZNF.....	76
Abb. 5.4.5.5:	Verteilung der Substanz- und Porenvolumina in Abhängigkeit von der Bodentiefe am Standort ZNF.....	76
Abb. 5.5.1.1:	Saisonalen Verlauf der Wasserspannungen im Jahr 1994 am Standort ZNF an 3 nebeneinander angeordneten Tensiometer-Profilen	77
Abb. 5.5.1.2:	Standardabweichungen (s) der Wasserspannungen im Boden (angegeben in hPa) in 0 bis 50 cm Tiefe am Standort ZNF in den Beobachtungsperioden 1993 und 1994.....	79
Abb. 5.5.2 a:	Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1989 an den Versuchsflächen UH, LYST, BASU, BASO.	81
Abb. 5.5.2 b:	Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1990 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, HEUM.	82
Abb. 5.5.2 c:	Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1991 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, BASU und BASO.	83
Abb. 5.5.2 d:	Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1992 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, BASU und BASO.....	85
Abb. 5.5.2 e:	Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1993 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, BASU und BASO.	86
Abb. 5.5.2 f:	Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1994 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, BASU und BASO.....	87
Abb. 5.6.1:	Niederschlagsumsatz im Kronenraum an der Versuchsfläche ZNF in den Monaten Juli bis September der Jahre 1992 bis 1994.....	89
Abb. 5.6.2 a:	Niederschlagsverteilung im Bestand (oben) und Änderung des Wasseranteiles in den einzelnen Bodenschichten (unten) in der Meßperiode 1992.	92
Abb. 5.6.2 b:	Niederschlagsverteilung im Bestand (oben) und Änderung des Wasseranteiles in den einzelnen Bodenschichten (unten) in der Meßperiode 1993.....	93
Abb. 5.6.2 c:	Niederschlagsverteilung im Bestand (oben) und Änderung des Wasseranteiles in den einzelnen Bodenschichten (unten) in der Meßperiode 1994.....	94
Abb.5.6.4.3:	Wasserumsatz am Standort ZNF im dritten Quartal der Jahre 1992 bis 1994. Vergleich der nach der Wasserbilanzmethode und mit dem hydrologischen Modell BROOK90 ermittelten Werte.	101
Abb. 5.7:	Stammzahl im Bereich zweier 25-jähriger Versuchsflächen mit Zirbe.	102

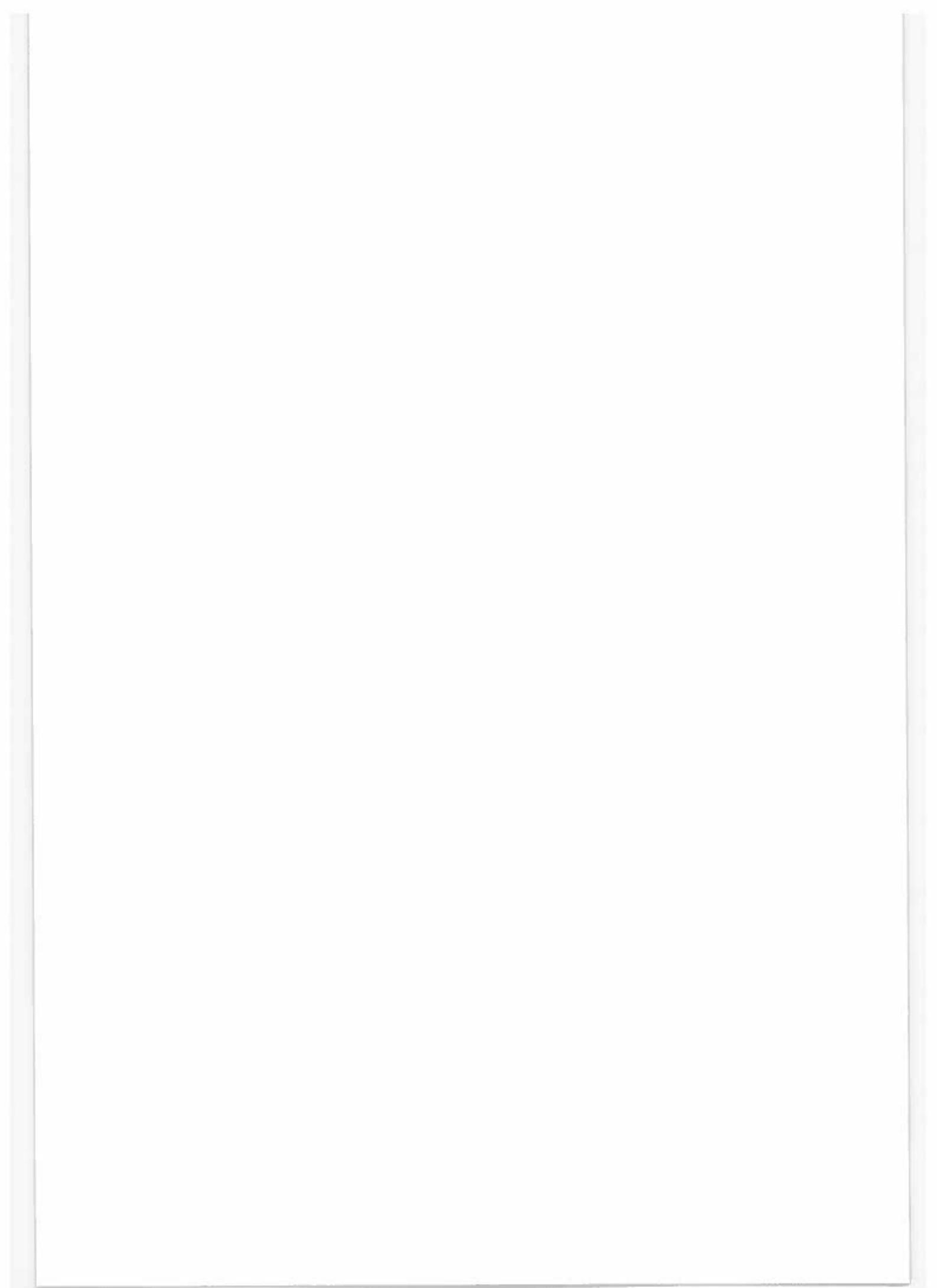
Tabellenverzeichnis

Tab.2.1:	Interzeptionsleistung verschiedener Koniferenbestände, nach Literaturangaben zusammengefaßt.....	15
Tab. 2.2:	Angaben zum Abflußverhalten verschiedener Boden- /Vegetationseinheiten des österreichischen und bayerischen Alpenraumes bei simulierten Starkregen.....	18
Tab. 3.4.1.1:	Variabilität der Niederschlagssummen für das hintere Sellrain (Angaben in mm).	23
Tab. 3.4.1.2:	Niederschlagshäufigkeiten in Gries und St. Sigmund im Sellrain.	24
Tab. 3.4.2:	Mittelwerte der Temperatur im Untersuchungsgebiet HAGGEN	24
Tab. 4.1.1:	Aufbau der Bodenprofile an den vier Versuchsflächen.	28
Tab. 4.6.1:	Nadeloberflächen von Zi-Nadelproben ermittelt über Planimetrierung und nach der Glasperlenmethode am Standort ZNF.....	41
Tab. 4.6.3:	Berechnung der Nadeloberfläche für ein 9 Baum-Kollektiv.....	42
Tab. 5.1.1.1:	Zusammenhang zwischen dem Niederschlag an der Versuchsstation Haggen im Sellrain und der Meßstelle der TIWAG in St. Sigmund.	43
Tab. 5.1.1.2:	Über verschiedene Ausgleichsverfahren ermittelte Jahresniederschlagssummen der Station Haggen (LYST) im Vergleich mit den gemessenen Werten der Station St. Sigmund der TIWAG.....	44

Tab. 5.1.3.1:	Summen und Extremwerte der Niederschläge in den Vegetationsperioden 1989 bis 1994.....	51
Tab. 5.2.1:	Niederschlag - Spitzenregen der Meßperioden 1993 und 1994.....	52
Tab. 5.2.3.2:	Verteilung der Maxima und Minima des Kronendurchlasses im Bestand nach ihrer Häufigkeit.....	54
Tab. 5.2.4.1:	Beregnungsfläche - Stammablauf, Kronendurchlaß und Interzeption bei simulierten Starkregen.....	56
Tab. 5.2.4.2:	Korrelationsmatrizen der Interzeption und von Komponenten des Bestandesniederschlages für die simulierte Starkregen 1991 und die Meßperioden 1992 bis 1994.....	56
Tab. 5.2.4.3:	Zi-Beregnungsfläche ZNF Haggen – Stammablauf, Kronendurchlaß und Interzeption in den Meßperioden 1992 bis 1994.....	58
Tab. 5.2.5.2:	Einzelregressionen des Kronendurchlasses gegen den Freiflächen-Niederschlag des Zirbenbestandes am Standort ZNF.....	65
Tab. 5.3.1:	Überschirmung und Nadelfläche an der Versuchsfläche ZNF in den Jahren 1992 und 1994.....	66
Tab. 5.3.2:	Durchschnittlicher Höhenzuwachs nach Höhenklassen auf der Versuchsfläche ZNF in den Jahren 1992 bis 1994.....	67
Tab. 5.4.1.1:	Bodenskelettklassen nach SCHEFFER - SCHACHTSCHABEL (1992).....	69
Tab. 5.4.2:	Klassifikation des Humusgehaltes nach KUNTZE et al. (1983) und SCHEFFER -SCHACHTSCHABEL (1992).....	70
Tab. 5.4.3:	Einteilung der Lagerungsdichte.....	71
Tab. 5.4.5.1:	Einteilung der Porengrößenverteilung und -funktionen.....	72
Tab. 5.4.5.3:	Korrelationen der Wasserspannung mit der Bodenfeuchte am Standort ZNF.....	73
Tab. 5.4.5.4:	Druckpotential-Wasseranteilsbeziehung für die Versuchsfläche ZNF (0 – 50 cm Tiefe), als Funktion 5-ter Ordnung berechnet.....	75
Tab. 5.5.1:	Verteilung der Tensiometer am Standort ZNF nach Tiefenstufen.....	76
Tab. 5.6.1:	Niederschlagsumsatz im Kronenraum an der Versuchsfläche ZNF in den Monaten Juli bis September der Jahre 1992 bis 1994.....	90
Tab 5.6.3:	Einfache Wasserbilanz für die Meßperioden 1992 bis 1994 (Juli - September) am Standort ZNF.....	95
Tab. 5.6.4.1:	Eingangsgrößen für das hydrologische Modell BROOK90.....	96
Tab. 5.6.4.2:	Die wichtigsten Eingangsparameter des hydrologischen Modells BROOK90.....	97
Tab. 5.6.4.3.1:	Wasserumsatz am Standort ZNF im dritten Quartal der Jahre 1992 bis 1994 berechnet mit dem hydrologischen Modell BROOK90.....	98
Tab. 5.6.4.3.2:	Monatsbilanzen des Niederschlagsumsatzes im Kronendach – Vergleich der über das Modell BROOK90 berechneten Werte mit den im Gelände erhobenen Daten.....	99
Tab. 5.6.4.3.3:	Potentielle Verdunstung am Standort LYST, ermittelt mit dem Piché-Evaporimeter in mm.....	100
Tab. 8.1 a:	Die wichtigsten biometrischen Kennwerte des Bestandes auf der Beregnungsfläche (Standort ZNF) - Ergebnisse der Vollaufnahme 1992.....	116
Tab. 8.1 b:	Die wichtigsten biometrischen Kennwerte des Bestandes auf der Beregnungsfläche (Standort ZNF) - Ergebnisse der Vollaufnahme 1994.....	118
Tab. 8.2:	Höhenentwicklung des Zirbenbestandes am Standort ZNF von 1992 bis Frühjahr 1995.....	120
Tab. 8.3.a:	Kronendurchlaß am Standort ZNF, 8 simulierte Starkregen- ereignisse 1991.....	122
Tab. 8.3 b:	Kronendurchlaß am Standort ZNF, Beobachtungsperiode 1992.....	123
Tab. 8.3 c:	Kronendurchlaß am Standort ZNF, Beobachtungsperiode 1993.....	123
Tab. 8.3 d:	Kronendurchlaß am Standort ZNF, Beobachtungsperiode 1994.....	124
Tab. 8.4:	Niederschlagsereignisse, deren zeitliche Dauer und Intensitäten am Standort ZNF im Beobachtungszeitraum 1994.....	125

Verzeichnis der Abkürzungen und Kurzzeichen

(A)		Österreich	Lä		Lärche
A _s	mm	Im Boden gespeichertes Wasser + der über die Tensiometer- und TDR-Messungen nicht quantifizierbare Sickerwasseranteil	LAI	m ² /m ²	Blattflächenindex
b	cm	Breite (Regenrinne)	LD	g/cm ³	Lagerungsdichte
BASIS		Versuchsstandort BASIS	IS		Lehmiger Sand
BASO		Versuchsstandort BASIS, oberhalb des Steiges	LYST		Versuchsstandort Lysimeterstation
BASU		Versuchsstandort BASIS, unterhalb des Steiges	n		Anzahl der Messungen
Bh1-18		Sammelrinnen für den Kronendurchlaß – Nr. 1 bis 18	N	mm	Niederschlag
BHD	cm	Brusthöhendurchmesser (in 1,30 m Höhe des Stammes)	N _B	mm	Bestandesniederschlag (angegeben als Niederschlagsäquivalent)
Bu		Buche	N _{Fl}	m ² /m ²	Nadeloberfläche
ΔB	mm	Unterschied der aktuellen Bodenfeuchte im wurzelbeeinflussten Profil am Anfang und zum Ende der Meßperiode	N _{St}	mm	Stammablauf (angegeben als Niederschlagsäquivalent)
B	mm	Gesamtes Wasser im Boden (angegeben als Niederschlagsäquivalent)	OS	m%	Organische Substanz (Massen%)
(CH)		Schweiz	org		organisch
(D)		Deutschland	R		Korrelationskoeffizient
DPA		Druckplattenapparatur nach RICHARDS	R ²		Bestimmtheitsmaß
DVWK		Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V.	S		Sand
E _B	mm	Bodenevaporation (angegeben als Niederschlagsäquivalent)	s		Standardabweichung
ET	mm	Evapotranspiration (angegeben als Niederschlagsäquivalent)	Sc	mm	Speicherkapazität des Kronendaches
FD	g/cm ³	Feststoffdichte des Bodens	SH	m	Seehöhe
FD _{miner}	g/cm ³	Feststoffdichte der mineralischen Substanz des Bodens	SF		Standardfehler
FD _{org}	g/cm ³	Feststoffdichte der organischen Substanz des Bodens	SLA	m ²	Spezifische Blattfläche
FG	g	Frischgewicht der Nadeln	St _{FL}		Stammoberfläche
FG 75		Forstgesetz 1975 in der Fassung der Novelle von 1987	t	cm	Tiefe (Regenrinne)
Fi		Fichte	T	mm	Transpiration (angegeben als Niederschlagsäquivalent)
GPV	%	Gesamtporenvolumen	T1–T...		Tensiometer Nr. ...
h	cm	Höhe (Regenrinne)	Ta		Tanne
H/D-Wert		Verhältnis Baumhöhe zu Brusthöhendurchmesser	TDR		Time Domain Reflectometry
HEUM		Versuchsfläche Heumader, Lärchenaufforstung	TIWAG		Tiroler Wasserkraftwerke AG
HK1		Höhenklassen in 50 cm-Stufen	TS1-6		Tiefenstufen der Bodenprobenentnahme
HM		Höhenmeter	UH		Versuchsfläche Unterhang
I _N	mm/h	Intensität des Niederschlages	uS		Schluffiger Sand
INT	mm	Interzeption (angegeben als Niederschlagsäquivalent)	ü.A.		Seehöhe
K _{As}	cm	Höhe des Kronenansatzes	v		Variationskoeffizient
K _D	mm	Kronendurchlaß (angegeben als Niederschlagsäquivalent)	V	mm	Während des Niederschlagsereignisses im Kronendach verdunstete Regenmenge
K _f	cm/d	Gesättigte Wasserleitfähigkeit	Veg.P		Vegetationsperiode
Kl	cm	Kronenlänge	Vfm		Vorratsfestmeter in Derbholz /ha
K _o	mm	Kronenspeicherkapazität (angegeben als Niederschlagsäquivalent)	Vol%		Volumsprozent
l	cm	Länge (Regenrinne)	Zi		Zirbe
			ZNF		Versuchsstandort Zirben-Nullfläche
			\bar{x}		Arithmetisches Mittel
			∅	µm, cm	Durchmesser
			ε		Dielektrizitätskonstante
			ψ	hPa	Gesamtpotential des Bodenwassers
			ψ _m	hPa	Matrixpotential
			ψ _z	hPa	Gravitationspotential
			ψ _o	hPa	Osmotisches Potential
			ψ _Ω	hPa	Auflastpotential
			ψ _p	hPa	Druckpotential



Der Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen

Dargestellt am Beispiel der Aufforstung von Haggen bei St. Sigmund im Sellrain

G. MARKART

Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Forstliche Bundesversuchsanstalt Innsbruck

Kurzfassung: Quantitative Angaben über den Wasserumsatz von Hochlagenaufforstungen sind kaum vorhanden. Daher wurden in mehrjährigen Meßprogrammen in einem aufgeforsteten Zirbenbestand bei Haggen im Sellrain (Tirol) der Niederschlagsinput über simulierte Starkregen und natürliche Niederschläge, der Kronendurchlaß, der Stammablauf, sowie an diesem Standort und mehreren Vergleichsflächen die saisonale Änderung der Wasserspannung und des Wasseranteils im Boden beobachtet. Jede der Versuchsflächen zeigte in den Meßperioden einen typischen Gang der Bodenfeuchte, der sich über unterschiedliche Bestockung, Bestandesalter und -dichte erklären läßt. Während längerer Trockenperioden bzw. in Phasen extrem niedriger Tagesniederschläge (< 3 bis 5 mm) verwischen die Unterschiede im Aufsättigungs- und Desorptionsverhalten der einzelnen Versuchsflächen. Homogene Durchfeuchtung des Bodens ist primär nach ergiebigen Einzelereignissen bzw. bei mehrtägigen Niederschlägen höherer Intensität zu beobachten. Neben der Ermittlung der Verdunstung und der Änderung des Bodenwasseranteils nach der Wasserbilanzmethode wurden für einen Bestand saisonale Wasserbilanzen mit dem hydrologischen Modell BROOK90 gerechnet, wobei sich gute Übereinstimmungen zeigten. Die Begründung von Hochlagenaufforstungen mit extrem hohen Stammzahlen (bis 16.000/ha) bietet aus hydrologischer Sicht nur kurzfristig Vorteile (höhere Wasserretention und Interzeptionswerte), hat jedoch in späteren Jahren verstärkte Konkurrenz, ungünstige Stammformen (hohe H/D-Werte) und hohen Pflegeaufwand zur Folge.

Schlüsselworte: Kronendurchlaß, Hydrologie, Interzeption, Starkregensimulation, Stammabfluß, Wasserbilanz, Pinus Cembra

Abstract. [Water-Yield of Afforestations in High Altitude - Demonstrated by the Example of the Afforestation at Haggen near St. Sigmund (Sellrain Valley, Tirol).] Only few information is available about water yield of afforestations in high altitudes. Therefore precipitation (gross precipitation, simulation of heavy rains), canopy throughflow and stemflow were measured for several years in a pinus-cembra-afforestation in Haggen (Sellrain Valley, Tyrol). In addition research was conducted on seasonal changes of soil water suction and soil water volume on this stand and additional sites. Soil water volume varied due to stocking, age and stand density. In dry periods (single rain event < 5 mm/day) differences in saturation and desorption behaviour of the different stands are gradually decreasing, comparable values of soil water content on the different sites were only registered after rain events of either long duration or high intensities. In addition to calculation of transpiration and changes in soil water content by use of the water balance method seasonal water yield of the pinus cembra stand was calculated with the hydrologic model BROOK90. The results gained by the model correspond well with the data from the field investigations. From the hydrological point of view dense planting of trees (max. 16000/ha) has only advantages in the first years (higher water retention and interzeption values), but later on results in intensive concurrence, tiny stems and demands high effort for thinning measures.

Keywords: Canopy throughfall, hydrology, interzeption, simulation of heavy rains, stemflow, water balance, Pinus Cembra

1 Einleitung und Problemstellung

Zirbenwälder bilden in den Inneralpen vielfach die obere Waldgrenze, oft als Klimax-Gesellschaften. Einige dieser Einheiten weisen noch immer einen hohen Grad an Naturnähe auf, während andere durch den Menschen tiefgreifende Änderungen erfuhr (OSWALD 1998). Durch anthropogenen Einfluß (großflächige Alm- und Weidewirtschaft) wurden diese Grenzwälder örtlich stark verändert, teils zerstört (STERN 1966), die aktuelle Waldgrenze liegt heute meist im Bereich der subalpinen Fichtenwälder, teilweise ist sie bis in den hochmontanen Bereich abgesenkt (RACHOY 1976). Nach AULITZKY (1996) ging in den Nordtiroler Tälern die Waldfläche von 1774 bis 1953 im Durchschnitt von 59.293 ha (100%) auf 37.736 ha (64%) zurück. Im gleichen Zeitraum stiegen die Wildbach- und Lawinenflächen von 865 ha (100%) auf 3.427 ha (397%). Die hydrologische Funktion des Fichten-Lärchen-Zirbenwaldes erscheint heute von besonderem Interesse, da die schutzwasserbaulichen Maßnahmen immer mehr an ihre Grenzen stoßen. Der einzige in einem gewissen Rahmen beeinflussbare Faktor ist die Vegetationsbedeckung der Schadwasserherkunftsgebiete und hier insbesondere die Fläche und die Art der Vegetationsdeckung in den Hochlagen (AULITZKY 1996). HEUMADER (1993) reiht die Schutzwirkung von Hochlagenaufforstungen vor Hochwasser und Muren durch Kronenauffang (Interzeption), Erhöhung des Wasserhaltevermögens des Bodens durch Verbesserung der Bodenstruktur und Freihalten der Aufnahmekapazität des Bodens durch Transpiration vor allen anderen Funktionen an erster Stelle. Auch im neuen Handbuch zur Sanierung von Schutzwäldern im bayerischen Alpenraum (BAYRISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG 1997) werden Wasser-, Bodenschutz und Schutz vor Schneebewegungen als primäre Wirkungen des natürlichen Schutzsystemes Wald angeführt. Trotz der offensichtlich unbestrittenen hydrologischen Wirkung des Waldes in den Hochlagen auf die Verminderung des Gebietsabflusses bei Starkregen (AULITZKY 1988 und 1996, BUNZA et al. 1996, MARKART et al. 1996 a und b, SCHIECHTL 1954) sind nur wenige quantitative Angaben über den Wasserumsatz von Hochlagenbeständen vorhanden.

In der Literatur gibt es nur wenige Hinweise auf hydrologische Untersuchungen in Zirbenbeständen. S. STAUDER, der ehemalige Leiter der Gebietsbauleitung Westliches Unterinntal des Forsttechnischen

Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung, hat in den Jahren 1956 bis 1963 groß angelegte Untersuchungen über den Kronenrückhalt der Zirbe im vorderen Zillertal durchgeführt, das umfangreiche Datenmaterial wurde jedoch nie detailliert ausgewertet, Versuchsanordnung und erste Ergebnisse durch STAUDER (1974) nur in Ansätzen publiziert. AULITZKY und TURNER (1982) führten solche Erhebungen in wesentlich geringerem Umfang an Zi-Einzelstämmen in Obergurgl (Ötztal) durch.

Neuere Untersuchungen aus dem Tegernseer Bergland in Bayern, allerdings aus dem Fichten-Tannen-Buchenwald (Wirtschaftswald) liegen von BREITSA-METER (1996) und MOESCHKE (1998) vor.

In den Jahren 1953 bis 1988 wurde an der Außenstelle für Subalpine Waldforschung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Innsbruck die Kartierung der „Aktuellen Vegetation von Tirol“ im Maßstab 1 : 25.000 durchgeführt (SCHIECHTL und STERN 1974, LABORATOIRE DES ECOSYSTEMES ALPINS 1995), um die räumliche Verteilung der Vegetationsdecken zu erfassen und kartographisch darzustellen. Daraus wurden generelle Sanierungsmöglichkeiten von Wildbach- und Lawineneinzugsgebieten, u.a. auch über Hochlagenaufforstungen abgeleitet.

Die Hochlagenaufforstung Haggen im Sellrain ist schon seit Anlage der ersten Versuchsfläche im Jahr 1963 Gegenstand des wissenschaftlichen Interesses der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Innsbruck. Vor allem auf Betreiben von R. STERN begann man mit ökosystemaren Untersuchungen an diesem extremen Sonnhang. Vor den erfolgreichen Aufforstungsversuchen in Haggen galten extreme Südhänge aufgrund klimatischer Extreme als nicht aufforstbar (zu heiß, zu trocken, etc.).

KRONFUSS (1970) führte die ersten klimatologischen Untersuchungen am Haggener Sonnhang („Lutschauner“) durch, 1972 erfolgte die Auflassung der Forschungsstation in Obergurgl und die Konzentration der Forschungsaktivitäten an der Außenstelle für Subalpine Waldforschung auf Haggen.

Die bisher durchgeführten Arbeiten umfassen neben der Dokumentation der wichtigsten Klimaparameter entlang eines Höhengradienten (KRONFUSS 1970, 1972, 1980, 1997) u.a. umfangreiche biometrische Untersuchungen (KRONFUSS 1985, abschließende Dokumentation in Vorbereitung), Mykorrhizaversuche (GOBL 1972 und laufende Untersuchungen), Erhebungen über die Wiederbesiedlung phytophager Insekten (REITER 1975), die jahreszeitliche Aktivität der Flugfauna (HUG 1991),

sowie die Artenzusammensetzung der Coleopteren-fauna im Vergleich zu HUG 1975 (HARTMANN 1992).

NEUWINGER (1970a, 1972) hat das Gebiet standortkundlich bearbeitet und mehrjährige Bodenwasseruntersuchungen durchgeführt, deren Ergebnisse nur auszugsweise publiziert sind (NEUWINGER 1980, NEUWINGER et al. 1988). Die Originaldaten sind in Verstoß geraten, es existiert keine Beschreibung der Versuchsflächen, deren Anordnung und des Versuchsdesigns.

Ziele

Es erschien also naheliegend, aufbauend auf den umfangreichen vorhandenen Vorinformationen, die vorhandene Infrastruktur des Versuchsfeldes Haggen zu nützen und ergänzende Untersuchungen zum Wasserhaushalt der Aufforstung durchzuführen. Diesen lagen folgende Fragestellungen zugrunde:

- ▶ In der Literatur finden sich nur wenige auf Felduntersuchungen beruhende Angaben über die Interzeptionsleistung der Zirbe, obwohl diese eine der wichtigsten Baumarten für die Hochlagenaufforstung darstellt. Gängige Größen, z.B. von AULITZKY und TURNER (1982), siehe auch Tab.2.1, oder STAUDER (1963) wurden vielfach unter älteren Einzelbäumen bzw. Kleingruppen ermittelt, also unter Bedingungen, die dem Bestandaufbau in Aufforstungen nicht entsprechen. Daher wurde versucht, über mehrere Jahre den zeitlichen Verlauf von Interzeption und Bestandesniederschlag in einer Aufforstungsfläche mit Zirbe während der Sommermonate bei natürlichen und simulierten Niederschlägen qualitativ und quantitativ zu erfassen, und Kennwerte für die Interzeptionsleistung von Aufforstungen mit Zirbe zu ermitteln.
- ▶ Weiters stellte sich die Frage, wie Aufforstungen mit Zirbe und Lärche unterschiedlichen Alters im Vergleich zu Freiflächen auf das herrschende Niederschlagsangebot reagieren. Wie entwickeln sich Wasservorrat und -versorgung, ist während der Vegetationsperiode mit Unterversorgung zu rechnen? Dieser Frage kommt besondere Bedeutung zu, wurden doch südexponierte Hänge in den Hochlagen lange Zeit als Aufforstungsflächen gemieden (NEUWINGER 1970a, STERN 1989 – mündliche Mitteilung). Von weiterem Interesse waren Einflüsse der Stammzahlhaltung und des Bestandesalters auf den Wasserumsatz der Aufforstung.
- ▶ Die meßtechnisch ermittelten Komponenten des Wasserhaushaltes sollten mit einem gängigen Modell nachvollzogen werden, um in Hinkunft

leichtere Abschätzungen des Wasserumsatzes von Hochlagenbeständen zu ermöglichen.

Einschränkende Randbedingungen

- ▶ Hinsichtlich der klimatologischen Daten konnte man sich auf die Ergebnisse der von KRONFUSS und Mitarbeitern eingerichteten und betreuten Meßstationen stützen.
- ▶ Für die Versuchsdurchführung mußte insbesondere in der Anfangsphase auf vorhandene, bereits bei schon längere Zeit zurückliegenden Untersuchungen (TURNER 1961, NEUWINGER 1980, NEUWINGER et al. 1988, bzw. AULITZKY und TURNER 1982) eingesetzte Geräte, wie z.B. Hg-Tensiometer oder Regenrinnen, zurückgegriffen werden. Die Aufstellung eigener automatischer Niederschlags-sammmler an den einzelnen Versuchsstandorten war aus Kostengründen nicht möglich.
- ▶ Ab Juli 1990 stand kein Stationswart mehr zur Verfügung. Der tägliche Betreuungsdienst wurde bis Herbst 1990 über ein Notprogramm aufrecht erhalten. Ab der Vegetationsperiode 1992 konnte die Stations- und Versuchsbetreuung aus Organisations-, Personal- und Kostengründen nur mehr in mehrtägigen bzw. wöchentlichen, fallweise sogar mehrwöchigen Intervallen erfolgen. Automatische Registrierung war aus Kostengründen und wegen der schwierigen Stromversorgung nicht möglich. Seit Feber 1996 sind die wissenschaftlichen Arbeiten im Versuchsfeld Haggen eingestellt.
- ▶ Wasserumsatz und Wasserversorgung von Waldbeständen werden in einem wesentlichen Ausmaß von den physikalischen Eigenschaften der Böden bestimmt, diese variieren jedoch mit zunehmender Seehöhe auf engstem Raum in enormem Maße. Eine umfangreiche Abhandlung über die räumliche Variabilität von Böden und deren Auswirkungen findet sich bei DAHIYA et al. (1984). Die Versuchsflächen befinden sich am schuttreichen Unterhang des Roßkogelmassives im Sellrain, sie sind durch hohe kleinräumige Variabilität gekennzeichnet, da sie sich aufgrund der starken Neigung in permanenter Bewegung befinden, und die darüberliegenden Böden wechselnder Mächtigkeit ausgeprägten Solifluktionerscheinungen unterliegen. Aufgrund dieser Gegebenheiten weisen die auf diesen Standorten erzielten Meßergebnisse auch bei Einsatz technisch hochwertiger Meßsysteme (z.B. TDR) und aufwendiger Labor-methodik gegenüber Standorten in den Tieflagen eine wesentlich höhere Variationsbreite auf.

Kapitel 2 gibt eine kurze Übersicht über Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Waldstandorten. Ein kurzer geschichtlicher Überblick sowie Informationen bezüglich der geologischen, bodenkundlichen und klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet findet sich in Kapitel 3. Versuchsanlage und die verwendeten Methoden (Starkregensimulation, Messung natürlicher Niederschläge, von Interzeption und Stammablauf, Bodenwasserhaushalt, bodenphysikalische Kenngrößen, etc.) sind in Kapitel 4 dargestellt.

Die Niederschlagsmessung in den höheren Lagen ist mit einer Reihe von Schwierigkeiten behaftet (GRUNOW 1955, 1957, 1960, FLIRI 1975, KRONFUSS 1997, SEVRUK 1985). Daher wird im Ergebnisteil (Kapitel 5) zuerst auf die Vertrauenswürdigkeit der verwendeten Niederschlagsdaten eingegangen. Anschließend werden die Niederschlagsverhältnisse in einer Zirben-Aufforstungsfläche, der Zusammenhang Freiland- und Bestandesniederschlag und mögliche Einflußfaktoren (Wind, Nadeloberfläche, Kronenansatz und -länge, etc.) diskutiert. Ein eigener Punkt beschäftigt sich mit den bodenphysikalischen Charakteristika des Versuchsfeldes (Kapitel 5.4), denen aufgrund der starken räumlichen Heterogenität besondere Bedeutung zukommt. Breiter Raum wird der Darstellung und der Diskussion der saisonalen Entwicklung der Bodenwasserpotentiale auf den verschiedenen Versuchsfeldern gewidmet (Kapitel 5.5). Die Darstellung der nach zwei Methoden ermittelten Wasserbilanzen einer Exaktversuchsfläche mit Zirbe (Standort ZNF) für die Sommermonate 1992 bis 1994, und eine kurze Diskussion des Zusammenhanges zwischen Stammzahlhaltung, Niederschlagsumsatz, Bestandesstabilität und Bewirtschaftungsaufwand beschließen den Ergebnisteil.

2 Zum Wasserhaushalt von Waldstandorten

Mit den im Zuge von Hochlagenaufforstungen gesetzten Maßnahmen wird neben einer Reihe anderer Wirkungen, wie Lawinen-, Wind- und Bodenschutz, i.d.R. eine Steuerung des Wasserhaushaltes, insbesondere eine Reduktion des Gebietsabflusses bei Starkregen beabsichtigt (HEUMADER 1993, MARKART et al. 1996 a, b). In der Wasserbilanz eines Standortes stehen den positiven Komponenten, das

sind Niederschläge in flüssiger und fester Form und ggf. Zuflüsse aus angrenzenden Ökosystemen, die Komponenten Interzeptionsverdunstung, Evaporation, Transpiration und Abfluß (Versickerung) als Abgänge über verschiedene, veränderliche Kompartimente gegenüber (MILLBACHER 1992).

2.1 Interzeption, Niederschlag im Bestand, Stammablauf

Der Großteil des Niederschlages erreicht nicht direkt die Bodenoberfläche. Die Interzeption ist eine Funktion des lokalen Regenangebotes und der Vegetation. Der Interzeptionsverlust wird gesteuert von der Anzahl der Befeuchtungs- und Abtrocknungszyklen, denen die Vegetation unterworfen ist (LEYTON et al. 1967). HOPPE weist bereits 1896 auf die Heterogenität der Niederschlagsverteilung unter den Baumkronen hin, und daß diese von der Baumart, der Bestandesart, dem Bestandesalter, der -höhe, der Bestockung und der Kronenentwicklung abhängt. Neben der Niederschlagsmenge spielen Art, Dauer und zeitliche Verteilung der einzelnen Niederschlagsereignisse eine wichtige Rolle (DELFS 1955, HOPPE 1896, MITSCHERLICH 1971). Bei Interzeptionsmessungen in einem 45-jährigen Fi-Bestand der mittleren Höhenlage des Südwestschwarzwaldes konnte HEUVELDOP (1973) im Zuge der Analyse von Einzelereignissen 79% der Interzeptionsverdunstung durch die Intensität des Niederschlages erklären. Weiters spielen das Sättigungsdefizit der Luft, sowie die Wind-, Temperatur- und Strahlungsverhältnisse zum Zeitpunkt des Ereignisses eine wichtige Rolle. Zusätzlich wird die Adhäsion auch durch die chemischen und physikalischen Eigenschaften des Niederschlagswassers beeinflusst (DVWK 1986).

Die Bedeutung der Speicherkapazität als wichtiger Bestandesparameter für den Interzeptionsprozeß wurde schon früh erkannt, sie kann für ein Niederschlagsereignis mit vollständiger Benetzung des Bestandes folgendermaßen beschrieben werden (nach KÄNDLER 1986):

$$\text{INT} = \text{Sc} + \text{V} \quad (1)$$

INT = Interzeption (mm)

Sc = Speicherkapazität (mm)

V = Während des Niederschlages verdunstete Wassermenge (mm)

Unter Vernachlässigung eventueller zusätzlicher Gewinne, wie durch abgefangene Niederschläge (z.B. Nebel), kann die Interzeption (INT) vereinfacht nach folgender Gleichung, als Differenz zwischen

Freiland-Niederschlag und Niederschlag im Bestand berechnet werden (BRECHTEL, 1982):

$$INT = N - N_B \quad (2)$$

N = Niederschlag

N_B = Bestandesniederschlag

Eine Vielzahl von Arbeiten dokumentiert den Einfluß von Baumart und Alter auf die Interzeptionsleistung von Beständen. Eine Übersicht über den

Kronenrückhalt verschiedener Koniferenbestände gibt Tab.2.1. Trotz der nur bedingten Vergleichbarkeit der angeführten Angaben sind deutliche baumartenspezifische Unterschiede zu erkennen. WEIHE (1968) führt an, daß die Fichte gegenüber der Buche deshalb eine so hohe Interzeption aufweist, weil ihre Oberfläche sehr viel größer ist, und infolge der hohen Oberflächenspannung an der Grenzfläche Nadel – Wasser auch zwischen den

Tab.2.1:

Interzeptionsleistung verschiedener Koniferenbestände, nach Literaturangaben zusammengefaßt. Die Angaben variieren je nach Autor, sie erfolgen in mm INT/mm N oder % INT/mm N, als Mittelwerte aus Einzelereignissen, oder als Verhältnis zur Jahresniederschlagssumme. Um einen besseren Vergleich mit alpinen Beständen zu ermöglichen, umfaßt die Aufstellung vorwiegend dichter bestockte Bestände.

Autoren	Jahr	Land	Vegetation	Interzeption
AULITZKY und TURNER	1982	A (Tirol – Ötztal)	Subalpiner Zirbenwald (60 – 120-jährig) Lä-Wald, 65-jährig	> 80 % bei N = 5 mm > 50 % bei N = 35 mm > 50 % bei N = 5 mm > 5 % bei N = 35 mm
BENECKE und VAN DER PLOEG	1978	D (Solling)	Fi-Bestand, 90-jährig	28,3 % bei N = 301,7 mm
BRECHTEL	1965	D - Hessen	Ki-Altbestände (50% aufgelichtet)	39 % bei N = 3,6 mm 10 % bei N = 7,1 mm
BREITSAMETER	1996	D (Bayern – Tegernseer Berge)	Fi-/Ta-/Bu vollbestockt	20–25 % des Jahres-N
ÇEPEL	1967	Türkei, Istanbul	Ki, 42-jährig, 13 m hoch, US = 0,6	31,3 % bei N = 335,7 mm
DELFS	1955	D (Harz)	Fi-Jungwald Fi-/Ta-/Bu aufgelichtet, 55% der Masse entnommen	> 50 % bei N = 5 mm 25 % bei N = 35 mm 10–20 % des Jahres-N
GASH et al.	1980	GB – Wales GB – Schottland GB - Schottland	Sitka-Fichte (<i>Picea sitchensis</i>) Schottische Kiefer (<i>Pinus sylvestris</i>) Sitka-Fichte (<i>Picea sitchensis</i>)	27 % von 1795 mm 42 % von 493 mm 32 % von 802 mm
GERMANN	1976	(CH) - Aargau	80-jähriger Nadelbaumbestand	28 % von 1226 mm
GRUNOW	1955 1955	D - Hohenpeißenberg	Fi-Stangenholz Fi-Altbestand	> 70 % bei N = 5 mm > 20 % bei N = 35 mm > 80 % bei N = 5 mm 30 % bei N = 35 mm
HEUVELDOP	1973	D - Westschwarzwald	Fi, 45-jährig, Kronendichte 78%	2,5 mm bei N = 5 mm 3,0 mm bei N = 35 mm
KELLIHER et al.	1992	Neuseeland	<i>Pinus radiata</i> , 7-jährig, 9m hoch	19 % von 1154 mm
LEYTON et al.	1967	GB - Oxford	Nordische Fichte, undurchforstet	1,8 mm bei N = 3,6 mm 24,4 mm bei N = 61,7 mm
PEARCE et al.	1987	Neuseeland	<i>Pinus radiata</i> , 25-jährig	35 % von 1350 mm
LOUSTEAU et al.	1992	F - Bordeaux	<i>Pinus pinaster</i> , 18-jährig, durchforstet	1 mm bis 2 mm bei N = 5 mm
PECK und MAYER	1996	D	Fichte Kiefer Lärche	32 % des Jahres-N 28 % des Jahres-N 32 % des Jahres-N
TALLAKSEN et al.	1996	S	<i>Picea abies</i>	2 mm bei N = 4 mm 3 mm bei N = 10 mm
WEIHE	1968	D	Fichte	2,8 mm bei N = 5 mm 3 mm bei N > 7 mm
ZELLER	1974	CH	Wiese Wald	0,5–2,0 mm *) 0,2–6,0 mm *)

*) absolute Angaben

Nadeln Wasser festgehalten wird. Ähnlich ermittelten AULITZKY und TURNER (1982) für die Zirbe gegenüber der Lärche wesentlich höhere Interzeptionswerte.

Der Kronenrückhalt ist umso höher, je dichter der Bestand und je größer die Individuenzahl; je höher die Ventilation, umso höher der turbulente Austausch. Mit zunehmendem Abstand der Bäume steigt der Kronendurchlaß (TEKLEHAIMANOT et al. 1991). GOODELL (1953) wies an Beständen von *Pinus contorta* einen Anstieg des Bestandesniederschlags zwischen 13 und 23% bei einer Abnahme des Beschirmungsgrades auf 0,5 bis 0,4 nach. In Fi-Ta-Bu-Beständen der Tegernseer Berge führte ein starker forstlicher Eingriff mit Entnahme von über 50% des Holzvolumens etwa zu einer Halbierung der Interzeptionsverluste, die in den hydrologischen Halbjahren ca. 20–30% des Gesamtniederschlags ausmachten (BREITSAMETER 1996). Eine indirekte Berücksichtigung des Einflusses der Individuenzahl, des Auflichtungsgrades bzw. der Bestandesdichte erfolgt in forsthydrologischen Interzeptionsmodellen. Der unterschiedliche Kronenschluß wird in diesen Modellen in Form eines Kronenspeicherungsterms, des Blattflächen- oder des Gesamtflächenindex berücksichtigt (FEDERER 1995, HAGER 1988).

2.1.1 Interzeptionswirkung der Bodenvegetation bzw. der Streudecke im Bestand

Gelangt im Zuge eines Niederschlagsereignisses das Wasser nach Interaktion mit dem Kronendach auf den Waldboden, so muß, bevor der Wasservorrat des Mineralbodens aufgefüllt werden kann, der Interzeptionsspeicher der Waldbodendecke, die sich aus Streu und fallweise niederer Vegetation zusammengesetzt, aufgefüllt werden. Die Interzeptionsverdunstung von der Waldbodendecke wird dabei üblicherweise der Evaporation zugeschlagen (HAGER 1988).

Nach PUTUHENA und CORDERY (1996) ist die Interzeptionskapazität aller Komponenten auf dem Waldboden proportional zur Masse von Streu und Bodenvegetation pro Flächeneinheit. MOLCHANOV (1960) gibt für das Verhältnis Verdunstung des Waldbodens/Freiland den Faktor 5–6 an. Bei MAYER (1976) finden sich folgende Angaben zur Interzeptionsleistung diverser Zwergsträucher und Moose:

Besenheide	1,4–2,0 mm
Flechten und Kleinmoose	1,9–3,4 mm
Moose (Pleurozium Typ)	2,3–8,6 mm
Torfmoose	7,5–14,7 mm

MOLCHANOV (1960) gibt als Wasserrückhalt der Bodenvegetation unter 65-jährigen, geschlossenen Ki-Reinbeständen im Zeitraum Mai bis Oktober folgende Werte an:

<i>Melica</i> sp.	143 mm
<i>Polytrichum communis</i>	190 mm
<i>Vaccinium myrtillus</i>	116 mm
<i>Vaccinium vitis idaea</i>	129 mm

2.1.2 Interzeptionsleistung von Rasen und Zwergstrauchheiden

Eine sehr gute Übersicht zur Literatur über die Interzeption von Graslandgesellschaften gibt MILLBACHER (1992). So nehmen z.B. 370 g/m² *Calamagrostis epigeios* in trockenem Zustand 1,5 mm Niederschlag auf (FARDIAH und LEMEE 1980 – zit. in MILLBACHER 1992).

Für alpine Krummseggenrasen (*Curvuletten*) in 2300 m SH am Großglockner erzielte WIESER (1983) eine maximale Haftwassermenge von 0,8 mm. GATTERMAYR (1976) errechnete aus Sprühversuchen für Rasenflächen in 1800 m Seehöhe (SH) einen Rückhalt von 0,8 bis 1,4 mm. Für Zweige von *Pinus montana* gibt er Interzeptionsverluste von rund 10% der Niederschlagsmenge an. Für niedere krautige Rasenvegetation und kleinwüchsige Zwergsträucher gibt GATTERMAYR Interzeptionswerte von 1 mm pro Niederschlagsereignis an. GUGGENBERGER (1980) bestimmte für teilweise abgestorbene *Loiseleuria* 5 bis 15%, für eine dichten *Loiseleuria*-Polster 20 bis 30% und für einen *Calluna*-Bestand 30 bis 40% des Bestandesniederschlags als Interzeptionsverlust.

2.1.3 Bodenevaporation und Interzeption durch die Bestandesstreu

Evaporation von der Bodenoberfläche tritt in zweierlei Weise auf: Entweder als „Streuinterzeption“, bei der die Wasserzufuhr durch den Bestandesniederschlag erfolgt, oder nach vorausgehendem kapillarem Aufstieg von Bodenwasser zur Bodenoberfläche. Berücksichtigt man, daß die Streuauflage i.a. eine hohe „Infiltrabilität“ besitzt, und daß kapillarer Aufstieg in der Streu kaum stattfindet, weiters, daß nur ein geringer Anteil der Strahlungsenergie auf den Waldboden gelangt, sowie schließlich, daß Ventilation und Dampfdruckgradienten im Vergleich zum Kronenraum gering sind, so ist anzunehmen, daß die Streu-Interzeption um ein Vielfaches geringer als die Interzeption des Kronendaches ist (BENECKE und VAN DER PLOEG 1978a).

Nach LUEF (1997) ist die Speicherhöhe eine Funktion der Ausgangsfeuchtigkeit, der ofentrockenen Auflagengesamtmasse und der Masse der ofentrockenen LF-Schicht. HOFFMANN (1982) ermittelte an einer 6 cm mächtigen Rohhumusaufgabe unter Fichte 36% der Jahresniederschlagssumme als Interzeption. Mit Abnahme der Überschirmung beobachtete er eine deutliche Zunahme der Streuinterzeption. ROWE (1955) beobachtete in *Pinus radiata*-Beständen grundsätzlich eine Zunahme der Streuinterzeption mit der Mächtigkeit der Streudecke, allerdings nahm mit zunehmender Mächtigkeit der Streudecke der Oberflächenabfluß stark ab, die perkolierende Wassermenge zu. PUTUHENA und CORDERY (1996) kamen bei Untersuchungen in einer 15-jährigen *Pinus radiata*-Aufforstung zu ähnlichen Ergebnissen. Nach ihren Angaben wird die Sättigung des Interzeptionsspeichers nicht in der Anfangsphase eines Regenereignisses erreicht. Sie errechneten eine minimale durchschnittliche Speicherkapazität von 2,8 mm für das gesamte betrachtete Einzugsgebiet.

Nach längerer Trockenheit versickert der Niederschlag bei Böden mit Rohhumusdecken besser als bei anderen. Offenbar schützt der Rohhumus den Oberboden vor der Verdunstung, wird bei stärkerer Austrocknung selbst aber schwerer benetzbar. Die in diesem Zustand fallenden Niederschläge durchdringen die Nadelstreu ohne nennenswerte Adsorptionsverluste zum Mineralboden (HOFFMANN 1982). ROWE (1955) stellte größere Sickerwassergeschwindigkeiten bei streubedeckten Böden gegenüber Böden ohne Bodenstreu fest.

2.1.4 Stammablauf

Die tatsächliche Interzeption kann nur erfaßt werden, wenn der Stammablauf berücksichtigt wird. Nach den Ergebnissen von ZALITIS und SPALVINA (1975) an 12 Kiefern und 12 Birken in Lettland (Versuchsgebiet Vesetnieki) hängt die Menge des am Stamm abfließenden Niederschlages nicht nur von der Intensität des Regens ab. Kleine Astwinkel, lange Krone und glatte Rinde vergrößern den Betrag des Stammabflusses. LOUSTAU et al. (1992) stellten bei Untersuchungen in 18 Jahre alten Kiefernbeständen keinen Zusammenhang zwischen Höhe des Stammablaufes und biometrischen Kenngrößen, wie der Baumhöhe fest. LOUSTEAU et al. nehmen an, daß größenunabhängige Faktoren, wie Beugung der Bäume, Astwinkel, und die Anzahl der Hindernisse, die dem Abfluß am Stamm entgegenstehen, die Menge des Stammablaufes bestimmen. VAN

ELEWICK (1989) gibt für Äste von *Molinia* den maximalen Stammabfluß bei einem Astwinkel von 50 bis 70° an. HAGER und HOLZMANN (1997) fanden bei Buchen deutliche Unterschiede im Stammablaufprozent (zwischen 0 und 10% des Niederschlages).

Weiters streuten die Stammablaufprozente innerhalb der Buche infolge unterschiedlicher Niederschlagsverteilungen bzw. -intensitäten stark. Von den untersuchten Kenngrößen Brusthöhendurchmesser (BHD), Baumhöhe, Schirmfläche, und Kronenprozent eignete sich nur der BHD für eine befriedigende Schätzung des mittleren Stammablaufprozentes. ÇEPEL (1967) quantifizierte in einem 42-jährigen Ki-Bestand 43 mm bzw. 4% des jährlichen Niederschlages als Stammablauf. Für einen 42 Jahre alten, 13 m hohen Kiefernbestand wurde der Benetzungswert, ab dem Stammabfluß auftrat, mit 5–7 mm ermittelt. Die höchsten Stammabflüsse stellte ÇEPEL bei Landregen fest. HUTCHINGS et al. (1988) geben für einen 27-jährigen Sitka-Fichtenbestand eine Speicherkapazität von 0,127 g/m² Stammoberfläche an.

2.2 Bodenwasser – Infiltration, Evapotranspiration, Abfluß, Versickerung

Infiltration

„Die Durchlässigkeit des Bodens ist vor allem abhängig von seiner Lagerung, seiner Porosität und Lockerheit, von der Korngröße und der Krümelstruktur. Die krümelige Dammerde des Waldbodens läßt die Niederschläge leicht eindringen, und die von den Wurzeln und der Bodenfauna gebildeten Kanäle und Hohlräume leiten sie nach den tieferen Schichten“ (ENGLER 1919). HOPPE (1896) verglich an durchforsteten Buchenbeständen und einem nicht durchforsteten Vergleichsbestand (60-jährig) den Verlauf der Bodenfeuchte in der Vegetationszeit. Anhand periodisch durchgeführter gravimetrischer Bestimmungen stellte er durchwegs höhere Wassergehalte auf den undurchforsteten Flächen fest. Der Schluß lag nahe, daß die geringere Interzeption und die niedrigere Transpiration auf den durchforsteten Standorten durch die geringere Bodenevaporation infolge stärkerer Beschattung und fehlende Bodenvegetation zumindest ausgeglichen werden. Beschränkten sich HOPPEs Untersuchungen auf die Entwicklung von modernen, bodenphysikalischen Meßansätzen, so hat sich bis heute eigentlich nur die Messung verfeinert, und die Aussagen sind ökophysiologisch relevanter und präziser geworden (HAGER

1988). PESCHKE et al. (1995) weisen, gestützt auf die Ergebnisse ihrer Untersuchungen eines mit einem 87-jährigen Fi-Bestand bestockten Einzugsgebietes darauf hin, daß alle meteorologischen, physiologischen, bodenphysikalischen und hydrologischen Größen tagesperiodischen Schwankungen unterliegen.

Evapotranspiration

Anfeuchtung und Austrocknung als Einzelvorgänge der Bodenwasserbewegung vereinigen sich im Jahreslauf zu Bildern verschiedener Durchfeuchtungszustände. Vorgänge der Austrocknung stehen in engem Zusammenhang mit der Transpiration und damit der Durchwurzelungstiefe und -intensität (MÜLLER 1956).

Die maximal mögliche Evapotranspiration wird von den atmosphärischen Bedingungen wie Temperatur, Wasserdampf-sättigungsdefizit und Windgeschwindigkeit bestimmt. Diese potentielle Evapotranspiration wird nur erreicht, wenn folgende

Voraussetzungen erfüllt sind: Optimales Wasserangebot, sowie gute Temperatur- und Durchlüftungsverhältnisse im Boden und keine Erkrankung der Pflanze (LASCANO und van BAVEL 1984).

Unter gleichen Klimabedingungen sind Evapotranspiration und Grundwasserneubildung abhängig von den beiden Basisbeziehungen:

- ▶ Wassergehalt und Wasserspannung
- ▶ Wasserleitfähigkeit und Wasserspannung

In der Reihenfolge Ackerland – Grünland – Nadelwald nimmt die Evapotranspiration zu, die Grundwasserneubildung (Tiefensickerung) dagegen ab (RENGER et al. 1986). Mit abnehmendem Wasserangebot im Boden wird die Transpiration eingeschränkt. LOPUSHINSKY und KLOCK (1974) führten Messungen der Reaktion der Transpiration einer Reihe von Koniferen (u.a. *Pinus ponderosa*, *Pseudotsuga menziesii*) auf abnehmendes Bodenwasserpotential durch. Die Transpirationsrate aller untersuchten Baumarten nahm ab einem Bodenwasser-

Tab. 2.2:
Angaben zum Abflußverhalten verschiedener Boden-/Vegetationseinheiten des österreichischen und bayerischen Alpenraumes bei simulierten Starkregen.

Quelle	Ort	Vegetationsform	Intensität [mm/h]	Abflußbeiwert [%]
BUNZA und SCHAUER (1989)		Wiese	100	17-38
BUNZA und SCHAUER (1989)	Mittelwert aus über	Weide	100	17-73
BUNZA und SCHAUER (1989)	150 Einzelberechnungen	Fi-Altbestand	100	0-25
BUNZA und SCHAUER (1989)		Alpine Krummholz- und Zwergstrauchbestände	100	8-28
CZELL (1972)	Finsingtal - Tirol	Mähwiese	100	2-8
CZELL (1972)	Finsingtal - Tirol	Weide	100	58-80
CZELL (1972)	Finsingtal - Tirol	Oxalis-Fichtenwald	100	6-17
LANG (1995)	Oselitzenbach - Kärnten	Fi-Ta- Mischwald	100	0-32
LANG (1995)	Oselitzenbach - Kärnten	subalpine Weide	100	0-44
MARKART und KOHL (1995)	Löhnersbach - Salzburg	Weide	90	16-42
MARKART und KOHL (1995)	Löhnersbach - Salzburg	Wald	90	47
MARKART et al. (1996b)	Finsingtal - Tirol	Weide	80	35-85
MARKART et al. (1996b)	Finsingtal - Tirol	Lä/Fi/Zi-Aufforstung	80-90	2-5
MARKART et al. (1996b)	Finsingtal - Tirol	Zwergstrauchheide	90	0
MARKART et al. (1996b)	Schesatobel - Vorarlberg	Weide	100	48-100
MARKART et al. (1996c)	Schesatobel - Vorarlberg	Waldweide	100	9-43
MARKART et al. (1996c)	Schesatobel - Vorarlberg	Fi-Altbestand, Fi-Dickung	100	0-24
MARKART et al. (1996c)	Schesatobel - Vorarlberg	Feucht-, Naßflächen	100	87-100
SCHAFFHAUSER (1988)	Dürnbach - Salzburg	Weide mit Anteil an <i>Rhododendron ferrugineum</i> < 50%	100	> 60
SCHAFFHAUSER (1988)	Dürnbach - Salzburg	Weide mit 90% <i>Rhododendron ferrugineum</i>	100	48
SCHAFFHAUSER (1988)	Dürnbach - Salzburg	Fi-Altbestand	100	0
SCHAFFHAUSER (1982)	Elferkogel - Stubaital - Tirol	Wald	100	0
SCHAFFHAUSER (1982)	Elferkogel - Stubaital - Tirol	Waldweide	100	60
SCHAFFHAUSER (1982)	Schmittenhöhe - Zell a. S. - Salzburg	ehemals bestockte Waldfläche	100	2
SCHAFFHAUSER (1982)	Schmittenhöhe - Zell a. S. - Salzburg	Weide	100	30

potential von -10 bis -20 kPa ab. Der Grad der Abnahme war baumartenabhängig. Ab einem Bodenwasserpotential von -100 kPa lag die Transpirationsrate von Kiefern bei 12% der maximal möglichen, während sie bei Fichten 27–37% des Maximalwertes betrug. HAVRANEK und BENECKE (1978) stellten dagegen bei Hochlagenprovenienzen erste Anzeichen einer Reduktion bei windexponierten 2-jährigen Lärchen, 3-jährigen Fichten und 4-jährigen Zirben ab Bodenwasserpotentialen von -40 kPa fest. Erst bei -150 kPa erfolgt eine sehr starke Einschränkung der Transpiration. Nach RIEK und RENGER (1994) erfolgen Stomatareaktionen bei der Kiefer umso früher, je niedriger der Wassergehalt im Boden und umso höher die Transpirationsbeanspruchung ist (Temperatur, Sättigungsdefizit der Luft).

Abfluß, Versickerung

Die abflußregulierende Wirkung von Waldbeständen ist in der älteren Literatur außer Zweifel gestellt (ENGLER 1919, BURGER 1922). Nach KELLER (1968) bzw. GERMANN (1994) ist in bezug auf das Abflußverhalten von Waldstandorten jedoch eine differenzierte Betrachtungsweise notwendig. So haben beispielsweise die umfangreichen Aufforstungen auf den verdichteten Weideböden der Schweizer Flysch-Region bisher noch nicht die Bodenstrukturen hervorgebracht, die für die Verhinderung von Abfluß notwendig sind.

Nach den bisher vorliegenden Ergebnissen ist jedoch bei Waldbeständen auf durchlässigem Substrat (skelettreich mit hohem Sandanteil) kaum mit Auftreten von Oberflächenabfluß bzw. Abfluß im Zwischenflächenbereich zu rechnen (BRECHTEL 1970). Die geringere Abflußdisposition bewaldeter Standorte gegenüber anderen Boden-/Vegetationseinheiten ist durch eine Reihe von Untersuchungen belegt (vgl. Tab.2.2).

Zu Oberflächenabfluß im Sinne von Überlandfließen kann es nur kommen, wenn die Niederschlags- bzw. Schmelzintensität die Infiltrationsrate übersteigt (FÖHRER 1990). Für das Auftreten von Interflow im geeigneten Gelände müssen nach FÖHRER folgende zwei Bedingungen erfüllt sein:

- ▶ Die Wasserleitfähigkeit muß im Profil nach unten abnehmen
- ▶ Der Bodenwassergehalt muß die Feldkapazität übersteigen. Die Feldkapazität ist nach ÖNORM L 1069 (1988) definiert als der Wassergehalt eines natürlich gelagerten Bodens an einem Standort 2 bzw. 3 Tage nach intensiver Durchfeuchtung.

Bei Lysimeteruntersuchungen zur Wasserbilanz von Pappel, Weißerle, Fichte und Gras auf einem sandigen Boden über Schotter stellten KÄPPELI und SCHULIN (1989) fest, daß bei Jahresniederschlägen um 1100 mm auf den ungehemmt durchlässigen Böden des Schweizer Mittellandes während der Vegetationsperiode kaum Grundwasserneubildung durch Tiefensickerung stattfindet.

3 Beschreibung des Arbeitsgebietes

3.1 Ursachen der Waldlosigkeit im Sellrainer Obertal

3.1.1 Landwirtschaftliche Nutzung

Fährt man im Sellraintal von Gries Richtung Kühtai, fällt auf, daß die sonnseitigen Hänge unterhalb des Weilers Haggen beginnend bis ins Kühtai nahezu waldlos sind. Solche Erscheinungen sind in den inneren Alpentälern weit verbreitet, und auf die frühe Besiedlung und Nutzung dieser Räume z.T. schon in vorgeschichtlicher Zeit zurückzuführen (WOPFNER 1951, SCHIECHTL und STERN 1983). Die illyro-romanische Höhenbesiedlung vor ca. 2600 Jahren hatte eine großflächige Entwaldung der Bergstufe in den Zentralalpen durch Brandrodung zur Folge (NEUWINGER und CZELL 1959, GASSNER 1925). Denn die Sonnhänge boten nicht nur dem Siedler angenehmere klimatische Verhältnisse, sie begünstigten auch das Wachstum der landwirtschaftlichen Kulturpflanzen durch längere Vegetationszeit und bessere Wärmeverhältnisse. Schon mit den damaligen einfachen Hilfsmitteln war zwar eine bedeutende Verbesserung des Wasserhaushaltes möglich, nicht aber eine Verbesserung des Wärmehaushaltes (SCHIECHTL 1972). GAMS wies bereits 1937 am Beispiel der Venter Täler im Ötztal darauf hin, daß durch die jahrhundertelange Beweidung nicht nur die Bäume, sondern auch die Zwergsträucher vernichtet werden können. Aus diesem Grund zeigen die erst in jüngerer Zeit entwaldeten und beweideten Hänge in den Alpen auf der Schattseite Grünerlenbestände (*Alnetum viridis*), auf der Sonnseite Alpenrosenheide (*Rhododendro-Vaccinietum*), während die schon lange entwaldeten und bestoßenen Hänge auf der Schattseite mit Alpenrosenheiden und auf der Sonnseite mit Besenheiden (Calluneta – wie im Sellrainer Obertal bei Haggen)

und im Extremfall mit Bürstlingrasen – *Nardeta* bestockt sind (SCHIECHTL 1972).

Nach NEUWINGER (1970a) ist diese uralte Weidenutzung als primäre Ursache der Waldfreiheit im Sellrainer Obertal anzusehen. Am Sonnberg wurden bis vor wenigen Jahrzehnten nur wenige begünstigte Teile intensiv bewirtschaftet, hier entstanden durch Berieselung und Düngung kräuterreiche Wiesen, viele ehemalige kleine Mäher sind jedoch verheidet. Je dichter diese Verheidung, umso besser nach NEUWINGER (1972) die Regeneration der Humushorizonte, vor allem der Auflagen.

Die im Bereich des Sonnberges verbliebenen Waldreste wurden ebenfalls durch Nutzung stark verändert, der Artenbestand weitgehend auf die Fichte reduziert, während an den Nordhängen Zirben-Lärchen-Fichten-Bestände dominieren. Da man ähnliche Verhältnisse an vielen sonnseitig gelegenen (ehemaligen) Weidestandorten findet, läge der Schluß nahe, daß die Zirbe Südhänge meidet. Diese Annahme wird jedoch durch die Untersuchungen von FURRER (1955), OSWALD (1963), STERN (1964) und SCHIECHTL (1970) widerlegt. Zirben und Lärchen dürften geschlägert worden sein, und die Fichte dadurch an Dominanz gewonnen haben (NEUWINGER 1970a).

3.1.2 Klimatische Faktoren

Die Waldlosigkeit im Sellrainer Obertal hat auch klimatische Ursachen, wie z.B. wiederholte winterliche Trockenschädigung, welche die Entwicklung zum Baum verhindert (TRANQUILLINI 1959). Ein besonderes Problem stellen, besonders an der Waldgrenze, Schäden durch Frosttrocknis dar. Diese tritt vor allem an windexponierten Standorten mit geringer Schneedeckmächtigkeit auf. Das pflanzenverfügbare Wasser ist primär in den Mittelporen gespeichert, dieses friert bei -1°C (LARCHER 1957). AULITZKY (1961) stellte bei kontinuierlichen Messungen an windexponierter Stelle im Waldgrenzbereich im Raum Obergurgl (Ötztal, Tirol) in den obersten Bodenschichten (0–20 cm) Temperaturen unter -4°C fest. Bereits bei einer geringen Schneeüberdeckung von wenigen dm sank die Temperatur nicht mehr unter -1°C . Daher ist die Wasseraufnahme der Bäume an der Waldgrenze an windexponierten Stellen zumindest über 3–4 Monate (Dezember bis April) extrem erschwert (TRANQUILLINI 1979). Allerdings werden gerade im Spätwinter an der Waldgrenze oft extreme Verdunstungsbedingungen erreicht. So können bereits im April gleich hohe Strahlungsintensitäten wie im Juli

erreicht werden (TURNER 1961a). In der Folge steigen die Nadeltemperaturen über die Lufttemperatur der Umgebung an, es kommt zu einer Überhitzung, welche die Pflanze durch erhöhte Transpiration auszugleichen versucht. Gerade die Zirbe reagiert sehr empfindlich auf Temperatureinflüsse und nützt Phasen warmer Witterung sofort für die Höhenriebsbildung aus (KRONFUSS 1995).

Strahlungsbedingt vegetationsfreie Flecken treten in der Regel nur sehr kleinflächig auf, an solchen Stellen kann es überdies nur im Keimlingstadium zu strahlungsbedingten Letalschäden kommen (TURNER 1958). STERN (1956) weist allerdings auf ein höheres Ausfallsprozent an Sonnhängen gegenüber Schatthängen hin. Nach OSWALD (1963) sind Schäden und Ausfälle auf der Sonnseite größer, dem stehen jedoch im Vergleich mit der Schattseite wesentlich höhere Zuwachsraten gegenüber.

Siebenjährige Versuchsreihen auf Versuchsflächen in 1730, 1800 und 1900 m Seehöhe in Haggen im Sellrain ergaben eine enge negative Korrelation zwischen der mittleren Windgeschwindigkeit und dem Höhenwachstum von Zirbe. Selbst auf den höchstgelegenen Versuchsstandorten konnten jedoch keine stärkeren Schäden durch Frosttrocknis und keine Zunahme von Bruchschäden an den Terminaltrieben festgestellt werden. Daher erscheint der Schluß zulässig, daß der Wind in diesen Lagen das Überleben der Bäume nicht gefährdet (KRONFUSS und HAVRANEK 1999). Allerdings kann die Windbeanspruchung die winterliche Mortalität der Nadeln erhöhen, diese Reduktion der Nadelmasse äußert sich in Form von geringeren Zuwächsen in den folgenden Vegetationsperioden (HADLEY und SMITH 1986).

3.2 Geschichtlicher Überblick

Nach dem schweren Lawinenwinter 1950/51 wurde der Schutz des Obertales, besonders der Siedlungen Paida (manchmal auch Peida, Lage vgl. Abb. 3.1) und Haggen durch Lawinenverbauungen und Aufforstungen ernsthaft erwogen. Oberhalb von Paida wurde in 1900 m SH durch BERNARD ein Versuchsfeld mit Verwehungsbauten angelegt (NEUWINGER 1972). Anfangs war in der einheimischen Bevölkerung die Meinung vorherrschend, daß die seit Jahrhunderten kahlen Flächen nicht aufforstbar seien (HENSLENER 1972). Nachdem es 1957 gelang, die Ziegenweide oberhalb von Paida ganz und am Haggener Sonnberg zum größten Teil einzustellen, wurde von 1957 bis 1965 der Bannwald

oberhalb von Paida aufgeforstet und 1963 durch den Landesforstdienst eine Versuchsaufforstung begonnen, die zwischen 1967 und 1970 auf 9,5 ha Kulturfläche unter Zaunschutz erweitert wurde. Anschließend wurde die Aufforstung in die Betreuung der Gebietsbauleitung Innsbruck des Forsttechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinerverbauung übernommen, die ab 1971 mit dem Bau der ersten technischen Anlagen begann (STERN und HOPF 1988). 1994 erreicht sie ein Flächenausmaß von 16 ha. Die Forstliche Bundesversuchsanstalt begann ab Herbst 1974 mit der Einrichtung von Dauerversuchsflächen. Diese wurden mit Klimastationen und meteorologischen Meßeinrichtungen bestückt (KRONFUSS 1997).

Die erste im Jahr 1963 angelegte Fläche wurde mit Fichte und Lärche aufgeforstet, da damals Zirben nicht zur Verfügung standen. Erst ab 1965 wurde innerhalb der Aufforstungsfläche mit Zirbe nachgebessert, ab 1967 wurden auf den östlich anschließenden und höher gelegenen Bereichen Zirbe und Lärche gemeinsam versetzt (HENSLER 1970).

Die 1963 bis 1965 versetzten Fichten stammten aus einer Höhenlage von 1300 m SH und waren daher für den aufzuforstenden Bereich (1700 bis 1900 m SH) nicht sehr geeignet. Erst ab 1970, als wieder geeignete Hochlagenprovenienzen zur Verfügung standen, wurde die Fichte wieder mit versetzt. Bei der Fichte war das Ausfallsprozent in den ersten Jahren sehr hoch (Verpflanzungsschock), die überlebenden Exemplare erreichten bzw. übertrafen Ende der 80er-jahre jedoch bereits die Zirbe in der Wuchsleistung.

Im Jahr 1983 erfolgte eine weitere Vergrößerung, es wurde ein ca. 9 ha großer Bereich westlich der bestehenden Aufforstung im Zuge einer Ersatzaufforstung nach § 18, Abs. 2, FG 75 (in der Fassung der Forstgesetz-Novelle 1987) für die Rodung eines Zirbenbestandes im Bereich des Krafthauses bzw. des Speichers Längental der TIWAG (Kühtal) aufgeforstet. Im Gegensatz zum alten Teil der Aufforstung erfolgte die Pflanzung baumartenweise in Großgruppen (Zirbe, Fichte, europäische Lärche, Japanlärche, Chinalärche). Auch hier zeigt die Fichte eine deutliche Wuchsdepression (vgl. Abb. 4.1.1).

3.3 Geologie - Böden

Die geologische Übersicht über die westlichen Zentralalpen weist für das Sellraintal westlich von Gries Amphibolite u. Amphibolgneise, Paragneise und Glimmergneise als dominante Einheiten aus

(OBERHAUSER 1980). Das Roßkogelmassiv, an dessen Fuß die Aufforstung Haggen liegt, ist vorwiegend aus Schiefergneisen und Glimmerschiefern aufgebaut, talwärts treten Biotitgranit- und Granodioritgneise auf (NEUWINGER 1972).

Der Südwestabfall des Roßkogelmassives, auch als „Sonnberg“ bezeichnet, reicht bis ins Sellrainer Obertal nach Haggen. In diesem Bereich ist der Sonnberg sehr steil, und von vielen Muren- und Lawinenrutschen durchzogen.

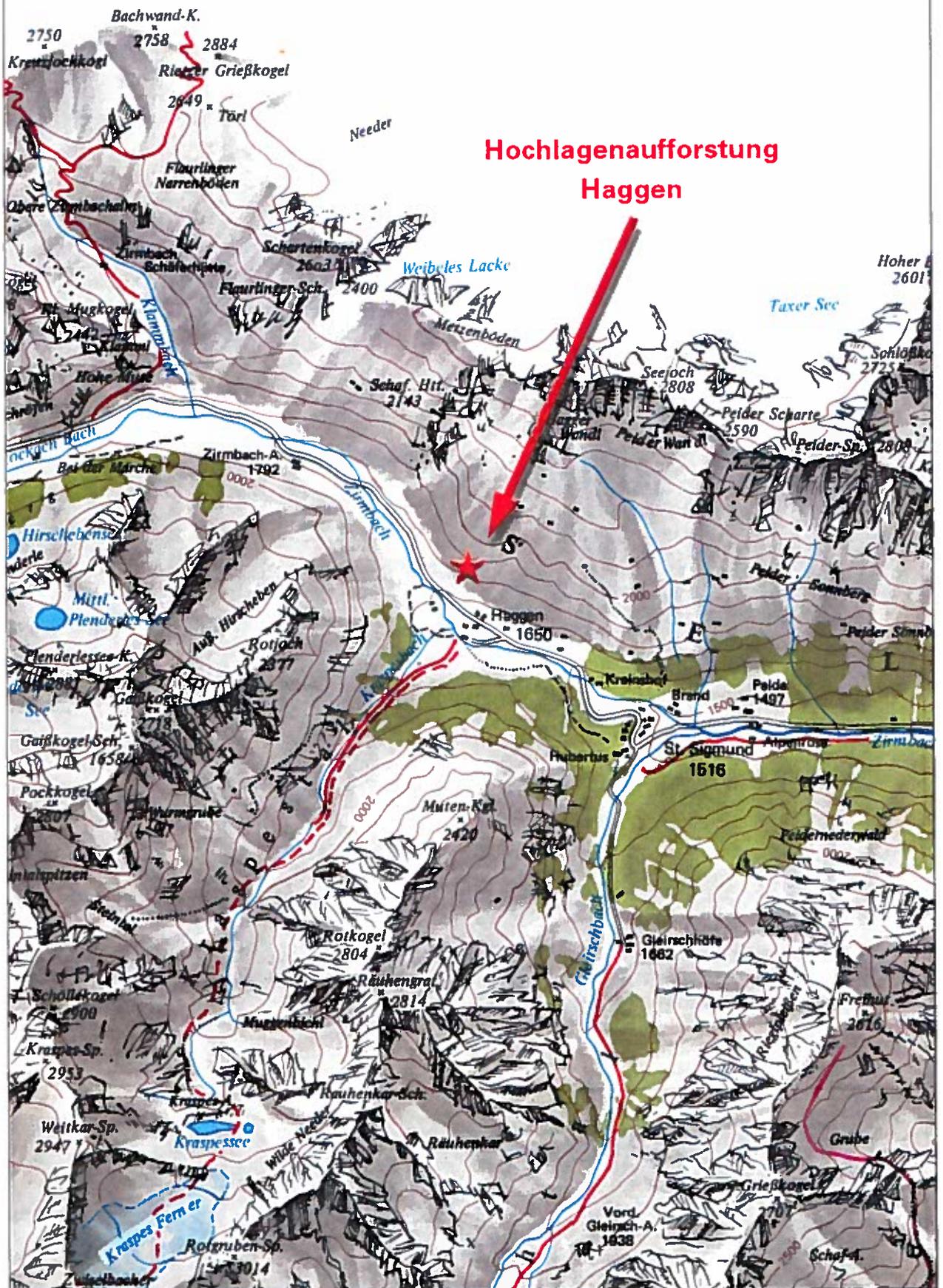
Aufgrund der vorherrschenden Winde aus NW wird der Schnee bereits im Frühwinter an den SE-Hängen abgelagert. Im Spätwinter apert die SW-Hänge wesentlich früher aus als die SE-exponierten. Nach NEUWINGER (1972) hat das ausgeprägte Relief einen großen Einfluß auf das Kleinklima der Hänge, und damit auf die Boden- und Vegetationsbildung. Das Wasser aus den Felswänden des Roßkogels versetzt im Moränen- und Hangschutt und kommt erst im Bereich des Unterhanges in einzelnen kleinen Quellen zum Vorschein. Vor der Aufforstung waren die Luvhänge durchwegs stark verheidet (*Calluna vulgaris*), sie weisen tiefgründige Humushorizonte auf. Soliflukationsprozesse in sommerfeuchten Lagen führen zur Ausbildung girlandenartiger Oberflächenformen (Girlandenböden mit alten „Viehgangln“). Nach NEUWINGER handelt es sich um Relikte von Eisenpodsolon, Zeigern ursprünglicher Waldvegetation.

Das späte Abschmelzen der Wächten in den SE-exponierten Hängen im Frühjahr hatte vielfach Erosion zur Folge, hier dominieren jüngere, z.T. flachgründigere Bodenbildungen.

Nach Ansicht von NEUWINGER (1972) findet man im subalpinen Bereich nicht klimatisch bedingte verschiedenartige Bodentypen, sondern nur verschiedene Reifegrade von Podsolon. Am stark reliefierten Haggener Sonnhang findet man lediglich im Bereich der Mähder, der Düngewiesen und der Muldenrasen Reste von Podsolon, deren A-Horizonte braunerdeartig verändert wurden. Die kolluvialen Bodenbildungen auf Podsolresten, wie sie für verheidete Weidegebiete extensiv genutzter Almen charakteristisch sind, erfahren nach NEUWINGER (1970b) im Zuge der Schneeschmelze im Bereich der Humushorizonte immer wieder eine Durchmischung mit frischem mineralischen Material. Die verheideten Weideböden wurden daher von NEUWINGER und CZELL (1959) als podsolige Braunerden im Sinne von KUBIENA (1950) angesprochen. Nach NEUWINGER (1970b) würde der Ausdruck „Kolluviale Podsole“ der Genese am besten ent-

Abb. 3.1:

Lage des Untersuchungsgebietes (Quelle: Fremdenverkehrsverband St. Sigmund im Sellrain, vergrößert auf ca. 1 : 40.000).



sprechen. Nach HAGER (schriftliche Mitteilung 1999) ist es jedoch fraglich, ob Böden, die ständig gestört und durchmischt werden, überhaupt zu Podsolen heranreifen bzw. sich zu kolluvialen Podsolen entwickeln können.

Nach der gültigen österreichischen Bodensystematik (FINK 1967) und auch aufgrund der Ergebnisse einer gemeinsamen Begehung mit Prof. E. PUBLINEC (Slowakische Akademie der Wissenschaften, Zvolen, Slowakei) sind die ehemaligen Weideböden im aufgeforsteten Bereich des Sonnhanges aufgrund ihrer Phänologie und des momentanen Entwicklungszustandes überwiegend als Braunerden unterschiedlichen Podsolierungsgrades anzusprechen.

3.4 Klima

Nach der vorläufigen Klimagliederung von FLIRI (1975) ist das hintere Sellraintal bei Haggen dem Nördlichen Klimagebiet mit geringer Variabilität der Jahresmengen des Niederschlages und kontinentalem Jahresgang (Sommermaximum, örtlich auch sekundäres Wintermaximum) zuzurechnen. Es fällt in den Übergangsbereich der Temperaturstufen B (bis zur 13,5°C-Isotherme der mittleren Tagesmaxima im Juli) und C (bis zur 5°C-Isotherme der mittleren Tagesmaxima im Juli), sowie in den Übergangsbereich der Niederschlagsstufen 2 (mäßig trocken – unterhalb der 1000 mm-Linie des Jahresniederschlages) und 3 (1000 bis 1500 mm Jahresniederschlag).

3.4.1 Niederschläge

Für den Bereich Telfs bis Salurn geben BAUMGARTNER et al. (1983) von 1000 bis 2500 m Seehöhe zwischen 130 und 140 cm Jahresniederschlagsmenge an. In der auf Tirol bezogenen Arbeit von FLIRI (1975) sind für das hintere Sellraintal Niederschlagssummen im Zeitraum 1931–1960 von 900 bis 1200 mm p.a. angegeben. Die höchste Variabilität zeigt sich im Herbst (vgl. Tab. 3.4.1.1). Die Variabilität der Jahressummen liegt in der Periode 1931 bis 1960 bei 8 bis 12%.

Tab. 3.4.1.1:

Variabilität der Niederschlagssummen für das hintere Sellraintal (nach FLIRI 1975, Angaben in mm).

	% des Jahresniederschlages	Variabilität
Frühjahr	20-30	10-20
Sommer	30-40	10-20
Herbst	30-40	30-40
Winter	10-20	10-20

Variabilität = Standardabweichung in % der mittleren Summen

Auch nach dem Entwurf der Karte der Niederschlagsverteilung von PRUTZER (in PITSCHMANN et al. 1969) sind für das hintere Sellraintal 900-1000 mm (in höheren Bereichen bis 1100 mm) Jahresniederschlag die Regel.

Die Beobachtungen des HYDROGRAPHISCHEN DIENSTES (1994) an den nächstgelegenen Stationen Gries im Sellrain und St. Sigmund in den Jahren 1981 bis 1990 zeigen, daß extreme Niederschläge mit $I > 20$ mm/d eher selten vorkommen. Landregenartige Niederschläge < 5 mm/h dominieren das Niederschlagsgeschehen (vgl. Tab. 3.4.1.2).

Winterniederschläge

Für die ca. 5 km talauswärts gelegene Station Gries im Sellrain gibt FLIRI (1992) folgende Winterniederschläge an:

Mittlere Höhe der Schneedecke (September – Juni, > 1 cm)	33,4 cm
Mittlere Summen der Neuschneehöhen	273,6 cm
Mittlere Zahl der Tage mit Neuschnee > 1 cm	36,5 cm
Mittlere maximale jährliche Schneehöhe	69,2 cm

Monatliche Häufigkeit für Auftreten der jährlichen maximalen Schneehöhe

Okt.	Nov.	Dez.	Jän.	Feb.	März	Apr.
1	2	8	16	26	17	1

Tab. 3.4.1.2:

Niederschlagshäufigkeiten in Gries und St. Sigmund im Sellrain (Quelle: Hydrographischer Dienst in Österreich 1994).

Jahr	Anzahl bzw. mittlere Anzahl der Tage										
	ohne bzw. ohne meßbaren Niederschlag	Tagessummen in mm									
		0,1 bis 0,9	1,0 bis 4,9	5,0 bis 9,9	10,0 bis 19,9	20,0 bis 39,9	40,0 bis 59,9	60,0 bis 84,9	> 85,0	0,1 bis >85,0	
Nr.: 116		GRIES IM SELLRAIN								Höhe : 1210 m.ü.A.	
Mst.Nr.: 102319		Melach									
1981	229	5	68	29	26	7	1	0	0	136	
1982	215	20	77	26	24	3	0	0	0	150	
1983	228	21	55	28	24	9	0	0	0	137	
1984	220	20	73	23	22	7	1	0	0	146	
1985	227	32	51	30	15	8	1	1	0	138	
1986	229	18	55	35	20	8	0	0	0	136	
1987	223	17	48	43	26	8	0	0	0	142	
1988	211	21	67	33	28	6	0	0	0	155	
1989	223	29	57	31	19	6	0	0	0	142	
1990	219	25	60	32	24	5	0	0	0	146	
1981- 1990	222.4	20.8	61.1	31.0	22.8	6.7	0.3	0.1	0.0	142.8	
1951- 1990	220.5	16.8	65.8	33.0	21.7	6.9	0.5	0.1	0.0	144.8	
Nr.: 115		ST. SIGMUND IM SELLRAIN								Höhe : 1520 m.ü.A.	
Mst.Nr.: 103044		Melach									
1981	166	54	80	32	24	8	0	1	0	199	
1982	195	41	69	35	17	8	0	0	0	170	
1983	206	45	53	35	21	4	1	0	0	159	
1984	201	34	77	29	19	6	0	0	0	165	
1985	212	38	61	26	19	7	2	0	0	153	
1986	209	29	62	35	25	5	0	0	0	156	
1987	183	49	60	40	25	8	0	0	0	182	
1988	165	60	77	38	18	7	1	0	0	201	
1989	196	44	59	40	19	7	0	0	0	169	
1990	197	36	68	36	21	6	1	0	0	168	
1981- 1990	193.0	43.0	66.6	34.6	20.8	6.6	0.5	0.1	0.0	172.2	
1951- 1990											

3.4.2 Lufttemperatur

Bei KRONFUSS (1980 und 1997) finden sich folgende Angaben bezüglich der Temperaturverhältnisse im Untersuchungsgebiet (Tab. 3.4.2).

Nach der 20-jährigen Meßreihe von KRONFUSS (1997) ergeben sich für das Untersuchungsgebiet 52

Eistage, 181 Frosttage und 2 Sommertage im Jahr. FLURI (1975) gibt für die Großregion Sellrain zwischen 150 und 200 Frosttage und 0 bis 10 Sommertage an.

Tab. 3.4.2:

Mittelwerte der Temperatur im Untersuchungsgebiet HAGGEN nach KRONFUSS (1980 und 1997) - Angaben in °C:

Kriterium	Mittlere Jahrestemperatur		Temperaturmittel in der Vegetationszeit		Temperaturmittel in der wachstumsaktiven Zeit der Zirbe
	3-jährige Meßreihe	20-jährige Meßreihe	3-jährige Meßreihe	20-jährige Meßreihe	3-jährige Meßreihe
Tagesmittel	3,2	3,2	8,8	9,0	10,0

4 Versuchsanlage - Methodik

4.1 Lage des Untersuchungsgebietes und Beschreibung der Versuchsflächen (Abb. 4.1.1 bis 4.1.4)

Angaben zum Arbeitsgebiet

Das Arbeitsgebiet liegt an einem vorwiegend S-exponierten Hang mit ausgeprägtem Relief. Geographische Koordinaten des Versuchsfeldes Haggen: 47° 13' n. Breite, 11° 6' östlicher Länge (KRONFUSS 1972).

Die mittlere Neigung liegt bei 34° (67%), wobei Steilstrecken über 35° (> 70%) mit einem Anteil von 21% und über 45° (> 100%) mit 1% vertreten sind.

Versuchsflächen - Allgemeines

Als Vergleichsstandorte zur annähernd vollbestockten Versuchsfläche ZNF, auf der die Messungen des Kronendurchlasses (K_D) und des Stammablaufes (N_{St}) erfolgten, wurden eine ältere, bereits mehrfach durchforstete Zirbenfläche (BASIS), eine jüngere Lärchenaufforstung (HEUM), eine baumfreie vergraste Referenzfläche mit *Calluna vulgaris* (LYST) und vorübergehend eine junge Zirbenfläche (UH) ausgewählt. Die Einrichtung einer baumfreien Versuchsfläche außerhalb des Aufforstungsgeländes wurde wegen des zeitlich wesentlich höheren Betreuungsaufwandes und der räumlichen Distanz zu den meteorologischen Stationen nicht erwogen.

Das glimmerreiche Ausgangsmaterial begünstigt die Bildung schluffig-sandiger Böden. In Tab. 4.1.1 sind die wichtigsten Merkmale der Böden an den vier Versuchsflächen angeführt. Die skelettreichen, schluffig bis lehmig sandigen, podsoligen Braunerden sind locker gelagert, bis in ca. 30 cm Tiefe stark durchwurzelt und weisen einen bis in den Oberboden reichenden hohen Skelettanteil auf.

Versuchsfläche BASIS

► Lage:

Ältester Teil der Aufforstung, ca. 70 Höhenmeter oberhalb der Station Talboden

► Seehöhe: 1800 m SH

► Vegetation/Boden:

Aufforstung mit Zirbe, Lärchen und Fichte (Holzartenanteile Zi : Lä : Fi = 4 : 4 : 2) im Jahr 1965 mit 8560 Bäumen/ha auf podsoliger Braunerde. Nach der Durchforstung 1983: 6286 Bäume/ha, weitere Reduktion aufgrund der natürlichen Mortalität bis 1994. Die letzte Durchforstung erfolgte 1995 mit einem verbleibenden Bestand von 3000 Bäumen/ha (Holzartenanteile Zi : Lä : Fi = 5 : 3 : 2) auf podso-

liger Braunerde. BASO (BASIS oben - Meßfläche oberhalb des Steiges) vergrast mit *Avenella flexuosa*, BASU (BASIS unten - Meßfläche unterhalb des Steiges) mit sehr schütterer Bodenvegetation (Profilbeschreibung vgl. Tab. 4.1.1). Die beiden Meßflächen sind ca. 8 m in der Falllinie voneinander entfernt, und werden mit Ausnahme der Wasserpotentialkurven (Kap. 5.5.2) gemeinsam als Versuchsfläche BASIS betrachtet.

► Exposition: SSW

► Neigung: 35°

► Relief:

Mittelhang, mit flachen, schwach ausgebildeten Rücken und Mulden.

Versuchsfläche LYST

► Lage: ca. 60 m östlich der Versuchsfläche BASIS

► Seehöhe: 1790 m SH

► Vegetation/Boden:

Kleine Blöße mit *Calluna vulgaris*, *Avenella flexuosa* und einzelnen Fi-Jungwüchsen unterhalb einer Versuchspflanzung von Spirke (*Pinus uncinata*) auf teilw. überschobener podsoliger Braunerde (Profilbeschreibung vgl. Tab. 4.1.1).

► Exposition: S

► Neigung: 25°

► Relief: leichte Hangverflachung über einer Felsnase

Versuchsfläche HEUM

► Lage:

Im Bereich der 1982 von der Gebietsbauleitung Imst des Forsttechnischen Dienstes f. Wildbach- und Lawinenverbauung (Leiter der Dienststelle: HR Dipl.Ing. J. HEUMADER) für die TIWAG durchgeführten Ersatzaufforstung.

► Seehöhe: 1750 m SH

► Vegetation/Boden:

Vollbestockt mit Lärche (8136 Pflanzen/ha) und Resten von *Avenella flexuosa* und *Calluna vulgaris* als Bodenvegetation. Der Boden ist durch kolluviale Prozesse überprägt. Bewegungen im Schuttstrom, wahrscheinlich auch die engmaschige Durchführung von Bermenpflanzungen im Zuge der Aufforstung dieses Hangbereiches im Jahr 1983, hatten eine deutlich Humusakkumulation in den Muldenlagen und die Durchmischung der obersten Bodenhorizonte zur Folge (Profilbeschreibung vgl. Tab. 4.1.1).

► Exposition: S

► Neigung: 25°

► Relief:

Mittelhang – Unterhang, bewegtes Kleinrelief (kleine Mulden und Buckel).

Abb. 4.1.1:

*Die Hochlagenaufforstung Haggen mit den Versuchsflächen von SW gesehen. Am linken Bildrand die 1983 mit Zi, La und Fi durchgeföhrte Ersatzauf-
forstung . La (gelb) und Zi (dunkelgrün) sind bereits bestandesbildend zu
erkennen, die Fichte leidet noch unter Wuchsdepressionen. Rechts davon der
ältere, 1963 begonnene Teil der Aufforstung.*



Versuchsfläche ZNF (Zirben-Nullfläche)

Ab 1990, im Jahr 1989 wurden Testmessungen mit Hg-Tensiometern am weiter westlich gelegenen Standort UH (Unterhang) durchgeführt.

► **Lage:** ca. 80 m unterhalb der Versuchsfläche LYST

► **Seehöhe:** 1765 m SH

► **Vegetation/Boden:**

voll-, z.T. überbestockter Zirbenbestand mit einer Stammzahl von 12400/ha ohne Bodenvegetation auf podsoliger Braunerde. Die Aufforstung erfolgte 1970.

► **Exposition:** S

► **Neigung:**

35°, einzelne kleine Stufen und Gefällsbrüche

► **Relief:** Mittelhang

Zur Bestimmung der einzelnen Komponenten des Bestandeswasserhaushaltes wurde die Versuchsfläche ZNF als Testparzelle nach dem in Abb. 4.1.3. angeführten Muster instrumentiert. Besonderes Augenmerk war der Interzeptionsleistung bei Starkregen zu widmen, daher wurde die Versuchsfläche ZNF primär nach dem Kriterium ihrer Eignung für die Durchführung von Starkregensimulationen ausgewählt, im Bewußtsein, daß die im Vergleich zu den umliegenden bereits mehrfach durchforsteten Parzellen extrem hohe Stammzahl von über 12400/ha und Effekte der Randlage (ZNF grenzt an eine kleine Blöße) die Qualität zukünftiger Messungen des K_D und N_S bei natürlichen Nieder-

Abb. 4.1.2:

Detailansicht mit den Versuchsflächen HEUM, UH, ZNF, LYST und BASIS (Herbst 1993).



Tab. 4.1.1:

Aufbau der Bodenprofile an den vier Versuchsflächen.

Standort	Bodentyp	Horizont	Mächtigkeit (cm)	Beschreibung
BASIS	Podsolige Braunerde	O _i	3,0-1,0	Zi-Streu, locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		O _f	1,0-0	Locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		A _{he}	0-5	Deutlich abgegrenzt vom darüberliegenden Auflagehumus, mykorrhiziert, schwacher Skelettanteil, IS, ohne deutliche Aggregatstruktur, locker, sehr stark durchwurzelt
		B _v	5-40	Horizontbegrenzung undeutlich, Skelettanteil bis 25% mit vielen Blöcken, IS, ohne deutliche Aggregatstruktur, locker, sehr stark durchwurzelt
		B _v	40-55	Horizontbegrenzung deutlich, Skelettanteil bis 25% mit vielen Blöcken, IS, ohne deutliche Aggregatstruktur, Durchwurzelung: mittel
LYST	Podsolige Braunerde	O _i	2-1	Reste von Calluna, div. Gräsern, locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		O _f	1-0,5	locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		O _h	0,5-0	locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		A _{he}	0-15	Deutliche Horizontbegrenzung, Skelettanteil schwach, IS, locker - ohne deutliche Aggregatstruktur, geringfügig mykorrhiziert, stark durchwurzelt
		B _v	15-35	Deutliche Horizontbegrenzung, bis 20% Skelettanteil (Steine), IS, locker - ohne deutliche Aggregatstruktur, stark durchwurzelt
ZNF	Podsolige Braunerde	O _i	10-7 *)	Zi-Streu, locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		O _f	7-3 *)	Zi-Streu, locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		O _h	3-0 *)	Zi-Streu, locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		A _{he}	0-15	Deutliche Horizontbegrenzung, Skelettanteil schwach, IS, locker - leicht körnig, sehr stark durchwurzelt
		B _v	15-35	Deutliche Horizontbegrenzung, Skelettanteil lokal über 30%, S, locker - bröckelige Fragmente, sehr stark durchwurzelt
HEUM	Ortsboden auf Braunerdebasis, durch Bermenpflanzung überschoben	O _i	2,0-1,0	Reste v. Avenella Flexuosa, locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		O _f	1,0-0	locker, nicht durchwurzelt, nicht schmierig
		A _{hb}	0-20	Deutliche Horizontbegrenzung, Skelettanteil bis 10% (Steine), IS, undeutlich krümelige Struktur, sehr starke Durchwurzelung, mäßige Regenwurmakktivität
		A _h	20-40	Deutliche Horizontbegrenzung, Skelettanteil bis 20% (Steine), IS, undeutlich krümelige Struktur, stark durchwurzelt
		B _v	40-60+	Undeutlich wellige Horizontbegrenzung, Skelettanteil > 20%, uS, ohne Aggregatstruktur, schwach durchwurzelt

schlagen beeinträchtigen. Die Installation der Beregnungsanlage im dichten Bestandeskomplex wäre jedoch nur mit überproportional hohem Aufwand, die Quantifizierung eventuell auftretenden Interflows nicht möglich gewesen.

Unterhalb der gewählten Versuchsfläche konnte ohne größere Probleme ein Schlitz für die Quantifizierung des potentiellen Oberflächenabflusses installiert werden. Im Bereich dieses Schlitzes erfolgte nach Abschluß der Messungen die Bodenprobennahme für die physikalische Analyse (vgl. Kap. 4.5.3 und 5.4).

Im oberen und unteren Bereich der Parzelle wurden insgesamt 18 Rinnen mit je 750 cm² Ober-

fläche zur Quantifizierung des Kronendurchlasses installiert (vgl. Kap. 4.4.2 und 5.2). Die Anordnung der Sammelrinnen nach dem Zufallsprinzip bzw. eine systematische Verteilung über die gesamte Versuchsfläche war nicht möglich. Wegen des hohen Skelettanteiles des Oberbodens war es an vielen Stellen nicht möglich, die Stützen der Rinnen mit ausreichender Festigkeit im Boden zu verankern. Um den Boden nicht durch wiederholtes Einschlagen und Entfernen von Trägern zu beeinträchtigen, wurde versucht, die Mehrzahl der Sammelrinnen in der Position 0-, 4- und 8-Uhr um repräsentative Bäume anzuordnen.

Im mittleren Bereich der Versuchsparzelle wurden ab 1989 drei Tensiometer- und ab 1993 zwei TDR-Profile zur Dokumentation der saisonalen Änderung des Bodenwasserhaushaltes angelegt (vgl. Kap.5.6).

Abb. 4.1.4 gibt einen Überblick über die Standortverhältnisse bei Beginn der Messungen der Interzeption und des Stammablaufes im Jahr 1992. Das linke Bild zeigt die Lage der Einzelbäume mit der Ausladung ihrer Kronen. Die Ablotung der Kronen erfolgte nach ihrer Ausdehnung in der Schichten- und der Falllinie. Die Skizze unterstellt eine kegelförmige Kronenausformung, tatsächlich ist jedoch gerade bei unterdrückten Bäumen bzw. am Rand kleiner Lücken eine asymmetrische Kronenbildung zu beobachten. Die tatsächliche Bodenbedeckung ist daher noch wesentlich stärker als aus Abb. 4.1.4 rechts ersichtlich.

Abb. 4.1.4 – Mitte umfaßt nur die Individuen der beobachteten Fläche. Die Versuchsfäche wird an der Ober- und Unterseite durch Steige von den benachbarten Beständen getrennt. Auf der linken Seite (hangabwärts gesehen) grenzt die Parzelle an eine kleine Blöße an, auf der rechten Seite besteht ein fließender Übergang zu der umgebenden, gleich behandelten und bisher ebenfalls nicht durchforsteten Versuchsfäche von KRONFUSS (1999). Die auf der rechten Seite in die Versuchsfäche ragenden Äste von außerhalb der Parzelle stehenden Bäumen bewirken randlich eine zusätzliche stärkere Überschirmung.

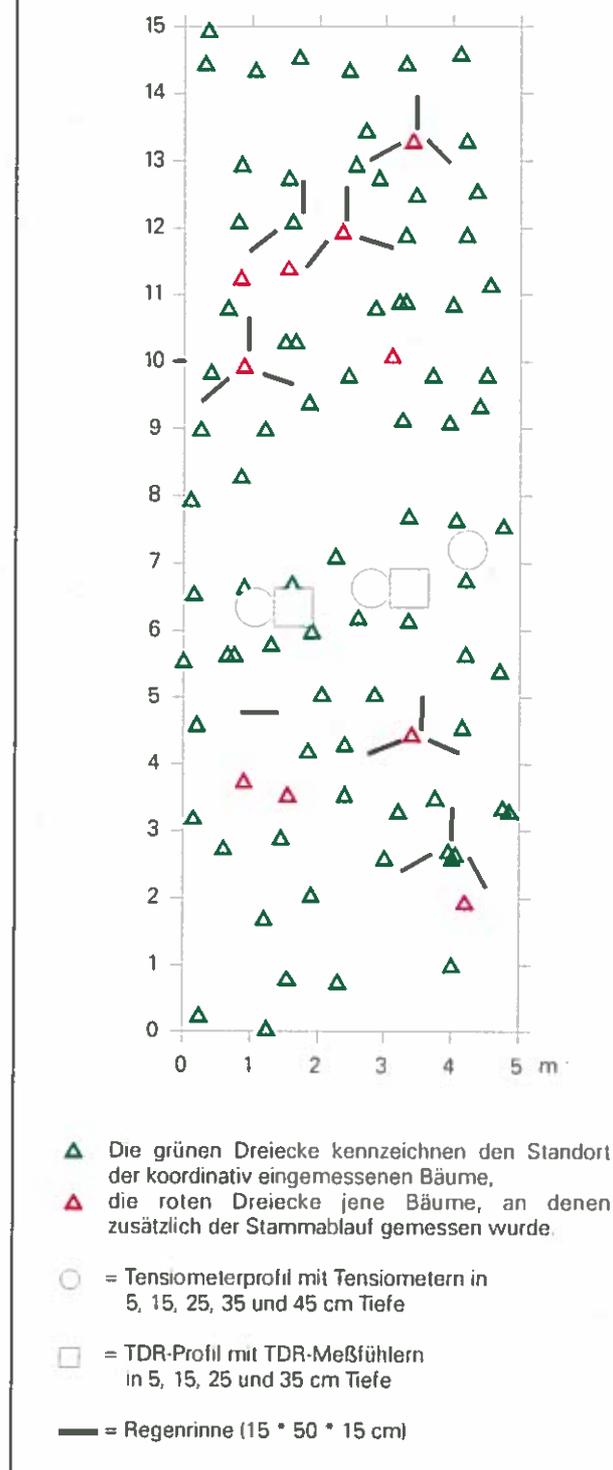
4.2 Simulierte Starkregen

Funktionsprinzip

Starkregensimulation ist eine gängige Methode bei Studien über Infiltrations-, Abfluß- und Erosionseigenschaften von Böden unter Labor- und Feldbedingungen (AGASSI und LEVY 1991, BUNZA 1984, BUNZA und SCHAUER 1989, BUNZA et al. 1996, FAEH 1997, MARKART und KOHL 1995, MARKART et al. 1996 a, b und c, MARKART et al. 1997; ROGERS und SCHUMM 1991, SCHAFFHAUSER 1982, 1988; SCHERRER 1997).

Im Rahmen der gegenständlichen Arbeit stand neben der Prüfung der Infiltrationsleistung der Böden im Arbeitsgebiet die Quantifizierung der Interzeption des Bestandes auf der Versuchsfäche ZNF im Vordergrund. Zu diesem Zweck kam die an der Außenstelle für Subalpine Waldforschung der Forstlichen Bundesversuchsanstalt in Anlehnung an die Anlage von KARL und TOLDRIAN (1973 bzw. BUNZA et al. 1985) entwickelte transportable Großregenanlage zum Einsatz.

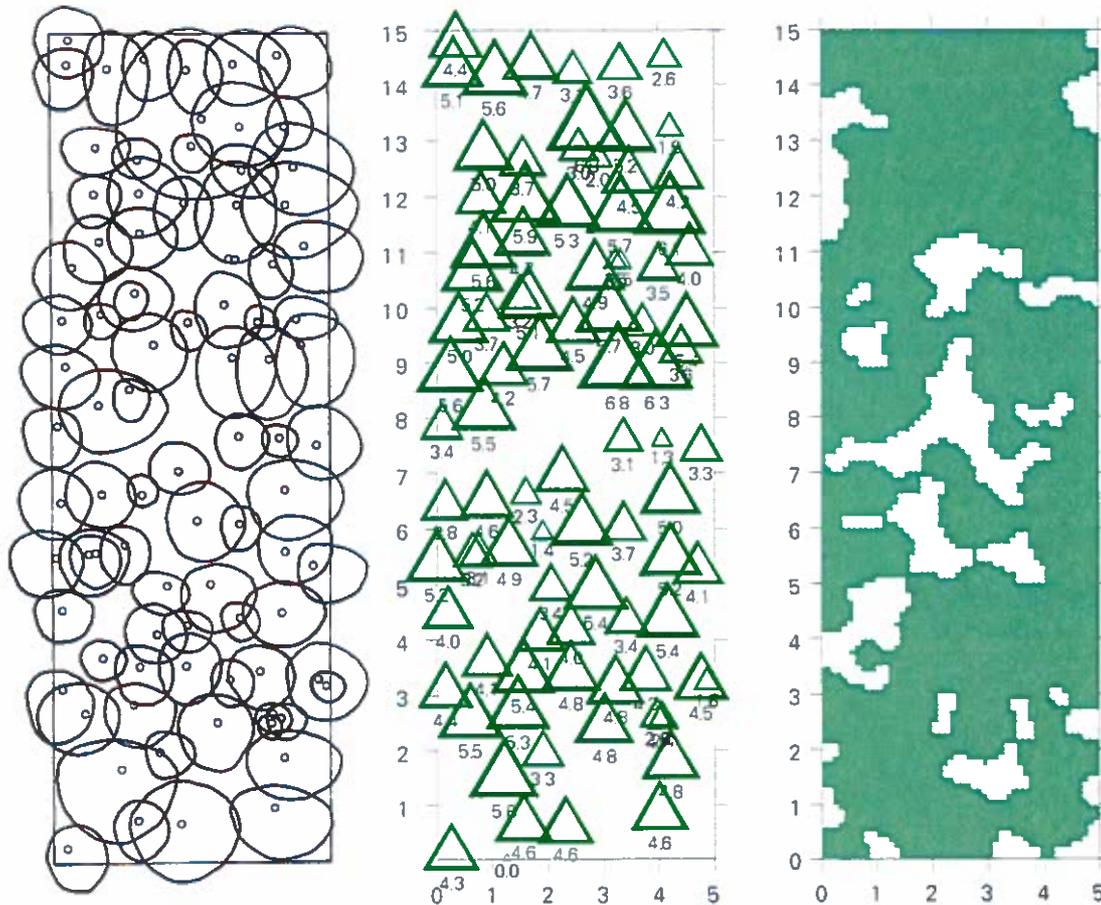
Abb. 4.1.3:
Lageskizze und Instrumentierung der Versuchsfäche ZNF



Eine exakte Beschreibung der Anlage findet sich bei MARKART und KOHL (1995). Sie ermöglicht eine sehr gute Anpassung an die Geländemorphologie und erlaubt die Parallelberegnung mehrerer Kleineinheiten (25 m²) ebenso wie die Beaufschlagung von Flächen bis 150 m² Größe. Das benötigte Wasser wird mit

Abb. 4.1.4:

Kronenkarte der Versuchsfläche ZNF im Jahr 1992 (Zahlenangaben in m, Flächenbreite: 5 m, Erstreckung in Falllinie: 15 m).



- Links: Lage und Kronenausladung der Einzelbäume
 Mitte: Lage und Höhe der Einzelbäume. Jedes Dreieck symbolisiert einen Baum. Die Zahl unterhalb des Dreiecks steht für die Höhe des Baumes im Jahr 1992 in m.
 Rechts: Grün: Die 1992 vom Kronendach bedeckte Bodenfläche
 Weiß: Die 1992 nicht überschirmte Fläche

einer Rosenbauer RK75 Tragkraftspritze aus nahegelegenen Bächen entnommen und über eine Steigleitung zur Versuchsfläche gepumpt. Die Pumpe ist auch bei einem Höhenunterschied von 80 m noch in der Lage den benötigten Betriebsdruck von 2 bar bereitzustellen. Um Verschmutzungen der Anlage durch Schwebstoffe, Sand, etc. (aufgrund der hohen Saugleistung der Pumpe) hintanzuhalten, wird das Entnahmebecken mit einer Kunststoffolie ausgekleidet und das Wasser über ein dünnmaschiges Nylongewebe gefiltert. Für einen Versuch mit einer Intensität von 100 mm/h auf einer 100 m² großen Fläche wird eine Mindestschüttung von 6 Liter/sec. benötigt.

Die aufzubringende Niederschlagsmenge kann über Anzahl und Art der Düsen (Viertel-, Halb- und

Vollkreis) gesteuert werden. Der Vertreiber (Fa. PIPELIFE, Wien) gibt für Viertelkreisdüsen 0,18 m²/h, für Halbkreisdüsen 0,36 m²/h und für Vollkreisdüsen 0,72 m²/h bei konstant 2 bar Betriebsdruck an.

RAINBIRD-Druckminderer reduzieren bei allen Düsen den anliegenden Betriebsdruck auf 2 bar. Auf diese Weise wird im geneigten Gelände ein zu hoher Durchsatz an den tieferliegenden Düsen verhindert. Je nach Geländeneigung können Düsen mit 4,8 bzw. 3,0 m Wurfweite verwendet werden.

Für die Beregnung in der Aufforstung wurden die Düsen mit den Versenkörpern über 5 m lange Schläuche mit der Beregnungsanlage verbunden und mit GARDENA®-Teleskopstangen in einer Höhe von ca. 4 m über dem Boden angebracht.



Abb. 4.2:
Starkregensimulation zur Quantifizierung der Interzeptionsleistung des Bestandes am Standort ZNF (Zirbe 17-jährig, vollbestockt) mit einer Intensität um 50 mm/h.

Unmittelbar unterhalb der Beregnungsfläche wird ein Schlitz abgeteufelt, um die Quantifizierung eventueller Oberflächen- und Zwischenabflüsse zu ermöglichen. Über Auffangbleche bzw. eine in die Profilwand eingeschlitzte Folie werden Oberflächenabfluß bzw. Zwischenabfluß in eine Auffangrinne und weiter in kalibrierte Auffangbehälter mit je 300 Liter Fassungsvermögen abgeleitet. Der aufgefangene Abfluß wird zeitlich und mengenmäßig festgehalten.

Genauigkeit der simulierten Starkregen

Bei Beregnungen im Einzugsgebiet des Löhrsbaches bei Saalbach (Salzburg) haben MARKART und KOHL (1995) die räumliche Verteilung des künstlichen Niederschlages durch periodische Überprüfung der Niederschlagsmenge in zufällig verteilten Regenrinnen überprüft und eine annähernd gleichmäßige Verteilung auf der gesamten Beregnungsfläche beobachtet. Bei den am Standort ZNF im Sommer 1993 durchgeführten acht Beregnungen dürfte diese homogene Verteilung des Niederschlages aus folgenden Gründen nicht erreicht worden sein:

- ▶ Bei den Starkregensimulationen am Standort ZNF wurde der Bestand in einer Höhe von 4 m aus 28 Düsen besprüht, einige Bäume waren zu diesem Zeitpunkt schon über 5,5 m hoch und erhielten selektiv mehr Niederschlag (vgl. Abb. 4.2).
- ▶ Der mit der Großregenanlage erzeugte Niederschlag entspricht hinsichtlich der Intensität einem Starkregenereignis nach GUTMANN (1948), nicht jedoch hinsichtlich der kinetischen Energie (Tropfengröße und Fallhöhe). MOSS (1989) gibt eine maximale Erosivität für Tropfen mit 5 bis 10 mm Durchmesser bei einer Fallhöhe ≥ 8 m an. Die Fallhöhe war gegenüber normalen Starkregen wesentlich niedriger, die kinetische Energie geringer, das Tropfenspektrum kleiner (Hauptanteil zwischen 2 und 5 mm).
- ▶ Bei Beregnung von niederen Boden-/Vegetationseinheiten werden die Außenseiten der Versuchsfläche mitberegnet, um Abdrift durch Wind und Verluste über seitlichen Interflow im Boden zu vermeiden. Diese Methode konnte im gegenständlichen Programm nicht angewendet werden (Wasserverbrauch, Höhenunterschied – limitierte

Leistung der Förderpumpe). Ein nicht quantifizierbarer Anteil des Niederschlages, insbesondere der feine Sprühnebel (max. 10% der Auftragsmenge) dürfte vom Wind außerhalb der Versuchsfläche verfrachtet worden sein. Die Schätzungen der potentiellen Abdrift beruhen auf Vergleichsmessungen in der Testphase der Beregnungsanlage mit und ohne Beregnung der Außenseiten. Da die Windverhältnisse während der jeweiligen Versuchsdurchführung stark schwankten und auch von Versuch zu Versuch vollkommen unterschiedlich waren, wurde von der Berücksichtigung eines (extrem unsicheren) Korrekturfaktors Abstand genommen.

4.3 Natürliche Niederschläge auf der Freifläche

Niederschlagsmessungen werden in der Höhenzone unter stärkerem Windeinfluß unsicherer und zum Teil ganz unbrauchbar (FLIRI 1975, SEVRUK 1985). Auch GRUNOW (1955, 1957, 1960) hat in einer Reihe von Arbeiten auf die Schwierigkeiten bei der Erfassung des Niederschlages im Gebirge hingewiesen. Von 1974 bis Jänner 1996 wurde von KRONFUSS (1997) und Mitarbeitern an zwei Stufen des Höhenprofils (Talboden 1720 m, Basis bzw. Lysimeterstation auf 1800 m SH) der Niederschlag während der Vegetationsperiode gemessen. Diese Messungen erfolgen mit Totalisatoren, die bis Juli 1990 jeden Werktag bzw. danach einmal wöchentlich entleert wurden. Die Auffanghöhe war bodengleich bzw. 1 m über dem Boden. Außerdem stand auf der Versuchsfläche Basis ein automatischer Regenschreiber mit Nipher-Ring - Bezugshöhe 3 m über dem Boden - zur Verfügung. Ab 1992 wurde auf 1800 m im neuen Teil der Aufforstung eine automatische Klimameßstation mit dauernder Niederschlagsregistrierung (1 m über Boden) installiert. Als Bezugsgrößen für die in den folgenden Kapiteln vorgestellten Untersuchungen wurden der Totalisator an der Versuchsfläche Lysimeterstation (LYST) in 1 m Höhe, und für jene Fragen, bei denen eine detailliertere Auflösung der Niederschlagsereignisse notwendig war, die Meßwerte des Regenschreibers der Versuchsfläche BASIS (3 m Höhe) verwendet.

Aus dem Untersuchungsgebiet liegen kaum Winterdaten vor. Beheizbare Niederschlagssammler waren nicht vorhanden, bzw. wegen der vielfach gegebenen hohen Windgeschwindigkeiten (z.T. > 100 km/h über eine Stunde lang) und der fehlenden permanenten Stromversorgung nicht einsetzbar.

KRONFUSS versuchte in den Wintern 1990 bis 1992 am Talboden den Niederschlag monatlich über einen Totalisator (Auffanghöhe 1 m) mit Vaseline als Verdunstungsschutz zu erfassen. Die mit dieser Methode ermittelten Werte erwiesen sich jedoch als schlecht reproduzierbar. Aus diesem Grund wurde für die Ermittlung der Jahressummen bzw. Schätzung fehlender Meßwerte infolge von Geräteausfällen auf Tagesniederschlagswerte der Meßstation der Tiroler Wasserkraftwerke AG (TIWAG) in St. Sigmund zurückgegriffen. Diese ca. 1,5 km südöstlich des Versuchsfeldes Haggen gelegene Station ist auch im Netz des Hydrographischen Dienstes verankert. Vergleiche der Niederschlagsspenden in der Vegetationsperiode zwischen Haggen und St. Sigmund ergeben einen engen statistischen Zusammenhang (vgl. Kapitel 5.1.1).

FLIRI (mündliche Mitteilung) hat von der Hochrechnung der fehlenden Niederschlagsdaten in Haggen aus den Werten der Station St. Sigmund abgeraten. Da jedoch Angaben über die vor Ort gemessenen Niederschläge in der Vegetationsperiode für die Hochrechnung fehlender Meßwerte notwendig waren, erschien es nach Rücksprache mit KRONFUSS sinnvoller, diese über eine enge Regressionsbeziehung hochzurechnen, als die bei manchen Einzelereignissen doch recht stark von der Station Haggen abweichenden Meßwerte der Station St. Sigmund direkt zu verwenden.

Nebelniederschlag

GRUNOW (1955) ermittelte in mehrjährigen Messungen am Hohenpeißenberg einen Beitrag des Nebelniederschlags von bis zu 50% am Bestandesrand und bis 20% im Bestandesinneren zum Jahresniederschlag. GRUNOW (1964) verweist ähnlich wie TURNER (1985) auf die Zunahme des Nebelanteiles mit der Seehöhe, allerdings sind mit zunehmender Kontinentalität deutlich geringere Nebelzusläge anzusetzen. TURNER (1985) gibt für das kontinental getönte inneralpine Dischmatal bei Davos (CH) Nebelzusläge im Bereich der oberen Waldgrenze (2100 m SH) von 5–10% des Regenniederschlags an. Nach Ansicht von TURNER darf der Beitrag des Nebelniederschlags zum Gesamtniederschlag in inneralpinen Gebirgsregionen über 2100 m SH nicht vernachlässigt werden.

Nebellagen, insbesondere solche längerer Dauer sind im hinteren Sellraintal (SH 1800 bis 1900 m) aufgrund des nahezu ständig wehenden Windes aus NW (untergeordnet SE) sehr selten, der zu erwartende Beitrag zum Niederschlagsabsatz daher gering,

daher wurde auf die separate Quantifizierung des abgefangenen Nebelniederschlags verzichtet.

4.4 Niederschlag im Bestand

4.4.1 Interzeptionsverlust

Die Höhe des Interzeptionsverlustes hängt von bestandsspezifischen Parametern (Baumart, Alter, Höhe, Bestockungsgrad...), standortsbedingten Eigenschaften (Höhenlage, Geomorphologie, Exposition, Neigung...) und meteorologischen Kenngrößen (Niederschlagsart, -intensität, Windgeschwindigkeit und -richtung...) ab.

Der Niederschlag im Bestand (N_B) gliedert sich in Kronendurchlaß (K_D) und Stammablauf (N_{St}).

4.4.2 Kronendurchlaß

Wegen der Kosten und aus organisatorischen Gründen war die Aufstellung mehrerer registrierender Regenschreiber im Bestand und eines zusätzlichen Vergleichsschreibers in der angrenzenden

Freifläche, wie z.B. von WEIHE (1976) vorgeschlagen, nicht möglich. Daher mußte auf Rinnenmessung ausgewichen werden. Nach WEIHE (1976) muß bei Rinnen die Auffangfläche möglichst lang gestreckt sein, um Repräsentationsfehler zu vermeiden. Wiederum aus Kostengründen mußten bereits vorhandene Sammelrinnen mit einer Auffangfläche von je 750 cm^2 ($l = 50 \text{ cm}$, $b = 15 \text{ cm}$, $t = 15 \text{ cm}$, siehe Abb. 4.4.2) installiert werden. Aufgrund der starken Neigung und der bei Beginn der Untersuchungen teilweise noch bis knapp über den Boden reichenden Äste war die Anordnung dieser Wann als lange Rinne nicht möglich, es wurden 18 Behälter einzeln aufgestellt.

Untersuchungen von WEIHE (1984) über die Verteilung des Regens unter Fichtenkronen ergaben zudem, daß bei systematischer Aufstellung der Regenschreiber bestimmte Aufstellungen zu den Bäumen überrepräsentiert sind, es wurde daher versucht, über die in Abb. 4.1.3 angeführte räumliche Verteilung der Wann, den Kronenabtropfbereich und lichtere Stellen in repräsentativem

Abb. 4.4.2:

Sammelrinnen und -behälter zur Quantifizierung des Kronendurchlasses (K_D) in der Versuchsfläche ZNF (1991). Zwischen den einzelnen Starkregensimulationen wurden die Rinnen mit Deckeln aus Aluminium abgedeckt um Verschmutzung durch abfallende Nadeln zu verhindern. 1991 erfolgte die Ausleitung des aufgefangenen Niederschlags noch im Bestand, ab 1992 wurde der KD an eine zentrale Meßstelle unterhalb der Versuchsfläche ausgeleitet.



Ausmaß zu erfassen. Diese Wannen waren anfangs direkt mit 5-Literbehälter gekoppelt, in die der Niederschlag eingeleitet wurde. Aufgrund der mühsamen Quantifizierung des Durchsatzes im Bestand und der Gefahr von Schäden im Stamm- und Wurzelbereich und den installierten Meßgeräten, wurde ab Beginn der Meßperiode 1992 der gesammelte Niederschlag über Schlauchleitungen aus dem Bestand zu einer Sammelstelle ausgeleitet und dort für jeden Behälter getrennt, i.d.R. in mehrtägigen Abständen bzw. einmal wöchentlich auf ml genau bestimmt.

Eine Verteilung der Auffangwannen im Bestand im regelmäßigen Raster, z.B. nach den Richtlinien des DVWK (1986) oder ähnlich den von WEIHE (1976) beschriebenen Versuchsanordnungen bzw. nach dem strengen Zufallsprinzip war nicht möglich. Einerseits war der mögliche Aufstellungsraum schon aufgrund der hohen Stammzahl, 93 Individuen auf 75 m², stark limitiert. Andererseits war es an vielen Stellen wegen des hohen Skelettanteiles im Boden nicht möglich die Halterungen für die Auffangwannen zu fixieren.

Der Rückhalt durch Benetzung in den Schlauchleitungen und Rinnen wurde nicht quantifiziert:

- ▶ Die Schläuche waren aus wasserabweisendem Kunststoff, sie waren nach Niederschlägen infolge des großen Gefälles zwischen Rinne und Meßgalgen stets annähernd vollständig entleert, die Massenzunahme war mit der für Feldmessungen zur Verfügung stehenden Waage (auf 1g genau) nicht meßbar.
- ▶ Bei den Rinnen zeigte sich, daß andere Verlustquellen, wie z.B. die Verstopfung des Auslasses mit abgefallenen Nadeln, eine wesentlich größere Fehlerquelle darstellten.

4.4.3 Stammablauf

Beobachtungen beim Test der Beregnungsanlage zeigten, daß ein beträchtlicher Teil des aufgebrauchten Niederschlages rasch über die glatte Rinde des Stammes auf den Boden gelangte.

Für die Messung des Stammablaufes konnte auf keine der für Alt- oder Baumholz entwickelten Methoden zurückgegriffen werden (DELFS 1955, MITSCHERLICH und MOLL 1970, WEIHE 1968, 1982, BENECKE 1984, KAZDA 1986). Einerseits wiesen die zu messenden Bäume einen BHD von wenigen cm auf, andererseits reagiert die Zirbe sehr sensibel auf mechanische Belastungen bzw. Verwundung der Rinde. Daher wurde der Stamm ca. 30 bis 50 cm

über dem Boden mit einer dauerelastischen Kunststoffmasse ummantelt. Auf diesen Kunststoffkörper wurde eine Klarsichtfolie geklebt, diese zusätzlich noch mit elastischem Klebeband fixiert. Die Systeme wurden mehrmals in der Saison auf Dichtheit überprüft. Weiters erfolgte jeweils vor Start der Meßperiode ein Test, ob das System auch in der Lage war, entsprechend hohe Stammablaufmengen aufzunehmen.

Die Ausleitung des Stammablaufes erfolgte über einen in den Kunststoffkörper eingebetteten Schlauch zur Sammelstelle in 5-Literbehälter. Von der gemeinsamen Quantifizierung des N_{St} mehrerer Bäume, wie z.B. von WEIHE (1976) praktiziert, wurde aufgrund der Heterogenität des Bestandes und, da die Einflüsse der Lage (Rand, Überschilderung,...) auch gezielt erkennbar sein sollten, Abstand genommen.

Die Stammabflußmessung erfolgte im Zuge der ersten Starkregensimulationen vorerst nur an 6 Stämmen. Für die letzten drei Beregnungen und die Beobachtung der natürlichen Regenereignisse wurde die Zahl der Meßbäume aus Gründen der Genauigkeit auf 10 erhöht. Es wurde danach getrachtet, daß die ausgewählten Bäume die Durchmesserklassen und Bestandesglieder (durchmesserschwächste bis -stärkste, vorherrschende bis unterdrückte Bäume) repräsentierten.

4.4.4 Schnee-Wasseräquivalent im Freiland und im Bestand

Um einen Anhaltspunkt über die Entwicklung des Wasseräquivalentes der Schneedecke zu bekommen, wurden in drei Bestandeslücken am Talboden (1730 m SH), auf Höhe der Versuchsfläche BASIS (1800 m SH) und in der Kampfzone (1900 m SH) Meßflächen für die Entnahme von Schneeprofilen eingerichtet. Die Probenwerbung erfolgte in Anlehnung an KATZENSTEINER (1987) auf 2,5 m langen und 1 m breiten Netzen aus feinmaschigem weißen Kunststoffgewebe, die auf der Rasenvegetation in der Schichtenlinie ausgelegt und am Boden verankert waren. Die stark eingeschränkte Reproduzierbarkeit der auf diese Weise ermittelten Meßwerte zeigte sich bereits im Zuge der ersten Erhebungen, infolge extremer Windgeschwindigkeiten unterliegt die Schneedecke im Arbeitsfeld nämlich einer permanenten Umlagerung. Mehrfach waren die Netze trotz großer Schneehöhen in der Umgebung vollkommen freigeweht, in anderen Fällen war die auf den Netzen gemessene Schneehöhe gegenüber der Umgebung überproportional höher.

Gemeinsam mit KRONFUSS (1997) wurden zusätzlich mehrere Schneepegel im Versuchsfeld in wöchentlichem Turnus abgelesen. Von diesen Standorten stehen jedoch keine Angaben über das Wasseräquivalent zur Verfügung.

Daher erfolgte für die Dokumentation der Verteilung des Schnees im Bestand ZNF im Februar 1992 die Entnahme von Schneeproben mit einer Schneesonde nach BRECHTEL (1969) in einem Raster von 1m (96 Punktproben). Die Wahl des optimalen Entnahmezeitpunktes gestaltete sich sehr schwierig, zumal eine derartige flächendeckende Kampagne nur einmal im Winter durchgeführt werden konnte (Störung der Schneedecke durch die Probenwerbung). Unmittelbar nach Neuschneefällen hatte sich der Niederschlagsabsatz im Bestand noch nicht genügend differenziert, im Jänner war die akkumulierte Schneemenge noch zu gering, um Abschätzungen auf die Wasserspende für den Bestand zuzulassen. Bei Wahl eines späteren Beprobungszeitpunktes bestand wieder die Gefahr, daß ein beträchtlicher Teil des abgesetzten Schnees infolge von Tauwetter bereits versickert oder verdunstet war. Mit dem Ziel einer besseren Dokumentation der Änderung der Niederschlagsverteilung im Bestand erfolgte die Bestimmung des Wasseräquivalentes im darauffolgenden Jahr in zeitlich gestaffelten, 15 m langen, in der Falllinie orientierten Transsekten (jeweils 16 Punktproben). Die Vergleichbarkeit der an den einzelnen Transsekten ermittelten Werte des Wasseräquivalentes war jedoch infolge der Ungleichförmigkeit des Kronendaches und des daraus resultierenden inhomogenen Schneeabsatzes im Bestand jedoch stark eingeschränkt. Angaben zur Inhomogenität des Schneeabsatzes im Untersuchungsgebiet Haggen finden sich auch bei STERN (1978).

4.5 Boden

4.5.1 Potential des Bodenwassers

Das Wasser im Boden hat eine Energie der Lage, kurz Potential genannt. Nach HANKS und ASHCROFT (1980), JURY et al. (1991) ist das Wasserpotential im Boden formal definiert als die Arbeit, die verrichtet werden muß, um eine Einheitsmenge Wasser aus einem sich im Gleichgewicht befindlichen Bodenwasser-System bei gegebener Temperatur T_0 reversibel auf ein Referenzniveau zu transferieren.

Das Gesamtpotential ist jedoch sehr schwierig zu messen. Es kann durch Messung seiner Teilkomponenten erfaßt werden:

$$\Psi = \Psi_m + \Psi_z + \Psi_o + \Psi_w + \Psi_p \quad (3)$$

wobei: Ψ = Gesamtpotential
 Ψ_m = Matrixpotential
 Ψ_z = Gravitationspotential
 Ψ_o = osmotisches Potential
 Ψ_w = Auflastpotential
 Ψ_p = Druckpotential

Eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Teilpotentiale, ihrer Wirkung und möglicher Meßmethoden wird in den einschlägigen Lehrbüchern der Bodenphysik gegeben (z.B. HARTGE 1978, HANKS und ASHCROFT 1980, HARTGE und HORN 1991, JURY et al. 1991). Für die gegenständlichen Untersuchungen war vor allem die Bestimmung des Matrixpotentials von besonderem Interesse, die Messung von Ψ_m stellt eine Möglichkeit zur Dokumentation der zeitlichen Änderung der Bodenfeuchte dar.

Das Matrixpotential Ψ_m entspricht dem Betrag an Arbeit, der verrichtet werden muß, um dem Boden eine Mengeneinheit Bodenlösung in einer bestimmten Höhe unter den gegebenen Gasdruck- und Temperaturbedingungen zu entziehen (HARTGE 1978).

4.5.1.1 Meßprinzip

Vereinfacht gesehen (unter Vernachlässigung des Potentials des immobilen Wassers im Boden) entspricht Ψ_m dem von den Kapillaren des Bodens ausgeübten Potential (GREMINGER 1982). Je weniger Wasser ein Boden enthält, umso stärker halten die matrixbedingten Kräfte es fest (SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL 1992). Das von der Bodenmatrix auf die Bodenlösung ausgeübte Matrixpotential Ψ_m kann mit Tensiometern gemessen werden. Die Angabe erfolgt in hPa. Häufig findet man auch Angaben in cm Wassersäule bzw. als Druckgröße in mbar.

4.5.1.2 Meßgeräte

Für diese Messungen kamen im ersten Jahr (1989) nur Quecksilber-Tensiometer der Fa. SOILMOISTURE zum Einsatz.

In Anlehnung an BENECKE et al. (1976) wurde beim Einbau der Tensiometer mit einem Rohr, das geringfügig dünner war als die Plexiglasröhren der Tensiometer bis in die vorgesehenen Tiefe vorgebohrt. Anschließend wurden geringe Mengen an feinerer Fraktion, wie von BENECKE et al. (1976) oder CARPENTER (1972) vorgeschlagen, eingeschlämmt, um einen optimalen Kontakt der porösen Keramik mit dem umgebenden, z.T. grobtexturierten Boden zu gewährleisten.

Ab 1990 erfolgte sukzessive die Umrüstung auf JET-FILL Tensiometer der Fa. SOILMOISTURE (die Bodenwasserspannung wird an einem Unterdruckmanometer mit 10 hPa Ablesegenauigkeit angezeigt, Abb. 4.5.1.2). Das tatsächliche Matrixpotential ergibt sich bei diesen Geräten aus dem am Manometer angezeigten Meßwert abzüglich der Distanz zwischen Manometer und der Mitte der Keramikkerze. Dieser Wert entspricht dem relativen Geopotential der Wassersäule im Tensiometer.

Die Verwendung dieses Typs gegenüber den Hg-Tensiometern hatte folgende Vorteile:

- ▶ Leichtere Ablesung der Meßwerte (Unterdruckmanometer).
- ▶ Leichtere Überprüfbarkeit der Funktionsfähigkeit durch eine Vakuumpumpe mit aufgesetztem Vergleichsmanometer.
- ▶ Leichtere Entlüftung und Befüllung (Nachfüllen auf Knopfdruck aus dem Wasserreservoir), zudem traten bei den Hg-Tensiometern schon bei relativ geringen Unterdrücken (250-300 hPa) Dichtheitsprobleme auf (Lufttritt). Dadurch wurden die tatsächlichen Druckverhältnisse unterschätzt, durch laufend aus der porösen Keramik austretendes Wasser wurden zusätzlich die Feuchteverhältnisse des Bodens im Meßbereich verändert.
- ▶ Keine Manipulation mit giftigem Quecksilber im Gelände.
- ▶ Extreme Temperaturempfindlichkeit der Hg-Tensiometer. Bedingt durch die große Rohrlänge (1m) ragten diese insbesondere bei oberflächennahen Messungen weit aus dem Boden und waren besonders auf offenen Flächen der intensiven Sonnenstrahlung ausgesetzt, die gemessenen Tagesschwankungen repräsentierten mitunter mehr den Temperaturgang als tatsächliche Änderungen des Druckpotentials.

Kurzfristig wurden probeweise einige Jet-Fill-Tensiometer, basierend auf Überlegungen von STREBEL et al. (1970), anstelle des Manometers mit HONEYWELL-

Unterdruckaufnehmern als Basis für eine permanente Registrierung über Datenlogger ausgestattet. In Übereinstimmung mit STREBEL et al. (1970), ALBERT et al. (1987), ALBERT und GONSOWSKI (1987) wurden mit diesen Geräten bei Tests im Labor und im Freiland sehr gut reproduzierbare Meßwerte erzielt. Eine komplette Umrüstung der Versuchsfelder auf diesen Typ wurde jedoch aus folgenden Gründen nicht in Erwägung gezogen:

- ▶ Für die z.T. weit auseinander liegenden Meßflächen (z.T. mehrere hundert Meter) wäre eine Vielzahl an Datenloggern mit einem weiten Kabelnetz notwendig gewesen.
- ▶ Erhöhter Kontroll- und Serviceaufwand.
- ▶ Die ersten Einsätze im Freiland zeigten, daß die Meßbrücken der Unterdruckaufnehmer abrupte

Abb. 4.5.1.2:

JET-FILL Tensiometer der Fa. SOILMOISTURE auf der Freifläche LYST



Druckänderungen, wie sie beim Nachfüllen bei höherem Austrocknungsgrad des Bodens (> 500 hPa) aus dem Wasserreservoir der Jet-Fill Tensiometer auftreten, nicht verkraften, und nach mehrmaliger solcher Beanspruchung kollabieren.

Alle eingesetzten Tensiometertypen reagierten auf Frost sehr empfindlich. Wiederholte Kaltlufteinbrüche im Frühjahr bzw. verstärkte Frühfröste ab Oktober limitierten die Meßperiode i.d.R. auf den Zeitraum Mitte/Ende Mai bis Ende September/Anfang Oktober. Während bei den Hg-Tensiometern relativ rasch Eisbildung in den Plexiglasröhren beobachtet wurde, wurden bei den Jet-Fill Tensiometern schon bei kurzen Frosteinbrüchen die Druck-Gauges in den Manometern zerstört. Aufgrund des hohen manipulativen Aufwandes (Austausch der Flüssigkeit, Nacheichung) und der kurzen gewonnenen Meßzeit (max. 2 Monate, April bzw. Oktober) wurde eine Adaptierung für Messungen bei Lufttemperaturen unter 0° C, z.B. durch Einsatz von Dekalin (STREBEL 1970) nicht vorgenommen. Bodenfrost (durch TDR-Messungen ab 1993 belegt) von Ende Oktober bis März machte in dieser Zeit Tensiometermessungen gänzlich unmöglich. Um die Auswirkungen von Früh- und Spätfrösten jedoch zu mildern, wurde auf Anraten von HAGER (1990 - mündliche Mitteilung) beim Einbau im Frühjahr und ab Ende September der für die Tensiometermessungen verwendeten Lösung 5% reiner Alkohol zugesetzt.

Weitere Ausfälle ergaben sich infolge Vertrittes durch Rehe und sehr selten durch zu starke Austrocknung des Bodens. Der letztere Fall trat ähnlich wie bei BENECKE (1984) bei Matrixpotentialwerten < -700 bis -800 hPa auf.

Nach Defekten wurden die Manometer getauscht und die Tensiometer neu kalibriert. Die ausgefallenen Manometer wurden im Labor an einen speziellen Unterdruckkessel angeschlossen und gegen zwei Eichmanometer auf ihre Funktionsfähigkeit getestet und im Falle einer irreparablen Schädigung verworfen.

Neben dem eingeschränkten Meßbereich, meßbar sind Druckpotentiale bis max. knapp über 800 hPa, besteht ein weiterer Nachteil der Tensiometer darin, daß sie praktisch nicht im Auflagehumus eingesetzt werden können, wo sich jedoch die meisten wasser-aufnehmenden Fein- und Feinstwurzeln sowohl der Bäume, als auch der krautigen Pflanzen befinden (ELLENBERG et al. 1986).

4.5.1.3 Tensiometermessungen – Versuchsanordnung
Es standen nur eine begrenzte Anzahl an Tensiometern zur Verfügung, daher wurden in der Regel in

Abhängigkeit von der Heterogenität des Bodens und des Bestandes zwischen zwei und 4 Tensiometer je Tiefenstufe installiert.

17.5. bis 1.10.1989

6 Standorte: Tägliche Ablesungen der Hg-Tensiometer: 700 morgens, 1400 mittags und 1900 abends, mit Ausnahme der Wochenenden. Tiefenstufen 10, 20, 50 cm.

►5 Zirbenflächen unterschiedlichen Alters und Schlußgrades

►1 Freifläche (LYST) als Vergleichsstandort, mit *Calluna vulgaris* bewachsen.

17.6. bis 11.10.1990

Der Zirbenstandort am Unterhang wurde aufgegeben, dafür wurde eine neue Versuchsfläche im jüngsten Teil der Aufforstung auf einem Standort mit reiner Lärche (HEUM) begründet. Die Standorte LYST, ZNF und HEUM wurden mit Jet-Fill Tensiometern ausgestattet.

3.6. bis 21.10.1991

Aufnahmen an Bodenprofilen und Untersuchungen von KRONFUSS über die Wurzelentwicklung der Zirbe in der Aufforstung hatten eine intensive Durchwurzelung nur bis max. 30 cm Tiefe ergeben. Daher wurden die Tensiometer in Abständen von 10 cm in 5, 15, 25, 35 und 45 cm Tiefe eingebaut, um die Bewegungen des Bodenwassers im durchwurzelten Bereich exakter zu dokumentieren. Die Ablesungen konnten aus personellen und organisatorischen Gründen nur an Montagen und an einem weiteren Wochentag erfolgen.

21.5. bis 12.10.1992

Dienstliche Erfordernisse (Projektschwerpunkt Löhnersbach bei Saalbach - Salzburg) machten eine Straffung des Versuchsprogrammes erforderlich. Die Meßfläche HEUM wurde aufgelassen. Ablesung und Wartung der Tensiometer i.d.R. einmal wöchentlich (montags).

21.6. bis 7.10.1993
wie 1992

6.6. bis 10.10.1994
wie 1992 und 1993

4.5.2 Bestimmung des Wasseranteiles mittels TDR

4.5.2.1 Meßprinzip

Time Domain Reflectometry (TDR) ist eine schnelle und genaue indirekte Methode zur Messung des volumetrischen Wassergehaltes eines Bodens. Aus

Messungen der Dielektrizitätszahl (ϵ) und der Temperatur, sowie Schätzungen der Porosität und ϵ der Bodenmatrix wird der Wasseranteil berechnet (ROTH et al. 1990). Mit $\epsilon = 81$ ist die Dielektrizitätszahl des Wassers im Boden wesentlich höher als die der mineralischen Bestandteile ($\epsilon < 5$). Ähnlich den in der Kabelmeßtechnik angewandten Verfahren wird eine elektromagnetische Welle entlang einer Leitung zu den im Boden installierten Elektroden gesandt. Die Welle wird entlang der Meßfühler in Abhängigkeit vom Wassergehalt „gebremst“.

Die Wasseranteilmessung kann in zwei Schritte unterteilt werden:

► Messung von ϵ

► Messung des Wasservolumens aus der DEZ anhand des Modells von TOPP et al. (1980) bzw. TOPP und DAVIES (1985)

ϵ wird aus der Gleichung:

$$c = \frac{c_0}{\sqrt{\epsilon \cdot \mu}} \quad (4)$$

berechnet. Es wird die Ausbreitungsgeschwindigkeit c der elektromagnetischen Welle gemessen. Diese hängt von zwei Materialkonstanten ab: Der Dielektrizitätskonstanten ϵ und der magnetischen Permeabilität μ (c_0 = Lichtgeschwindigkeit im Vakuum).

4.5.2.2 Meßgeräte

Mit Ende der Vegetationsperiode 1990 mußte die Entnahme von Bohrstockproben für die in Kap. 5.4.5.2 angeführten Bestimmungen der Druckpotential-Wasseranteilsbeziehungen im Feld eingestellt werden. Es gelang jedoch erst 1992 die Genehmigung zur Anschaffung eines TDR-Meßsystemes TRASE® - Systems I der Firma SOILMOISTURE, Santa Barbara, Kalifornien, zu bekommen.

Das TRASE® - System mit elektronischem Multiplexer liefert als Meßergebnis die Laufzeitkurve der elektromagnetischen Welle im Meßmedium entlang der Wellenleiter. Aufgrund getrennter Bestimmung der ϵ -Zahl und anschließender Auswertung mit der substratspezifischen Kalibrierkurve ist die Kalibrierung grundsätzlich unabhängig vom Sondenbautyp der bei den Feldmessungen zum Einsatz kommt (GRIMMEISEN 1997).

Bei Labortestreihen im Frühjahr 1993 lieferte das TRASE®-System I der Fa. SOILMOISTURE sehr gut reproduzierbare Meßwerte. Bereits im Herbst 1992 war eine Wanne (70 · 100 · 100 cm) mit sandigem Substrat aus dem Untersuchungsgebiet gefüllt

worden, das Bodenmaterial wies zu Versuchsbeginn einen sehr hohen Austrocknungsgrad auf. In dieses Substrat wurden mehrere TDR-Sonden installiert, und parallel dazu der Wasseranteil des Bodens auf gravimetrischer Basis gemessen. In der Folge wurde der Boden in der Wanne stufenweise aufgesättigt und die Bodenfeuchte nach beiden Verfahren bestimmt. Der Fehler lag bei hohem Wasseranteil und im Bereich mittlerer Bodenfeuchte um $\pm 2\%$ und stieg dann bei extremer Austrocknung auf $\pm 4\%$ an. Vergleichsmessungen mit einem am Institut für Experimentalphysik der Universität Innsbruck von GSCHNITZER und ELLER (1994) entwickelten Bodenfeuchtemeßgerät auf kapazitiver Basis ergaben sehr gute Übereinstimmungen für Werte des mittleren Wasseranteiles im Boden (zwischen 15 und 40 Vol%), jedoch große Abweichungen bei Volumsanteilen unter 10%. WILPERT et al. (1998) ermittelten bei Feuchtemessungen in heterogenen Waldböden Standardfehler unter 1%. Bei mittleren und niedrigen Wassergehalten in homogenisierten Testböden wurde eine Überschätzung des Wassergehaltes von bis zu 2 Vol% beobachtet, die vermutlich auf randliche Verdichtungen um die Wellenleiter zurückgeht. Bei in-situ-Messungen im Gelände beobachteten WILPERT et al. eine Unterschätzung der Volumsfeuchte infolge einbaubedingter Randspalten an den Sonden bei hohem Skelettanteil um bis zu 14%.

KOFALK und PLAGGE (1997) erzielten bei Verwendung der Schätzfunktion von TOPP et al. (1980) für lehmig sandige Böden den größten Schätzfehler ($\pm 0,089$), wohl deshalb, weil dieser Funktion eine Lagerungsdichte (trocken) von 1,35 g/cm² zugrunde liegt.

Die als Basis für die gegenständliche Untersuchung durchgeführten Kalibrierungen im Labor zeigten jedoch, daß bei Verwendung der von TOPP et al. (1980) erstellten und in der Folge weiterentwickelten Eichkurve (TOPP und DAVIES 1985) für den Mineralboden mit Ausnahme extremer Austrocknung eine sehr gute Übereinstimmung zwischen dem mit dem TDR-Verfahren und dem auf gravimetrischer Basis bestimmten Wasseranteil erzielt wird. Auch DRUNGIL et al. (1989) erzielten bei Bodenfeuchtebestimmungen in sandig-skelettreichen Böden eine gute Übereinstimmung der von TOPP et al. (1980) ermittelten Beziehung mit dem tatsächlichen Wasseranteil, sie war wesentlich genauer als die parallel mit einer Oberflächen-Neutronensonde bestimmten Werte.

4.5.2.3 Versuchsanlage

Am Ende der Vegetationsperiode 1992 erfolgte auf der Versuchsfläche ZNF die Installation der TDR-

Sonden. Dabei wurden zwei Sets von TDR-Meßfühler neben den Tensiometern in 5, 15, 25 und 35 cm Tiefe eingebaut. Zum Einsatz kamen vergrabbare Waveguides der Fa. SOILMOISTURE, die zu den Terminen der Tensiometerablesungen über einen Multiplexer mit dem TRASE®-System I angesteuert und mehrmals hintereinander abgefragt wurden.

Die räumliche Entfernung zwischen TDR-Sonden und Tensiometergruppe betrug ca. 30–50 cm in der Schichtenlinie, um gegenseitige Interaktionen so gering wie möglich zu halten, andererseits ein möglichst hohes Maß an Vergleichbarkeit zu erzielen.

4.5.3 Bodenprofile und Probenwerbung

Vom A_h-Horizont beginnend wurden an vier Versuchsflächen (BASIS, LYST, ZNF, HEUM) in definierten Tiefenstufen sowohl ungestörte Zylinderproben - jeweils 5 Parallelproben je Tiefenstufe - als auch Lockermaterial entnommen (Entnahmeschema siehe Abb. 4.5.3). Die Entnahme von Stechzylinder-Proben erfolgte solange, bis der mit der Tiefe zunehmende Skelettanteil die Entnahme ungestörter Proben unmöglich machte. Der Transport der mit Deckeln verschlossenen Zylinder (Inhalt 200 cm³) erfolgte möglichst erschütterungsfrei in speziellen Koffern. Im Labor wurden die ungestörten Proben dann bis zur Analyse im Kühlschrank gelagert und die Lockerproben zur Lufttrocknung in Kartonschachteln übertragen.

Diese Vorgangsweise unterscheidet sich stark von der häufig nach bodengenethischen Gesichtspunkten durchgeführten Probenwerbung, bei der horizontweise, unabhängig von der Mächtigkeit und Tiefe, Locker- und Zylinderproben entnommen werden.

Die Entnahme in fixen Tiefenstufen erscheint für die Vergleichbarkeit der physikalischen Kenngrößen, die in der Regel einen ausgeprägten Gradienten in Abhängigkeit von der Bodentiefe aufweisen, insbesondere mit den Ergebnissen anderer Untersuchungen vorteilhafter.

4.5.4 Labormethodik

Im Rahmen dieses Arbeitsabschnittes wurden folgende Parameter untersucht:

4.5.4.1 Korngrößenverteilung - Textur

Diese Bestimmung erfolgte modifiziert nach Ö-NORM L 1061 in drei Schritten:

- ▶ Siebung der lufttrockenen Bodenprobe auf 2 mm.
- ▶ Fraktionierte Naßsiebung des Siebdurchganges zwischen 2 mm und 40 µm.
- ▶ Ermittlung der Feinstfraktion <40 µm mit dem Particle Size Analyzer der Type SHIMADZU SACP2/10 (Bestimmung der Korngröße nach dem Prinzip der Lichtbrechung über ein kombiniertes Sedimentations- und Zentrifugationsverfahren).

4.5.4.2 Lagerungsdichte trocken

(LD - nach Ö-NORM L 1068)

Die Lagerungsdichte (trocken) oder Rohdichte (trocken) entspricht dem Verhältnis der trockenen Bodenprobe zu ihrem Gesamtvolumen in g/cm³.

4.5.4.3 Feststoffdichte (FD - nach Ö-NORM L 1068)

Modifizierte Bestimmung nach ÖN L 1068 im Flüssigkeitspyknometer, statt aqua dest. wurde Xylol verwendet.

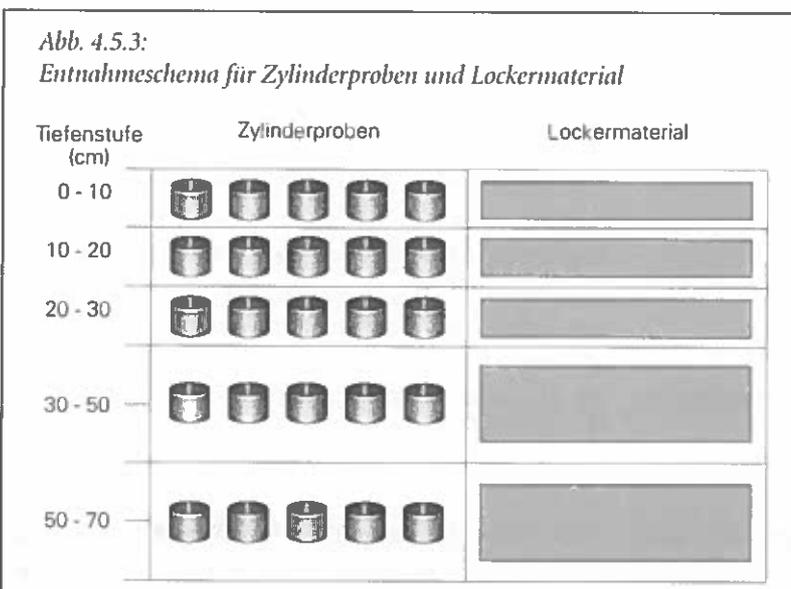
Parallel dazu wurde die FD in Anlehnung an ZANETTI (1996) und ADAMS (1973) aus der LD und dem Gehalt an OS nach der Formel:

$$FD = \frac{100}{\left(\frac{OS\%}{FD_{org}}\right) + \left(\frac{100 - OS\%}{FD_{miner}}\right)} \quad (5)$$

berechnet.

4.5.4.4 Organische Substanz (OS)

Die OS wurde als Glühverlust der auf 105°C getrockneten Einwaage durch Veraschung im Muffelofen bei 500°C nach einer Anleitung von SCHLICHTING und BLUME (1966) bestimmt. Voraussetzung für die Anwendung dieses Verfahrens war die Annahme, daß zwischen 105 °C



und 500 °C nur Humusabbauprodukte gasförmig entweichen, die Proben waren durchwegs karbonatfrei. Nur bei hohem Tonanteil wäre der Verlust von Kristallwasser als mögliche Fehlerquelle bei dieser Methode zu berücksichtigen. Der Tonanteil der untersuchten Proben war jedoch sehr gering (ca. 3% der Feinfraktion), daher wurde von der Anwendung eines Korrekturfaktors abgesehen. Feinwurzeln, eingewaschene Nadeln und Nadelteile wurden aussortiert, da diese Komponenten bei den angeführten hohen Temperaturen ebenfalls gasförmig entweichen und dadurch ein zu hoher Gehalt an organischer Substanz vorgetäuscht würde.

4.5.4.5 Bestimmung des Bodenskelettanteiles

Im Freiland wurde an jedem Bodenprofil der Grobskelettanteil horizontweise in einer ersten Näherung angeschätzt. Zur Überprüfung der Genauigkeit dieser Schätzung bzw. zur Korrektur des Bodenskelettanteils in den Zylinderproben, wurde an der Exaktversuchsfläche ZNF im Bereich des Schlitzes für die Abflußmessungen bei den Berechnungen, den oben angeführten Tiefenstufen entsprechend, Bodenproben mit einem Rahmen (30 · 30 · 5 cm) volumsgerecht entnommen. Im Labor erfolgte nach der Lufttrocknung die Trennung des Skelettes von der Feinfraktion ($\varnothing < 2$ mm). Durch Siebung mit Sieben großer Maschenweite (\varnothing bis 2 cm) bzw. durch Feststellen der Wasserverdrängung im Tauchverfahren konnten Volumen bzw. die Feststoffdichte des Grobanteiles je Tiefenstufe annähernd bestimmt werden. Einzelne größere Blöcke, die mehrere Tiefenstufen berührten, wurden lagemäßig erfaßt, separat ins Labor transferiert, das Volumen ermittelt, und anteilmäßig den entsprechenden Tiefenstufen zugeschlagen.

4.5.4.6 Gesättigte Wasserleitfähigkeit (K_f -Wert)

Diese Messung wurde in Anlehnung an die Versuchsanordnung von DE BOODT und DE LEENHEER (1965, zit. in SCHLICHTING und BLUME, 1966) durchgeführt. Dabei wurde die wassergesättigte Zylinderprobe mit einer Wassersäule definierter Höhe überstaut, der auftretende Durchfluß gemessen und der K_f -Wert in cm/d berechnet.

4.5.4.7 Wasseranteil-Wasserpotential-Kennlinien (pF-Kurven)

Die Bestimmung der Druckpotential - Wasseranteilsbeziehung erfolgte in drei Schritten:

- ▶ Entwässerung der gesättigten Zylinderproben am Unterdruckkapillarimeter nach NEUWINGER -

RASCHENDORFER und CZELL (1965) bei definierten Unterdrücken (10, 50, 100, 150 hPa).

- ▶ Entwässerung ungestörter gesättigter Zylinderproben bei definiertem Überdruck in der Druckplattenapparatur (DPA) nach RICHARDS bei 330 hPa konform zur Ö-NORM L 1063.
- ▶ Entwässerung gestörter (auf 2 mm gesiebter) gesättigter Proben in der DPA bei 1, 3 und 15 MPa Überdruck, gemäß ÖN L 1063.

4.6 Bestimmung der Nadeloberfläche am Standort ZNF

4.6.1 Allgemeines

Die Belaubungs- bzw. Benadelungsdichte läßt sich durch den Blattflächenindex (LAI) zahlenmäßig erfassen.

$$LAI = \frac{\text{Gesamtsumme der Blattflächen}}{\text{Bodenfläche}} \quad (6)$$

Der Blattflächenindex wird als m² Blattfläche pro m² Bodenfläche angegeben, er ist ein Maß für den Überdeckungsgrad (LARCHER 1994).

Insbesondere aus Gründen der Vergleichbarkeit der Interzeptionsleistung des untersuchten Bestandes mit Resultaten anderer Untersuchungen bzw. als Eingangsgröße für die Berechnungen mit dem hydrologischen Modell BROOK90 mußten die Veränderungen im Kronendach während des intensiven Untersuchungszeitraumes (1992-1994) ermittelt werden. Leider ist diesbezüglich für die Zirbe kaum Datenmaterial vorhanden. BURTT schreibt schon 1899 in seiner Arbeit „Über den Habitus der Coniferen“, daß diese eine Formenvielfalt aufweisen, wie kaum eine zweite Pflanzenfamilie. Nach PERTERER und KÖRNER (1990) unterliegen Gestalt und Größe von Koniferennadeln einer ziemlich großen Streuung. In erster Linie sind die Strahlungsverhältnisse an den einzelnen Standorten für die Nadelausbildung von Bedeutung, aber auch der Ernährungszustand spielt eine Rolle, so ist z.B. der mittlere spezifische LAI bei Kiefer an Standorten mit günstigen Strahlungsverhältnissen niedriger als an schattigen oder nur periodisch besonnten Flächen, die SLA nimmt mit zunehmendem Nadelalter ab. HAGER und STERBA (1985) weisen auf die altersmäßige Abnahme des spezifischen LAI bei Fichtennadeln hin.

Die Wasserversorgung des Versuchsstandortes ZNF ist durchwegs ausgeglichen, daher ist dem

Einfluß des Jahresganges des Wasserhaushaltes auf die Nadelausbildung im Versuchsfeld Haggen nur untergeordnete Bedeutung zuzumessen.

Für vergleichbare Bäume kann bei Kiefer die spezifische Blattfläche (SLA) aus dem Trockengewicht von 100 Nadeln abgeschätzt werden (PERTERER und KÖRNER 1990). Ähnliche Versuche hatte KRONFUSS bereits 1987 für neun ca. 30 m vom Bestand ZNF entfernte Bäume durchgeführt und die Gesamtnadelmasse quantitativ sowie an mehreren 1000-Nadelproben je Versuchsbaum auf zwei Arten (Planimetrierung, Glasperlenmethode) die Nadelfläche ermittelt. Im Mittel ergeben sich bei der Planimetrierung deutlich höhere Oberflächen als mit der Glasperlenmethode nach THOMPSON und LEYTON (1971), wie aus Tab. 4.6.1 ersichtlich. PERTERER und KÖRNER (1990) erzielten bei Bestimmungen mit der Glasperlenmethode gegenüber einem geometrischen Modell um 5 bis 15% höhere Werte. Bei diesem aufwendigen Verfahren diente ein geometrischer Modellkörper, dessen Ausmaße mit einem mechanischen Dickenmeßgerät, sowie anhand von mikroskopischen Querschnitten genau ermittelt wurden, als Berechnungsgrundlage. Nach Ansicht von PERTERER und KÖRNER kommen Wölbungen der Nadeln bei Verwendung der Glasperlenmethode stärker zur Geltung. Man muß also davon ausgehen, daß auch mit der Planimetrierung die tatsächliche Nadeloberfläche überschätzt wird.

4.6.2 Versuche zur Bestimmung der Nadelfläche mit dem Leaf-Area-Meter

Die Bäume am Standort ZNF hatten im Herbst 1994 gegenüber 1987 bereits eine intensive Höhenentwicklung durchgemacht, einzelne waren um mehr als 2 m gewachsen. Zudem hatte bereits die Ast-

reinigung massiv eingesetzt, asymmetrische Kronenausbildung dominierte daher gegenüber den von KRONFUSS (1987) analysierten, weitgehend vollbekronen Bäumen.

Es sollten daher an hinsichtlich Kronenausbildung, Höhe und Durchmesser für den Untersuchungsbestand repräsentativen Bäumen in unmittelbarer Nähe der Versuchsfläche ZNF Bestimmungen mit dem Leaf-Area-Meter durchgeführt werden, um eventuelle Änderungen in der Nadelfläche gegenüber den Werten von KRONFUSS (1987) zu dokumentieren.

Dazu wurden an sechs Bäumen in 3 Segmenten (Schattenkrone, Mittelkrone, Lichtkrone) jeweils bergseitig und talseitig ein Ast für die Analyse, also insgesamt 6 Äste gewonnen. An jedem dieser 6 Äste waren die Oberfläche von tausend Nadeln und anschließend deren Masse nach Ofentrocknung zu bestimmen. Über diese Versuchsmethode sollten mögliche Unterschiede in der Nadelausbildung (-fläche) herausgearbeitet werden.

Bei den Bestimmungen am Leaf-Area-Meter am Institut für Waldökologie der Universität für Bodenkultur, Wien, ergaben sich jedoch im Zuge von Wiederholungsmessungen für Wiederholungsproben Unterschiede in der Nadelfläche um mehr als 100%. Die Nadeln luden sich im Zuge der ersten Messung auf der durchleuchteten Kunststoffolie elektrisch auf, hüpfen hin und her, überlappten sich, und mußten immer wieder neu geordnet werden. Die Folge waren Änderungen der planimetrierten Nadelfläche. Zusätzlich verharzte die Folie, das Licht wurde stärker absorbiert, ein höheres Volumen vorgetäuscht. Dieser Fehler war nicht konstant, die ermittelten Werte daher im Endeffekt nicht reproduzierbar. Deshalb wurde die in Kap. 4.6.3 skizzierte Methode als Kompromiß gewählt.

Tab. 4.6.1:

Nadeloberflächen (NFL) von Zi-Nadelproben (jeweils 1000 Nadeln) ermittelt über Planimetrierung und nach der Glasperlenmethode am Standort ZNF nach KRONFUSS (1987) - Angaben in dm². Bei der Planimetrierung ergeben sich deutlich höhere Werte für NFL als bei der Bestimmung nach der Glasperlenmethode nach THOMPSON und LEYTON (1971).

Jg = Jahrgang

Probe	Nadeloberfläche (Planimetrierung)				Probe	Nadeloberfläche (Glasperlenmethode)			
	1. Jg.	2. Jg.	3. Jg.	4. Jg.		1. Jg.	2. Jg.	3. Jg.	4. Jg.
1	21,014	17,913	15,008	16,128	1	15,814	14,364	11,28	11,979
2	22,461	17,421	16,528	10,843	2	17,279	13,899	12,5	8,233
3	22,27	19,83	19,64	18,815	3	16,622	20,615	14,83	14,249
4	17,398	18,65	17,074	13,525	4	13,042	14,734	12,913	10,36
5	18,909	20,305	18,849	20,962	5	14,256	18,343	14,195	15,5
Mittel	20,410	18,824	17,420	16,055	Mittel	15,403	16,391	13,144	12,064
% (Bezug Mittel 1. Jg.)	100,0	92,2	85,3	78,7	% (Bezug Mittel 1. Jg.)	100,0	106,4	85,3	78,3
	Mittel der vier Jahrgänge			18,18		Mittel der vier Jahrgänge			14,25

4.6.3 Berechnung über Regressionsanalysen aus Vergleichsdaten

Die vom Splintholz eingenommene Querschnittsfläche des Stammes ist eng mit der Nadelmasse korreliert (WARING und SCHLESINGER 1985). Überlegungen die Nadelfläche über die Splintholzfläche zu bestimmen, konnten nicht weiterverfolgt werden. Zwar wurden bereits für eine Reihe von Pinusarten solche Funktionen zur Berechnung des Verhältnisses Nadelfläche/Splintfläche ermittelt (z.B. WHITEHEAD (1978) für *Pinus sylvestris*, WARING et al. (1982) für *Pinus contorta* und *ponderosa*). Für Zirbe sind derartige Eichkurven nicht vorhanden (HAVRANEK 1998 – mündliche Mitteilung). Zudem ist gerade bei jungen Zirben aufgrund der durchgehend hellen Färbung der Stirnfläche eine ausreichend exakte Abgrenzung des Splintholzanteiles nur schwer möglich.

Aufgrund der fehlenden Angaben bezüglich Nadelmasse und -oberfläche des Versuchsbestandes ZNF galt es eine Beziehung zu finden, aus der die Nadelfläche (N_{FL}) des Bestandes als für die Interzeption maßgeblicher Parameter geschätzt werden konnte. Für die neun von KRONFUSS (1987) gemessenen Bäume ergab sich der engste Zusammenhang zwischen Stammoberfläche (als Kegel berechnet) und Nadeloberfläche über folgende Funktion:

$$N_{FL} = 0.00407751 St_{FL} - 1,33933118 \quad (7)$$

$$R = 0,88 \quad R^2 = 0,77 \quad s = 3,067$$

N_{FL} = Nadeloberfläche

St_{FL} = Stammoberfläche

Gleichung (7) basiert auf der über die Planimetrierung erzielten Oberfläche. 1 g trockene Nadeln weisen bei Berücksichtigung von 4 Nadeljahrgängen 1,15 dm² Nadeloberfläche auf. Wendet man die Funktion auf die neun Bäume von KRONFUSS an, ergeben sich in Summe nur geringe Abweichungen, jedoch größere Differenzen bei einzelnen Individuen (Tab. 4.6.3). Diese Differenzen haben jedoch ihre Ursache vorwiegend in der durch die hohe Individuenzahl bedingten stark asymmetrischen Kronenausbildung. Die 93 Bäume auf der 75 m² großen Versuchsfläche ZNF entsprechen 12400 Individuen/ha für Standort ZNF (vgl. Kap. 4.1). KRONFUSS (1998 a) gibt für die gesamte nicht durchforstete Versuchsfläche eine Stammzahl von 13970/ha an.

5 Ergebnisse und Diskussion

5.1 Freiland-Niederschlag

Verwendete Niederschlagsdaten

Für die Berechnung der Monats- und Quartalsbilanzen des Wasserumsatzes nach der Wasserbilanzmethode fanden die Angaben des Totalisators am Standort LYST Verwendung. Da das hydrologische Modell BROOK90 mindestens Tageswerte des Niederschlages als Eingangsdaten voraussetzt, mußten für diese Berechnungen die teilweise anhand der ca. 1,5 km talauswärts gelegenen

Tab. 4.6.3:

Berechnung der Nadeloberfläche (N_{FL}) unter Verwendung von Gleichung (7) für ein 9 Baum-Kollektiv nach KRONFUSS (1987).

Nr.	Höhe	BHD	Stammoberfläche (cm ²)	Nadelmasse (FG in g)	Nadeloberfläche (m ² - berechnet *)	Nadeloberfläche (m ² - geschätzt **)	Differenz (%)
1	280	4,7	4024,9	2905,40	15,28	15,1	1,39
2	328	5,5	4650,3	3135,00	16,49	17,6	-6,43
3	342	4,4	4139,5	2526,00	13,29	15,5	-14,5
4	250	3,8	2474,6	2361,00	12,42	8,8	41,91
5	162		1257,5	354,00	1,86	3,8	-50,65
6	317	5,7	5082,2	4711,00	24,78	19,4	27,84
7	229	3,2	2833,3	2226,00	11,71	10,2	14,64
8	299	5,2	4813,4	2703,00	14,22	18,3	-22,25
9	240	3,4	3184,2	1856,00	9,76	11,6	-16,16
SUMME					119,81	120,30	-0,41

*) nach KRONFUSS (1987), aus der Gesamtnadelmasse der Bäume, 1 kg frischer Nadeln entspricht einer Oberfläche von 5,26 m².

***) nach der Funktion (7): $N_{FL} = 0.00407751 St_{FL} - 1,33933118$

$R = 0.876$

FG = Frischgewicht

N_{FL} = Nadeloberfläche

St_{FL} = Stammoberfläche

Meßstation der TIWAG in St. Sigmund korrigierten Werte des automatischen Regenschreibers der Station BASIS verwendet werden (vgl. Kap. 5.6).

5.1.1 Berechnung fehlender Meßwerte aus Daten der Station St. Sigmund der TIWAG

Niederschlagsangaben mit wöchentlicher bzw. ereignisweiser Auflösung stehen mit Ausnahme der Jahre 1989 und 1990 jeweils nur für den Großteil der Vegetationsperiode zur Verfügung.

In einem ersten Schritt wurden für jede Meßperiode bzw. jedes Meßjahr aus den Daten der Station St. Sigmund lineare und polynomische Ausgleichsfunktionen für die Station Haggen gerechnet. Wie aus den Abb. 5.1.1.3 a – g ersichtlich, ergeben sich über die polynomische Berechnung mit Ausnahme des Jahres 1992 nur geringfügig höhere Regressionskoeffizienten. Ursache der Differenzen im Jahr 1992 ist ein einziges ergiebiges Niederschlagsereignis in St. Sigmund, das in Haggen in wesentlich abgeschwächter Form wirksam wurde. Ohne Berücksichtigung dieses singulären Ereignisses liegen die Regressionskoeffizienten der linearen und polynomischen Ausgleichsfunktionen auf gleichem Niveau.

Bei nach Meßperioden getrennter Betrachtung ergeben sich enge Zusammenhänge zwischen den Totalisatormeßwerten (0 und 1 m Sammlerhöhe – Station LYST) in Haggen und den Meßwerten der Station St. Sigmund der TIWAG (vgl. Tab. 5.1.1.1). Am plausibelsten ist die Funktion für das Jahr 1990 (Sammlerhöhe 1m) mit $R^2 = 0,977$. Mit Ausnahme

des Jahres 1992 sind die Niederschläge St. Sigmund und Haggen eng korreliert. Naturgemäß ist die Beziehung zwischen dem Niederschlagsabsatz in St. Sigmund (Totalisator in 1 m Höhe) und den Werten des in 1m Höhe installierten Totalisators in Haggen (LYST 1) gegenüber dem bodengleich installierten Regensammler (0 m Höhe - LYST 2) durchwegs enger. Die Differenz zwischen Niederschlagsabsatz auf Bodenniveau und in 1 m Höhe kann primär mit dem Einfluß des Windfeldes und der Zunahme des JEVONS-Effektes bzw. der windbedingten Verluste mit der Sammlerhöhe über Grund erklärt werden (GRUNOW 1957 und 1960, FOLLAND 1985, SEVRUK 1985).

Berechnet man die Niederschläge in Haggen mit der für das jeweilige Jahr ermittelten Ausgleichsfunktion, ergeben sich jedoch vor allem für die Jahre 1991 bis 1993 große Abweichungen von den durch KRONFUSS (1997) ermittelten Werten (vgl. Tab. 5.1.1.2). Hauptursache dafür sind die teilweise sehr hohen Restglieder, häufig auftretende Niederschläge geringer Intensität (um 1 mm/d) werden dadurch deutlich überschätzt, es ergeben sich deutlich überhöhte Jahresniederschläge.

Besser nachvollziehbare Niederschlagsmengen ergeben sich bei Verwendung der Ausgleichskurve des Jahres 1990 für die fehlenden Meßwerte der Jahre 1989 bis 1994 (siehe z.B. Extremwerte für die Jahre 1991 und 1992 bei Verwendung der für das jeweilige Meßjahr erstellten Regressionsbeziehung zwischen Haggen und St. Sigmund in Tab. 5.1.1.2).

Tab. 5.1.1.1:

Zusammenhang zwischen dem Niederschlag an der Versuchsstation Haggen im Sellrain und der Meßstelle der TIWAG in St. Sigmund.

Jahr	Sammlerhöhe (Haggen)	Anzahl der Messungen (n)	Erste Messung	Letzte Messung	Zeitlicher Abstand der Messungen	Funktion	Bestimmtheitsmaß (R^2)	Standardfehler SF
1989	1 m	66	25.5.	29.09.	mehrtägig/Vegetationsperiode	$0,939x + 1,313$	0,924	3,387
1989	0 m	64	25.5.	26.09.	mehrtägig/Vegetationsperiode	$0,961x + 1,382$	0,928	3,462
1990	1 m	132	01.01.	31.12.	außerhalb der Vegetationsperiode wöchentlich, während der Vegetationsperiode mehrtägig	$1,062x + 0,306$	0,977	2,929
1990	0 m	72	14.05.	09.10.	mehrtägig/Vegetationsperiode	$1,070x + 0,845$	0,913	3,153
1991	1 m	36	03.06.	14.10.	mehrtägig/Vegetationsperiode	$0,403x + 1,161$	0,952	6,854
1991	0 m	36	03.06.	14.10.	mehrtägig/Vegetationsperiode	$1,170x + 0,225$	0,950	7,065
1992	1 m	16	01.06.	11.10.	wöchentlich/Vegetationsperiode	$0,372x + 16,293$	0,757	10,14
1992	0 m	17	01.06.	11.10.	wöchentlich/Vegetationsperiode	$0,313x + 18,487$	0,660	14,917
1993	1 m	20	22.06.	11.10.	wöchentlich/Vegetationsperiode	$1,125x + 1,425$	0,946	6,136
1993	0 m	20	22.06.	11.10.	wöchentlich/Vegetationsperiode	$1,119x + 3,044$	0,930	7,050
1994	1 m	22	25.05.	24.10.	wöchentlich/Vegetationsperiode	$1,122x + 0,665$	0,898	8,115
1994	0 m	22	25.05.	24.10.	wöchentlich/Vegetationsperiode	$1,10x + 2,456$	0,816	10,619

Tab. 5.1.1.2:

Über verschiedene Ausgleichsverfahren (vgl. Tab. 5.1.1.1) ermittelte Jahresniederschlagssummen der Station Haggen (LYST) im Vergleich mit den gemessenen Werten der Station St. Sigmund der TIWAG.

Jahr	St. Sigmund (gemessen)	Haggen *) (berechnet)	Haggen **) (berechnet)	Haggen			
				Winter (berechnet)	Vegetations- periode (gemessen)	Spätherbst (berechnet)	Jahres- niederschlag ^{o)}
1989	883,2	1053,9	991,2	202,6	632,6	632,6	935,5
1990	959,4	1070,7	1070,7		1059		1059
1991	912,8	547,6	1017,2	282,9	508,6	207,3	998,8
1992	969	2953,5	1085,1	228,7	457,4	261,8	947,6
1993	962,8	1430,4	1070,7	394,2	548,8	173,0	1116,0
1994	856,1	1069,2	1069,2	364,0	564,7	132,0	1060,7

*) berechnet aus der für das jeweilige Jahr erstellten Regressionsbeziehung zwischen Haggen und St. Sigmund (vgl. Tab. 5.1.1.1)

**) berechnet aus der für die Niederschläge im Jahr 1990 ermittelten Ausgleichskurve (vgl. Tab. 5.1.1.1)

o) Als Basis für die Rekonstruktion der Niederschläge außerhalb der Vegetationszeit verwendet

Abb. 5.1.1.3 a - c:

Zusammenhang zwischen dem Niederschlag in Haggen (Totalisator in 1 m Höhe) und der Meßstation der TIWAG in St. Sigmund im Sellrain für die Jahre 1989 bis 1991.

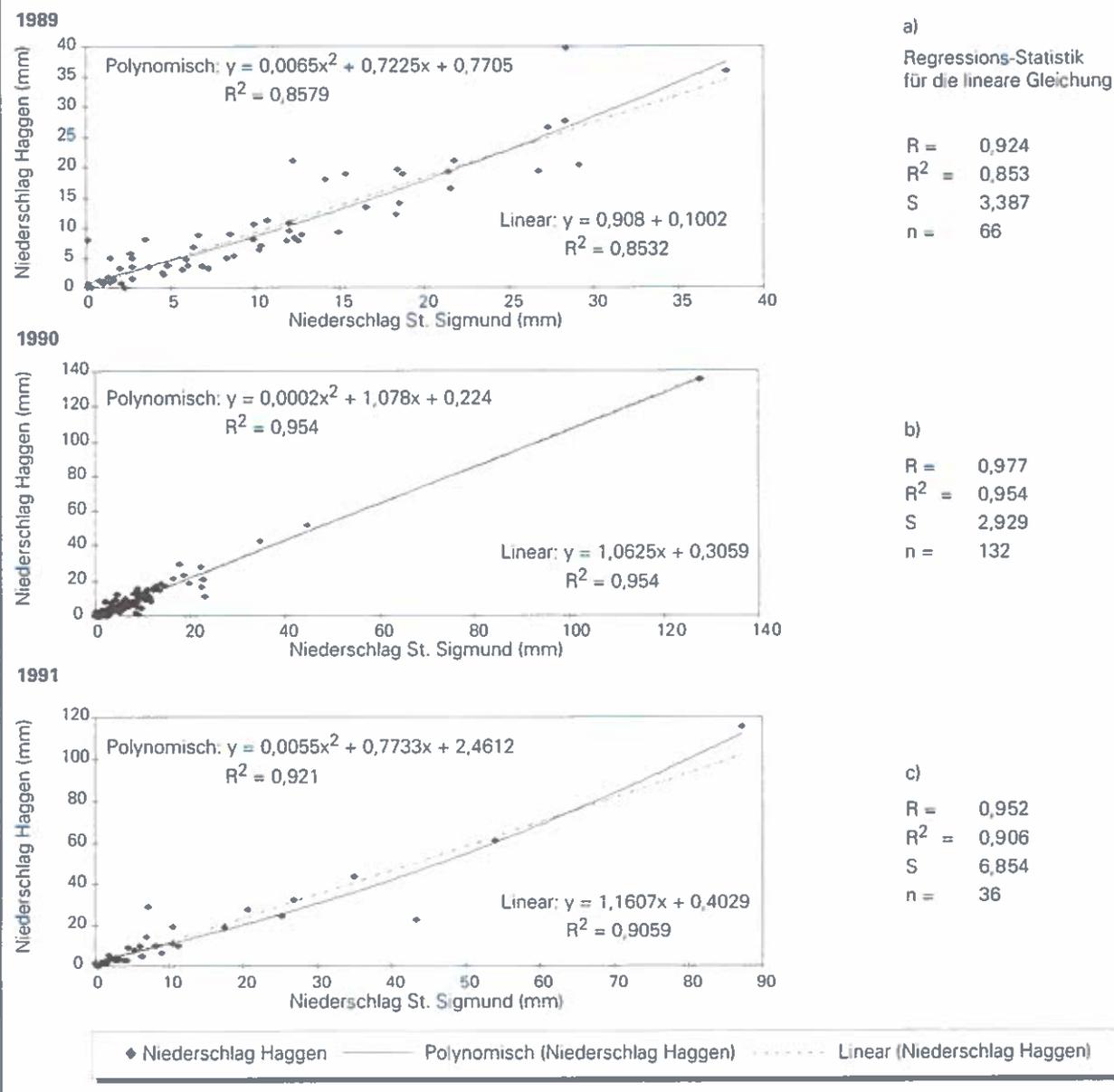
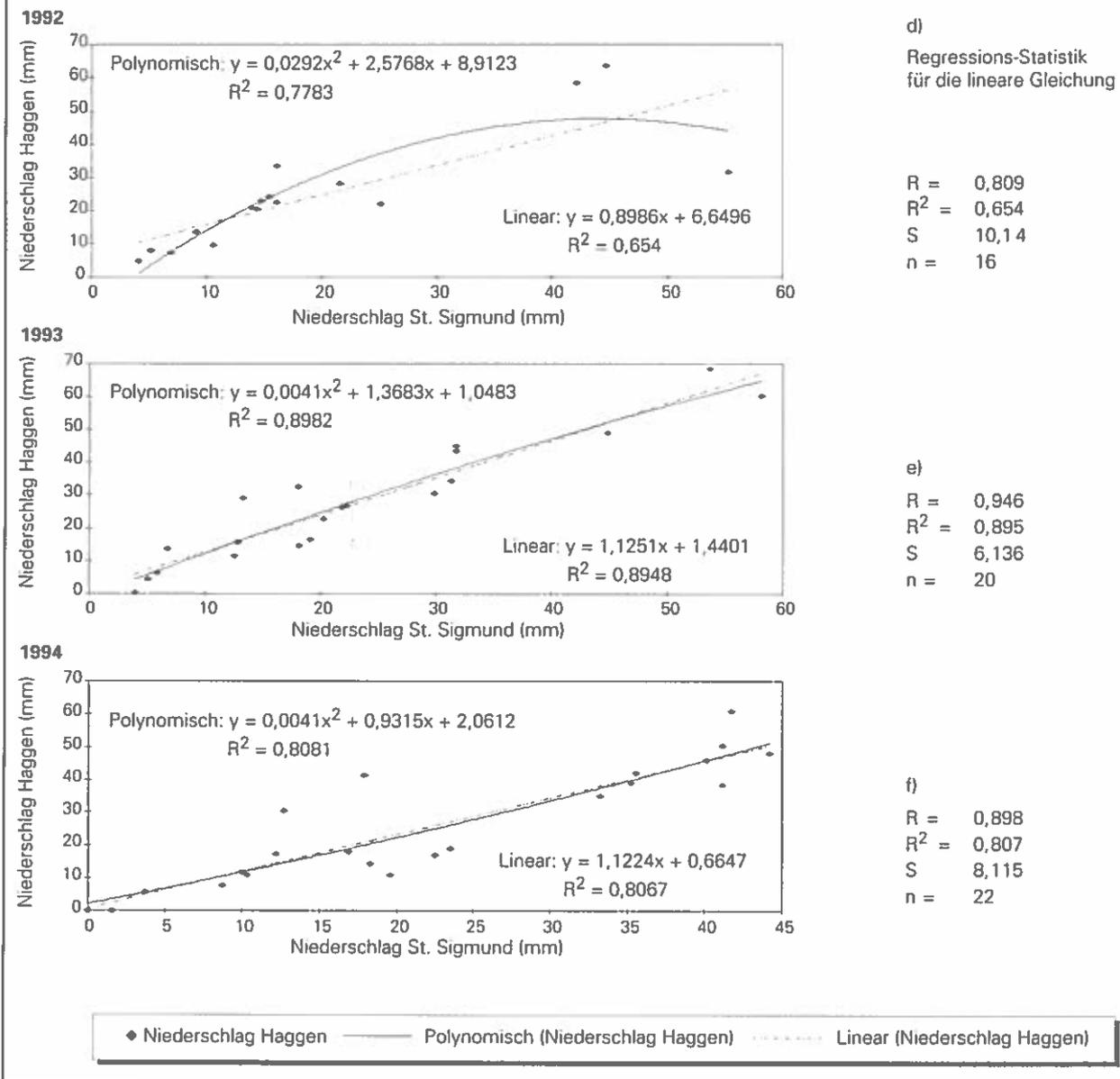


Abb. 5.1.1.3 d – f: Zusammenhang zwischen dem Niederschlag in Haggen (Totalisator in 1 m Höhe) und der Meßstation der TIWAG in St. Sigmund im Sellrain für die Jahre 1992 bis 1994.



Für jedes Meßjahr wurden neben linearen Regressionsbeziehungen auch polynomische Ausgleichskurven berechnet (vgl. Abb. 5.1.1.3 a - g).

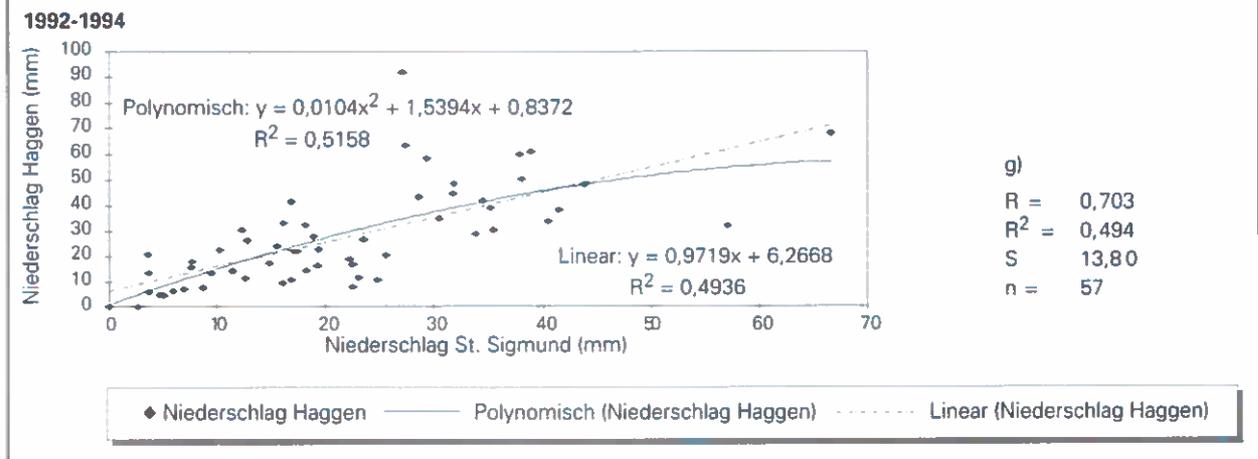
Für das Jahr 1989 zeigt sich eine gute Übereinstimmung zwischen linearer Regressionsgerade und der polynomischen Ausgleichskurve ($R^2 = 0,85$). Die beste Übereinstimmung zwischen Haggen und St. Sigmund wurden für 1990 gefunden. Bei hohem Stichprobenumfang (132 Messungen zwischen 1.1. und 31.12.) sind polynomische und lineare Funktion nahezu deckungsgleich, das Bestimmtheitsmaß am höchsten ($R^2 = 0,95$) und der Standardfehler mit 2,93

am niedrigsten. 1992 ergibt sich bei 36 Meßwerten eine enge Korrelation (polynomische Kurve: $R^2 = 0,92$, lineare Gleichung: $R^2 = 0,91$). 1992 konnten nur 16 Messungen durchgeführt werden. Dementsprechend lose ist der Zusammenhang. Polynomische Kurve und lineare Gleichung klaffen weit auseinander, R^2 erreicht mit 0,78 bzw. 0,65 den niedrigsten Wert der 6 Untersuchungsjahre, der Standardfehler ist gegenüber den anderen Jahren deutlich höher (SF = 10,14). Für das Jahr 1994 ergibt sich bei 22 Messungen im Beobachtungszeitraum 25.5 bis 24.10. eine annähernd gleich verlaufende lineare und poly-

Abb. 5.1.1.3 h:

Zusammenhang zwischen dem Niederschlag in Haggen (Totalisator in 1 m Höhe) und der Meßstation der TIWAG in St. Sigmund im Sellrain bei gemeinsamer Verrechnung der Meßwerte der Jahre 1992 bis 1994.

R^2 liegt mit 0,52 bzw. 0,49 deutlich unter den bei separater Betrachtung der Meßperioden ermittelten Bestimmtheitsmaßen.



nomische Trendline mit $R^2 = 0,81$. 1993 ist das Bild ähnlich, jedoch das Bestimmtheitsmaß mit dem Wert von 0,89 deutlich höher.

In einem zweiten Schritt wurde versucht, Ausgleichskurven über mehrere Jahre zu rechnen, diese Vorgangsweise erwies sich jedoch nicht als sinnvoll (Abb. 5.1.1.3 g). Der höheren Stichprobenanzahl stehen niedrige Bestimmtheitsmaße gegenüber (Polynomisch: $R^2 = 0,52$; linear: $R^2 = 0,49$). Weiters ist der Standardfehler gegenüber den Regressionen der Einzeljahre 1989 bis 1994 wesentlich höher (SF = 13,8).

Es zeigt sich, daß über polynomische Funktionen nur für das Jahr 1992, dem Jahr mit der geringsten Anzahl an Beobachtungen, ein Genauigkeitsgewinn erzielt wird.

Basierend auf den Regressionsgleichungen für den Totalisator in 1 m Höhe an der Station LYST ergeben sich für die Jahre 1989 bis 1994 die in Tab. 5.1.1.2, vierte Spalte, angeführten Jahressummen. KRONFUSS (1997) gibt als das Jahresmittel des Niederschlages mit 1020 mm an (ermittelt mit Totalisator 1 m über dem Boden). Bei Verwendung der jeweils für die Jahre 1989 bis 1994 berechneten Ausgleichskurven ergeben sich Jahresniederschläge zwischen 547,6 mm im Jahr 1991 und 2953,5 mm (1992), damit wird der effektive Jahresniederschlag um fast 100% unter- bzw. 300% überschritten. Ursache dafür sind hohe Absolutglieder der Regressionsgleichungen (z.B. $b = 16,3$ im Jahr 1992), dadurch werden vor allem kleine Niederschlagsereignisse quantitativ deutlich überschätzt.

Verwendet man die (lineare) Regressionskurve des Jahres 1990 (vgl. Abb. 5.1.1.3 b, Tab. 5.1.1.1) auch

für die Berechnung der Niederschläge in Haggen der Jahre 1989 bzw. 1991 bis 1994 erhält man die in Tab. 5.1.1.2, 4. Spalte, angeführten Werte, die wesentlich besser mit den experimentell ermittelten Angaben von KRONFUSS (1997) übereinstimmen.

Für die Ermittlung der saisonalen Niederschläge bzw. der Jahressummen wurde daher folgender Berechnungsmodus gewählt:

Zum gemessenen Niederschlag während der Meßperiode wurde der über die Ausgleichskurve des Jahres 1990 berechnete Niederschlag außerhalb der Meßperiode addiert (Tab. 5.1.1.2, Spalten 5 bis 8). Missing Values sind ebenfalls über die Beziehung für das Jahr 1990 geschätzt. Für die Jahre 1989 bis 1991 und 1994 liegt N damit geringfügig unter den mit der Regressionsbeziehung für das Jahr 1990 errechneten Werten. Für 1992 liegt er mit 947,6 mm deutlich darunter. Dies primär wegen der niedrigen gemessenen Effektivregenmenge von 457,4 mm im Zeitraum 1.6. bis 11. Oktober 1992. 1993 liegt der berechnete Wert um 45,3 mm über dem rein rechnerisch ermittelten Wert.

5.1.2 Niederschlagscharakteristika der Vegetationsperioden 1989 – 1994

Den Niederschlagsdiagrammen in Abb. 5.1.1.5 a – f liegen, soweit vorhanden, die vor Ort mit dem Regenschreiber an der Station BASIS in 3 m Höhe gemessenen Niederschläge zugrunde. Der Ombrograph hat gegenüber dem Totalisator den Vorteil der Auflösung der Meßwerte nach Einzelereignissen und (mit eingeschränkter Genauigkeit) nach der Intensität des Niederschlages. In einer Reihe von Arbeiten wird auf den steigenden Fehler der Niederschlags-

messung mit zunehmender Höhe des Sammlers über Grund Bezug genommen (GRUNOV 1960, JAEGER 1984, SEVRUK 1985, KRONFUSS 1997). Es ist anzunehmen, daß mit dem Sammler in 3 m Höhe zumindest bei Beginn der gegenständlichen Untersuchung im Jahr 1989 geringere Niederschlagsmengen als mit dem Totalisator in 1 m Höhe auf der Station LYST gemessen wurden. KRONFUSS (1997) hat für die frei stehenden Totalisatoren an der Station LYST in 0 und 1 m Höhe einen Niederschlagsabsatz von 123% bzw. 112 % gegenüber dem in 3 m Höhe installierten Sammler (100%) an der Station BASIS ermittelt. Diese Vergleichswerte wurden jedoch zu einem Zeitpunkt berechnet, als der zur Reduktion des JEVONS-Effektes (vgl. GRUNOV 1960) mit einem Nipher-Ring versehene automatische Ombrograph noch deutlich über das Kronendach hinausragte. Im Herbst 1994 war der Nipher-Ring bergseitig bereits von den Bäumen überwachsen. Aufgrund der enormen Zuwachslleistungen (mittleres jährliches Terminaltriebwachstum von 1989 bis 1984 bei Zirbe = 30 cm, bei Lärche = 26 cm, nach KRONFUSS 1997) erfolgte auch auf der Freifläche eine zunehmende Horizonteneigung. Man kann also davon ausgehen, daß sich das Verhältnis des Niederschlagsabsatzes in den beiden verschiedenen Sammlern zueinander deutlich verändert hat, bzw. stärker durch andere Effekte (Lage, räumliche Entfernung voneinander, Düseneffekte des Windes, etc.) als durch die Höhe über Grund beeinflußt wird. Je mehr sich der Bestand dem Niveau der Auffangfläche nähert, desto mehr nähert sich der Niederschlag über dem Bestand dem Freiland-Niederschlag an (JAEGER 1984).

LIEBSCHER (1975) beobachtete bei seinen Wasserhaushaltsuntersuchungen auf einem Fichtenstandort im Oberharz (Lange Bramke) eine jährliche Zunahme des Niederschlages um 46,2 mm als Folge des durch den Aufwuchs der Fichten beeinflussten Windfeldes.

Beim direkten Vergleich der in den Meßperioden 1992 bis 1994 in Haggen über Totalisatoren und den automatischen Regenschreiber an der Station BASIS gemessenen Niederschlagsmengen mit den Meßwerten der Station St. Sigmund der TIWAG (vgl. Abb. 5.1.1.4) ergaben sich noch zusätzliche Probleme:

► Der durch den JEVONS-Effekt bedingte Meßverlust erfolgt nicht nach allgemeingültigen bzw. linearen Zusammenhängen. Der Verlust wächst mit der Windgeschwindigkeit negativ progressiv (WEIHE 1974).

► Die vorliegenden Totalisatorwerte aus St. Sigmund weisen im Beobachtungszeitraum 1989 bis 1994 deutlich geringere Niederschläge als in Haggen aus (Vergleich 1992 bis 1994 – vgl. Abb. 5.1.1.4). In St. Sigmund ist lediglich bei vorherrschenden SW-Strömungen ein höherer Niederschlagsabsatz zu erwarten.

Im Juni 1992 ist der Ombrograph an der Station BASIS auf eine Dauer von zwei Wochen ausgefallen. Daher war die im Zeitraum 10.6. bis 7.7. registrierte Regenmenge mit 43 mm gegenüber den Totalisatoren (69 mm in 0 m und 67,5 mm in 1 m Höhe) deutlich niedriger. Im selben Zeitraum wurden jedoch in St. Sigmund die gewaltige Niederschlagsmenge von 169,5 mm gemessen. Diese Station wird nach Auskunft von Frau Mag. KLEBELSBERG von der TIWAG täglich von einem verlässlichen Beobachter betreut, die Daten werden zusätzlich auf ihre Plausibilität geprüft, daher ist die Vertrauenswürdigkeit dieser Daten im Prinzip höher einzuschätzen als jene des nur einmal wöchentlich gewarteten Regenschreibers am Standort Haggen BASIS.

Eine mögliche Erklärung für den stark unterschiedlichen Niederschlagsabsatz an den Standorten Haggen und St. Sigmund im Zeitraum 10.6. bis 7.7.1992 ist in konvektiven Niederschlägen zu sehen, Sommergewitter erzeugen eine hohe lokale Variabilität des Niederschlages (HAGER 1998, schriftliche Mitteilung; GATTERMAYR 1998, mündliche Mitteilung)

► Auch in den folgenden Meßperioden wies der Ombrograph immer wieder einen Mindergenuß auf, der die von KRONFUSS ermittelten Abweichungen um ein Vielfaches übertraf (z.B. 13.9.1993, 5.9.1994 – vgl. Abb. 5.1.1.4).

► Die Ombrographenwerte stehen unmittelbar nach der Wartung in enger Relation zu den mit Totalisatoren ermittelten Regenmengen. Bei (organisatorisch bedingten) längeren Wartungsintervallen (> 2 Wochen) ergaben sich jedoch deutliche Differenzen. Aufgrund der fehlenden Nachjustierung der Meßstreifen werden Niederschläge nicht mehr zum richtigen Zeitpunkt aufgezeichnet. Bei der späteren Auswertung ist eine exakte zeitliche Zuordnung nahezu unmöglich.

► Über einfaktorielle Varianzanalysen wurde überprüft, ob die mit den verschiedenen Meßmethoden ermittelten Niederschläge (Totalisatoren in 0 und 1 m Höhe in Haggen, Ombrograph in 3 m Höhe, Totalisator in St. Sigmund) denselben Mittelwert besitzen. Für 1992 und 1993 konnte ein

Abb. 5.1.1.4:

Vergleich der in den Meßperioden 1992 bis 1994 in Haggen über Totalisatoren und einen automatischen Regenschreiber gemessenen Niederschlagsmengen mit den Meßwerten der Station St. Sigmund der TIWAG.



Abb. 5.1.1.5:
 Tagessummen der Niederschläge an der Station BASIS in den Vegetationsperioden 1989 bis 1991, gemessen mit einem automatischen Regenschreiber - Bezugshöhe 3 m

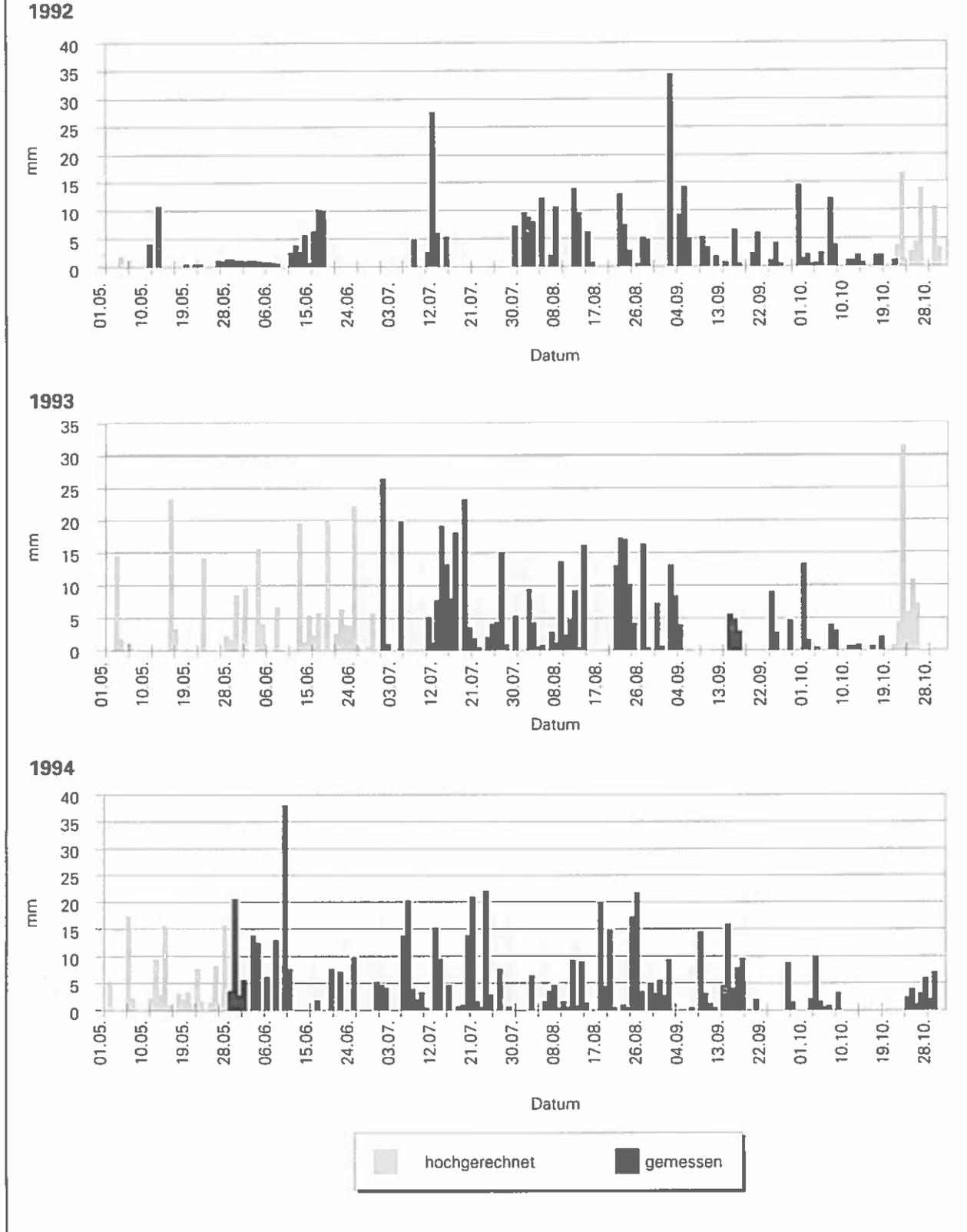
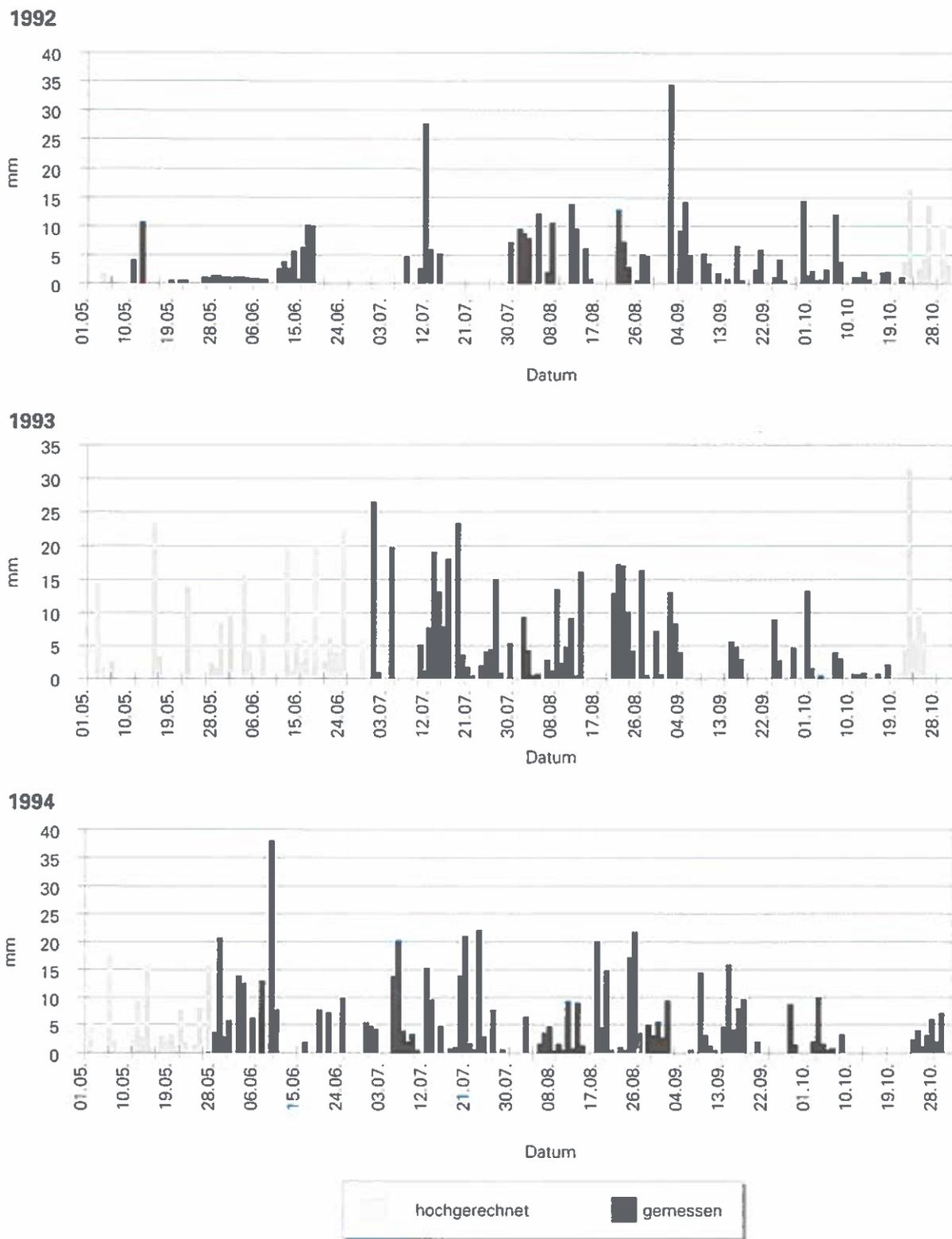


Abb. 5.1.1.5:

Tagessummen der Niederschläge an der Station BASIS in den Vegetationsperioden 1992 bis 1994, gemessen mit einem automatischen Regenschreiber - Bezugshöhe 3 m.



signifikanter Unterschied zwischen den mit den unterschiedlichen Methoden erhobenen Meßwerten nachgewiesen werden ($\alpha = 0,05$). 1994 ist der Unterschied auf dem 5% - Niveau nicht signifikant.

Wegen der Unsicherheit der mit dem automatischen Regenschreiber BASIS ermittelten Werte basieren die in den folgenden Kapiteln durchgeführten Berechnungen auf den Niederschlagsangaben des Totalisators in 1 m Höhe an der Station LYST. Fehlende Wochensummen zum Anfang und Ende der Vegetationsperiode sind aus Meßwerten der Station St. Sigmund über die Beziehung $y = 1,062x + 0,306$ hochgerechnet (vgl. Tab. 5.1.1.1). Die mit dem Ombrographen erhobenen Werte, ergänzt um die nach den Funktionsstörungen fehlenden Daten, wurden primär zur Charakterisierung der Niederschlagsverteilung in qualitativer Hinsicht, z.B. in Relation zum Gang der Saugspannung im Boden (Kap. 5.5) verwendet. Weiters sind sie Basis für die Berechnungen mit dem Modell BROOK90, da dieses Modell zumindest Tageswerte des Niederschlages als Eingangsgrößen benötigt (vgl. Kap. 5.6.4).

5.1.3 Extremwerte des Niederschlages in den Vegetationsperioden 1989 bis 1994

Die für die Vegetationsperioden des Versuchszeitraumes ermittelten Niederschlagssummen liegen bei etwa 600 mm (Tab. 5.1.3.1). Deutlich unterschritten wird dieser Wert in den Jahren 1990 (466,5 mm) und 1992 (354,5 mm). Die Monatssummen variieren über die Jahre beträchtlich, Monatsminima treten jedoch bevorzugt in den Monaten Mai, September und Oktober auf. KRONFUSS (1997) registrierte im Untersuchungsgebiet durchschnittlich an jedem zweiten Tag ein Regenereignis. Dieser Trend wird durch die vorliegenden Daten bestätigt. Maximale Tagesniederschläge sind in der Regel im Früh- und Hochsommer (Juni – August) zu beobachten (Tab. 5.1.3.1, Abb. 5.1.1.5). Extrem geringe Tagesniederschläge mit Werten um 0,1 mm sind sehr häufig.

Bei diesen geringen Niederschlagsmengen sind durch Verdunstungsverluste aus dem Auffangtrichter oder z.B. durch verzögert in die Niederschlagswippe abgeleiteten Niederschlag zusätzliche, nicht abschätzbare Fehlbeträge gegeben.

Tab. 5.1.3.1:

Summen und Extremwerte der Niederschläge in den Vegetationsperioden 1989 bis 1994. Die Meßwerte für Mai und Oktober wurden teilw. anhand der Beziehung $y = 1,062x + 0,306$ aus den Niederschlagsdaten der Station St. Sigmund der TIWAG berechnet.

Jahr	Monat	Anzahl der Ereignisse	Niederschlag Minimalwert (mm)	Niederschlag Maximalwert (mm)	Monatssumme (mm)	Periodensumme (mm)
1989	Mai	16	0,1	9,7	43,5	
	Juni	15	0,1	24,0	177,2	
	Juli	8	0,1	25,7	169,8	
	Aug.	15	0,1	14,4	82,9	
	Sept.	16	1,2	19,1	94,2	
	Okt.	23	0,5	10,0	35,3	602,9
1990	Mai	19	0,1	6,7	49,4	
	Juni	21	0,1	16,2	129,8	
	Juli	12	0,3	36,9	102,8	
	Aug.	19	0,1	16,7	64,6	
	Sept.	22	0,1	16,7	49,6	
	Okt.	14	0,3	16,2	70,4	466,5
1991	Mai	25	0,2	15,8	117,9	
	Juni	20	0,1	30,1	118,3	
	Juli	21	0,1	45,1	207,8	
	Aug.	18	0,1	25,0	90,9	
	Sept.	10	0,1	23,4	39,8	
	Okt.	9	0,3	9,8	31,0	605,6
1992	Mai	16	0,1	10,4	21,8	
	Juni	15	0,2	9,9	42,0	
	Juli	8	0,1	27,3	60,4	
	Aug.	15	0,1	13,5	99,7	
	Sept.	16	0,1	34,0	104,3	
	Okt.	23	0,1	11,7	26,5	354,5
1993	Mai	10	1,5	23,0	79,8	
	Juni	17	0,4	22,0	122,6	
	Juli	20	0,2	26,1	174,6	
	Aug.	20	0,1	17,0	144,9	
	Sept.	13	0,1	12,8	53,1	
	Okt.	18	0,1	13,0	83,2	658,2
1994	Mai	21	0,5	20,3	125,5	
	Juni	12	1,5	37,5	122,4	
	Juli	20	1,5	21,7	141,4	
	Aug.	23	0,1	21,3	129,7	
	Sept.	15	0,1	15,4	80,1	
	Okt.	13	0,2	9,4	38,6	637,6

5.2 Bestandesniederschlag am Standort ZNF

5.2.1 Einfluß von Intensität, Niederschlagsmenge und -dauer auf den Bestandesniederschlag

Der Niederschlagsdurchlaß im Versuchsbestand in den Beobachtungsperioden 1992 bis 1994 sowie bei den 8 im Jahr 1991 simulierten Starkregenereignissen variierte in Abhängigkeit von den Intensitäten der Niederschlagsereignisse, deren Dauer und zeitlichen Abfolge in enormem Maße.

Der Bestandesniederschlag steigt mit zunehmender Niederschlagsmenge bzw. fortschreitender Kronenbenetzung überproportional an (WEIHE 1968, WEIHE 1976, RAKEI et al. 1992). Daher wurden die mit dem automatischen Schreiber registrierten Niederschlagsmengen nach Ihrer Dauer und den Spitzenintensitäten (größte Niederschlagsmengen bei kurzer Niederschlagsdauer) analysiert. Die Intensitätscharakteristik für 1993 und 1994 ist aus Tab. 5.2.1 ersichtlich.

1993 (Abb. 5.1.1.5 und Tab. 5.2.1)

Kontinuierliche Aufzeichnungen über die gefallenen Niederschlagsmengen standen erst mit 2.7. zur Verfügung. Die beobachteten Spitzenintensitäten waren sehr gering, nur in einem Fall war $I > 4$ mm/h (8.8. bis 9.8.), in der Periode von 13.8. bis 23.8. wurden bei einer Regendauer von 845 min eine rechnerische Intensität von 3,8 mm/h ermittelt. Aufgrund der kurzen Dauer der vereinzelt auftretenden Starkregen (Definition nach GUTMANN 1948), beim ergiebigsten Ereignis wurden 7,2 mm in 25 min gemessen, dies entspricht einer rechnerischen Intensität von 17,3 mm/h, konnte kein Zusammenhang zwischen der Intensität der Niederschläge und dem Kronendurchsatz ermittelt werden. Auffallend war die extrem lange Dauer der unergiebigsten Niederschläge. So regnete es zwischen 23.8. und 25.8. 1355 min lang, das sind 22,5 Stunden Regenniederschlag innerhalb von 48 Stunden bei einer durchschnittlichen Intensität von 1,2 mm/h. Von 27.8. bis 29.8. fielen in 48 Stunden bei einer Regendauer von 1845 min (30,75 h) 15,8 mm Regen, das entspricht einer durchschnittlichen Intensität von 0,5 mm/h.

1994 (Abb. 5.1.1.5 und Tab. 5.2.1)

Die Beobachtungen erstreckten sich in diesem Jahr auf den Zeitraum von 31.5. bis 8.10. Gleich in der ersten Meßperiode wurde die höchste Niederschlagsmenge pro Zeiteinheit, 11,8 mm in 25 min, registriert. Trotz dieses Wolkenbruches kurzer Dauer lag die stündliche Intensität dieser Regenperiode bei nur

Tab. 5.2.1:
Niederschlag - Spitzenregen und deren Dauer in den Meßperioden 1993 und 1994.

Jahr	Meßintervall	Dauer des Niederschlages gesamt (min)	Dauer des Spitzenregens (min)	Niederschlag Spitzenregen (mm)	Durchschnittliche Intensität (mm/h)
1993	02.06. - 06.07.	620	25	7,2	2,5
	13.07. - 16.07.	1895	65	3,1	1,1
	16.07. - 18.07.	640	15	4,5	2,9
	19.07. - 23.07.	1600	15	2,2	1,1
	25.07. - 26.07.	730	75	4,5	1,6
	26.07. - 29.07.	915	220	8	1,1
	31.07.	475	475	5	0,6
	02.08. - 06.08.	385	5	0,6	2,1
	08.08. - 09.08.	40	25	2,4	4,4
	10.08. - 11.08.	920	115	3,85	1,0
	13.08. - 23.08.	845	5	2,8	3,8
	23.08. - 25.08.	1355	60	3,8	1,2
	25.08. - 26.08.	415	5	0,5	0,4
	27.08. - 29.08.	1845	70	4,65	0,5
	31.08. - 01.09.	435	95	3,6	1,0
	03.09. - 05.09.	1735	15	0,8	0,8
	17.09. - 18.09.	390	10	0,6	0,8
	25.09. - 26.09.	805	5	0,2	0,8
	29.09.	45	25	1,5	1,5
	02.10. - 3.10.	935	120	4,25	0,9
08.10. - 9.10.	390	55	2	0,7	
1994	02.06. - 03.06.	1010	5	11,8	1,9
	06.06. - 10.06.	2494	75	10,4	1,2
	16.06. - 19.06.	354	240	7,3	1,5
	20.06. - 24.06.	1405	105	9,2	0,7
	29.06. - 01.07.	524	50	3,75	1,5
	04.07. - 09.07.	1350	20	8,5	2,5
	12.07. - 18.07.	605	10	2,2	3,5
	18.07. - 24.07.	2208	280	21,7	1,6
	25.07. - 26.07.	250	5	0,25	1,8
	01.08. - 07.08.	770	85	3,15	1,1
	08.08. - 14.08.	1195	10	0,3	1,0
	17.08. - 29.08.	4075	10	1,2	1,3
	30.08. - 01.09.	838	5	1,3	1,1
	08.09. - 10.09.	784	49	2,45	1,3
	12.09. - 17.09.	2719	20	2,8	0,8
	19.09. - 26.09.	410	105	1,05	0,5
	27.09. - 02.10.	435	10	1,55	1,2
03.10. - 08.10.	1040	10	0,25	1,0	

1,9 mm (vgl. Tab. 5.2.1). Ähnlich wie im Vorjahr dominierten landregenartige Ereignisse langer Dauer und mit geringen Niederschlagsmengen. So wurden zwischen 18.7. und 24.7. (144 Stunden) eine Effektivregendauer von 36,8 Stunden bei einer durchschnittlichen Intensität von 1,6 mm/h ermittelt. Nur

bei zwei Ereignissen (4.7. - 9.7., 12.7.-18.7.) wurden Intensitäten über 2 mm/h gemessen.

Es überwiegen die landregenartigen Niederschläge, Starkregen hoher Intensität sind eher selten. In den Vegetationsperioden 1989 bis 1994 wurden nur dreimal Tagesniederschläge über 35 mm gemessen (Abb. 5.1.1.5; 9.6.1994, 26.7.1991, 11.7.1990).

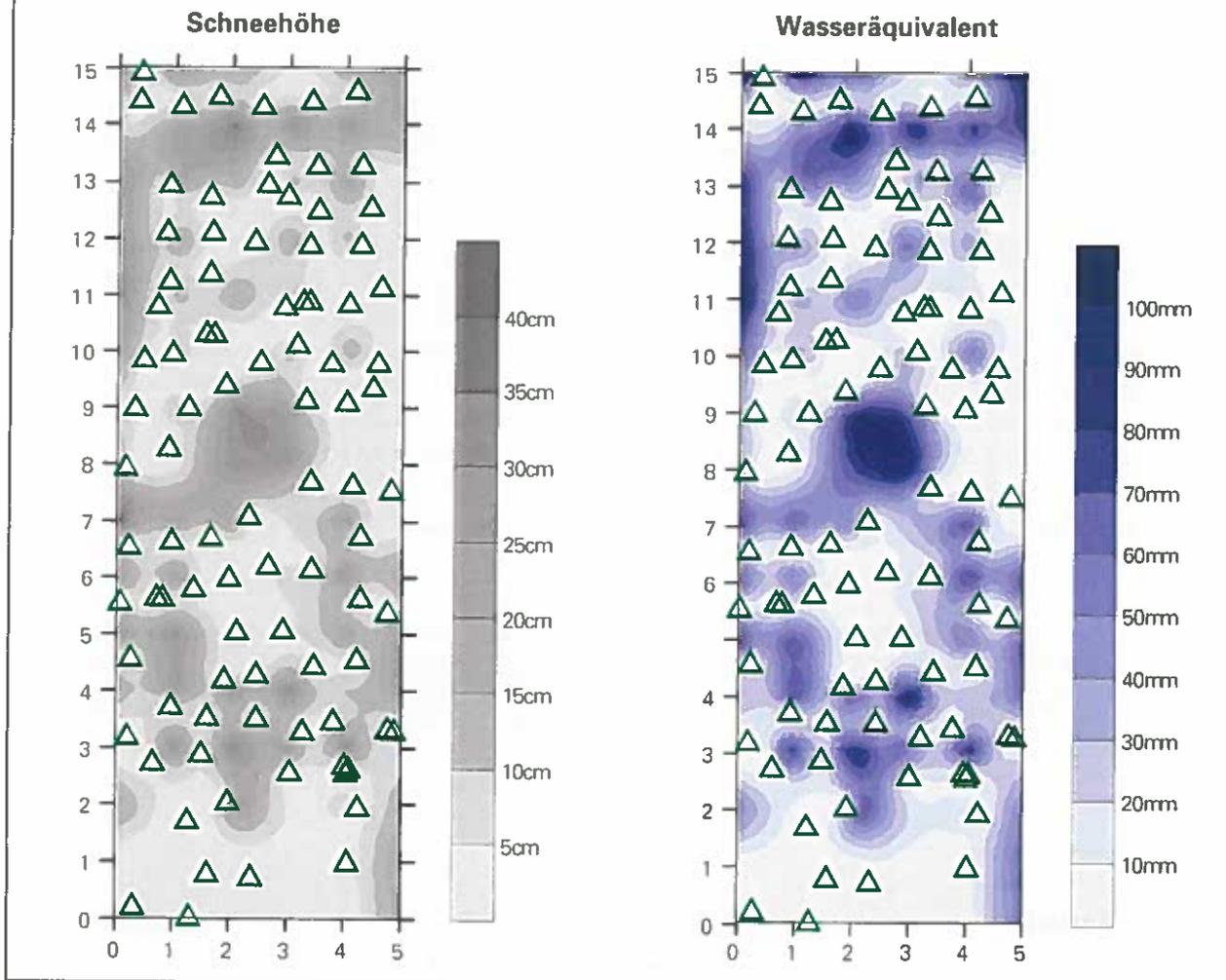
5.2.2 Schneeniederschlag – räumliche Verteilung

Die Quantifizierung der räumlichen Schneeverteilung im Bestand ZNF zeigt eine deutliche Konzentration in den Bestandeslücken. Hier wurden die höchsten Schneehöhen und Wasseräquivalente registriert (Abb. 5.2.2). Weitere Konzentrationen ergeben sich am Rand eng stehender Baumgruppen. Am 28. Februar 1992 betrug die maximal gemessene Schneehöhe im Bestand 40 cm. Insbesondere die besonnten Bestandesränder und der Kronenraum

unter dicht stehenden Gruppen waren bereits schneefrei. Die Beobachtungen decken sich mit den Aussagen von IN DER GAND (1978), wonach die Schneeablagerung im Bestand nur im Bereich der Baumkrone wesentlich beeinflusst wird. Im inneren Teil der Kronenprojektionsfläche wird weniger Schnee abgelagert als in der Umgebung, die Schneeverteilung ist unregelmäßig, um die Baumstämme entstehen schneearme bis schneefreie Kolke in der Schneedecke. Beim Einzelbaum nimmt die Schneehöhe i.d.R. vom Stamm gegen den Kronenrand zu. Zu ähnlichen Ergebnissen kamen IMBECK und OTT (1987) in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald. STADLER et al. (1998) stellten keine Abhängigkeit der zeitlichen Verteilung und Dauer von winterlichen Interzeptionsereignissen von der Lufttemperatur fest. Der Hauptgrund für das Verteilungsmuster war die Globalstrahlung.

Abb. 5.2.2:

Räumliche Verteilung der Schneehöhen (in cm) und Wasseräquivalente (in mm) auf der Versuchsfläche ZNF am 28. Februar 1992. Die grünen Dreiecke (D) kennzeichnen den Standort der koordinativ eingemessenen Bäume.



Bei Schneefallereignissen mit nachfolgender intensiver Einstrahlung konnte sich eine voll beladene Baumkrone innerhalb von sechs bis acht Stunden vollständig entladen. Nach STADLER et al. sind Verluste durch Sublimation und Verdunstung während solcher Ereignisse vernachlässigbar. KRONFUSS ermittelte für das südexponierte Versuchsfeld in Haggen während der Vegetationsperiode eine mittlere effektive Tagessumme der Globalstrahlung von 14,64 MJ/m²/d (350 cal/m²/d - KRONFUSS und STERN 1978). Diese steht einer mittleren, örtlich maximal möglichen Globalstrahlungs-Tagessumme von 28,16 MJ/m²/d (673 cal/m²/d) gegenüber. Aufgrund des hohen Strahlungsgenusses, auch im Winterhalbjahr, geht die Entladung der Kronen rasch vor sich, daher erschien eine Quantifizierung der winterlichen Interzeptionsverluste über einen Modellansatz, wie z.B. von STROBEL (1978) für Fichtenbestände des Alptales (CH) vorgeschlagen, nicht sinnvoll. Zudem weisen die Winterniederschlagsdaten für die Berechnungen nicht die entsprechende Genauigkeit auf.

Aus den in den Jahren 1989 bis 1992 jeweils bereits im Mai begonnenen Tensiometermessungen zeigt sich jedoch, daß bei Meßbeginn kaum Wasserspannungen über 500 hPa auftraten (vgl. Abb. 5.5.2 a-d). Die verzögerte Ausaperung im Bestand in Kombination mit der ausgeglichenen Niederschlagsversorgung (KRONFUSS 1997) verhindern Wasserstreß zu Beginn der Vegetationsperiode.

5.2.3 Räumliche Verteilung des Regenniederschlags im Bestand

Aus Untersuchungen von BRANDT (1989) über die Größenverteilung durchfallender Tropfen unter Kronendächern geht hervor, daß die Tropfengröße des Bestandesniederschlags von der Intensität des Niederschlags nicht beeinflusst wird. Es wird daher angenommen, daß der Bestandesniederschlag bei natürlichen Niederschlägen (vorwiegend niedrige

Intensitäten) und simulierten Starkregen (hohe Intensitäten) vergleichbar ist.

Die Auswertung der in den Sammelbehältern quantifizierten Niederschläge nach Minima und Maxima ergibt folgendes Bild (vgl. Tab. 5.2.3.2 und räumliche Situierung der Behälter - Abb. 4.1.3).

5.2.3.1 Niederschlagsverteilung bei simulierten Starkregen im Jahr 1991

Bei den Berechnungen zeigte sich eine Häufung der Niederschlagsmaxima bei Behälter Nr. 1 (Bh1) und Bh16. Im Bereich von Bh16 ragten die Bäume etwas über die Sprühdüse hinaus, dadurch dürfte zumindest eine Düse direkt in die Krone des Baumes geregnet haben, was in diesem Bereich zu einem verstärkten Niederschlagsabsatz führte. Die Maxima bei Bh1 dürften ebenfalls dem Direkteintrag aufgrund der Randlage zuzuschreiben sein (vgl. Tab. 5.2.3.2).

5.2.3.2 Räumliche Verteilung der natürlichen Niederschläge in den Jahren 1992 bis 1994 (vgl. Tab. 5.2.3.2)

Mit Ausnahme von Bh12 waren alle Sammelrinnen vollständig überschirmt. Bh12 weist aufgrund seiner Lage in einer nur teilweise überschirmten Lücke die höchste Anzahl an Maxima auf. Die Konzentration der Minima um Bh2 bis Bh4 dürften ihre Ursache in der massiven Überschirmung durch die größte Zirbe in diesem Bereich (Baum Nr. 4, Höhe 1992: 6,10 m) haben, welche auch mit einem Kronendurchmesser von 3,15 m die größte Ausladung aufweist.

Bh1 ist durch die Randlage etwas begünstigt. Bh6 wird nur mehr randlich von Zirbe Nr. 4 überschirmt, der Behälter liegt in deren Traufbereich. Bh4 und Bh5 werden von Baum Nr. 4 nicht mehr direkt beeinflusst, sie waren unter mitherrschenden bzw. unterdrückten Individuen postiert.

LOUSTEAU et al. (1992) und RAKEI et al. (1992) weisen darauf hin, daß Sammelfehler primär durch die

Tab. 5.2.3.2:

Verteilung der Maxima und Minima des Kronendurchlasses im Bestand nach ihrer Häufigkeit (Bh = Sammelbehälter).

	Jahr	n	Bh Nr.																	
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Max.	1991	8	3	1								1						3		
	1992	15				2		5						7	1					
	1993	26	1			2	2	8	2					10	1					
	1994	19	3			1	2	4						9						
Min.	1991	8			1	1	1									2				3
	1992	15		5	6					1				1	1		1			
	1993	26		6	12	8														
	1994	19		3	11								1	2	1					1

Kronenstruktur bzw. den Deckungsgrad verursacht werden. GASH et al. (1980) positionierten die Regensammler nach jedem Niederschlagsereignis neu, um systematische Sammelfehler zu vermeiden. Eine wiederholte Änderung der Sammleranordnung am Standort ZNF war jedoch aus den in Kap. 4.4.2 angeführten Gründen unmöglich, dadurch liegen auch zwangsläufig systematische Meßfehler vor.

5.2.4 Komponenten des Bestandesniederschlages in den Jahren 1991 - 1994

Simulierte Starkregen 1991

Kronendurchlaß

(K_D - Tab. 5.2.4.1 und Abb. 5.2.4.1 a)

Bei den Berechnungen am 19.7. mit Intensitäten von 26,9 und 28,1 mm/h lag der Kronendurchlaß bei 60,1% bzw. 63,5%. Auffallend die hohe Variationsbreite, minimalen K_D -Werten von 28,7% bzw. 27% standen 132,3% bzw. 161,3% als Maxima gegenüber (vgl. Tab. 8.3 a im Anhang). Bei allen Berechnungen versickerte der gesamte K_D im Boden, es wurden weder Oberflächen- noch Zwischenabfluß beobachtet.

Besonders hohe maximale Durchlaßmengen wurden an den Behältern Nr. 1, 2 und 11 beobachtet, Behälter Nr. 17 wies i.d.R. den geringsten Durchlaß auf. Die durchschnittliche Abweichung vom Mittelwert war beim ersten Versuch am 6.8. am größten ($s = 20,4$, $s^2 = 417,2$). Die geringste Abweichung vom Mittelwert, allerdings bei geringerem Stichprobenumfang ($n = 15$), wurde beim ersten Versuch am 23.7. beobachtet ($s = 6,8$, $s^2 = 46,0$).

Das Mittel des K_D über die 8 simulierten Starkregen betrug 62,4%. Im Durchschnitt wurden 16,2% des Niederschlages als minimaler, 155 % als maximaler K_D quantifiziert. Es ist ein Anstieg der Standardabweichung (s) vom Mittelwert mit zu-

nehmender Niederschlagsmenge und Dauer der Beregnung zu beobachten.

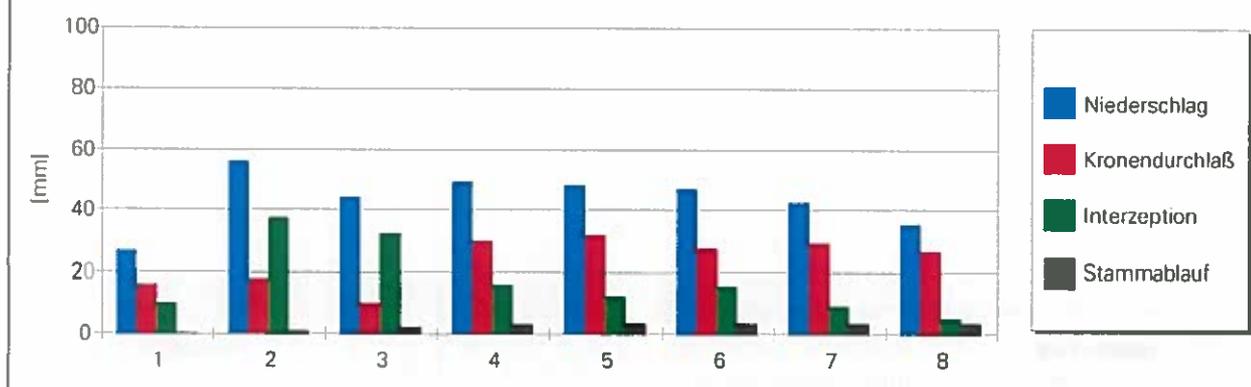
Interzeption

(Tab. 5.2.4.1, Abb. 5.2.4.1a)

Bei den Versuchen am 19.7. und 23.7. mit 56,3 mm bzw. 44,4 mm Niederschlag in 0,5 h wurden mit 10,3 und 9,93 mm die höchsten Interzeptionsbeträge gemessen (38,3% bzw. 44,7% des aufgebrauchten Niederschlages). Als mögliche Ursache dieser hohen Werte sind böige Winde während der Versuchsdurchführung anzusehen. Dadurch wurde ein Teil des Niederschlages außerhalb der Versuchsfläche verfrachtet (vgl. Abb. 4.2), die tatsächlich auf den Bestand gefallene Niederschlagsmenge also unterschätzt. Das genaue Ausmaß der Abdrift war aufgrund der kurzfristig stark variierenden Windrichtung und Windgeschwindigkeiten nicht quantifizierbar. Bei den folgenden Beregnungen mit vergleichbaren Intensitäten und Niederschlagsmengen waren die Windverhältnisse wesentlich günstiger, die Verluste durch Abdrift geringer (okulare Beurteilung). Andere verdunstungsfördernde atmosphärische Bedingungen wie z.B. hohe Lufttemperatur oder ein hohes Sättigungsdefizit der Luft spielen bei den Beregnungen aufgrund der kurzen Dauer des Versuches und der hohen Niederschlagsmengen nur eine untergeordnete Rolle. So betrug der von KRONFUSS (1997) im Zeitraum 1975 bis 1994 an der Station BASIS ermittelte maximale Wert der potentiellen Verdunstung nach PICHE 14,7 mm, bei einem Tagesmittel der Luftfeuchte von 48% und einem Tagesmittel der Lufttemperatur von 14,7°C (24. Juli 1980). Für den 19.7. 1991 gibt KRONFUSS eine potentielle Tagesverdunstung nach PICHE (nach UHLIG 1955) von 3,8 mm an. Aus den angeführten Werten geht hervor, daß die maximalen Verdunstungsmengen in der kurzen Zeitdauer des

Abb. 5.2.4.1 a:

Zi-Beregnungsfläche (ZNF): Niederschlag, Stammablauf, Kronendurchlaß und Interzeption für 8 simulierte Starkregen (1991).



Tab. 5.2.4.1:

Beregnungsfläche - Stammablauf, Kronendurchlaß und Interzeption bei simulierten Starkregen.

Datum	N (mm)	Dauer (h)	I (mm/h)	N _{St} (mm)	N _{St} in % N	K _D (mm)	K _D in % N	INT (mm)	INT in % N	N _B (mm)	N _B in % NS
19.07.	26,9	0,5	53,8	0,4	1,5	16,2	60,1	10,3	38,3	16,6	61,7
19.07.	28,1	0,5	56,2	1,1	1,9	17,8	63,5	9,2	32,7	18,9	67,3
23.07.	22,2	0,5	44,4	2,1	4,8	10,2	45,7	9,9	44,7	12,3	55,3
23.07.	49,3	1,0	49,3	3,2	6,6	29,7	60,3	16,3	33,1	33,0	66,9
24.07.	48,2	0,5	96,4	3,7	7,7	31,9	66,2	12,6	26,1	35,6	73,9
06.08.	47,0	0,5	94,0	3,8	8,1	27,7	58,9	15,5	33,0	31,5	67,0
06.08.	42,9	0,5	85,8	3,8	8,9	29,6	69,1	9,4	22,0	33,5	78,0
07.08.	35,4	1,0	35,4	3,8	10,8	26,5	74,9	5,0	14,2	30,4	85,8

Berechnung der Kenngrößen:

N (mm) = Niederschlag (mm)

I = Intensität in mm/h

N_{St} (mm) = Stammablauf (mm)

in % N = in Prozenten der aufgetragenen Niederschlagsmenge

K_D = Kronendurchlaß

Beregnungsversuches (0,5 h) mit ca. 0,5 mm anzusetzen sind. Ähnliche Größenordnungen geben KIRNBAUER (1993 - mündliche Mitteilung) und KRONFUSS (1999 - mündliche Mitteilung) an.

Stammablauf

(Tab. 5.2.4.1, Abb. 5.2.4.1a)

Bei den ersten drei Beregnungen waren nur sechs Sammler für den Stammablauf verfügbar. Daher waren mit Sicherheit nicht alle Durchmesserklassen repräsentiert. Erst ab 6.8. standen Sammelbehälter für 10 Bäume zur Verfügung. Dementsprechend lose ist der statistische Zusammenhang ($R^2 = 0,29$). Der höchste für den N_{St} errechnete Wert liegt bei 3,8 mm (3 Beregnungsversuche von 6.8. bis 7.8.), das entspricht auf die Versuchsfläche bezogen 8,1 bis 10,8 % des Gesamtniederschlags. Bei den Simulationen am 19. und 23.7. wurden die niedrigsten N_{St}-Werte registriert, 0,4 bzw. 1,1 mm (1,5 bzw. 1,9 % von N).

1992

Kronendurchlaß

(Tab. 8.3 b - Anhang, Tab. 5.2.4.3, Abb. 5.2.4.1 b)

Trotz des sehr dichten, bei okularem Anschätzen relativ einheitlich erscheinenden Kronendaches differiert der Durchsatz auf engstem Raum beträchtlich (vgl. Tab. 8.2 im Anhang). Auf dieses Phänomen weist schon HOPPE (1896) im Rahmen seines Werkes „Regenmessungen unter Baumkronen“ hin. In 7 von 15 Messungen weist Bh3, in 5 Fällen Bh2 den minimalen Durchlaß, Bh12 in 7, Bh6 in 5 Fällen den Maximalwert auf. Unabhängig von der absoluten Niederschlagsmenge und der -intensität variiert der in den 18 Sammelbehältern aufgefangene Kronen-

durchsatz im Extremfall zwischen 3% und 219% des gefallenen Niederschlages. Das mittlere Minimum des Kronendurchlasses über den Meßzeitraum liegt bei 16,8%, das mittlere Maximum bei 82,4%. Im

Tab. 5.2.4.2:

Korrelationsmatrizen der Interzeption und von Komponenten des Bestandesniederschlags für die simulierten Starkregen 1991 und die Meßperioden 1992-1994.

	Niederschlag	Kronendurchsatz	Interzeption	Stammablauf
1991 - Starkregen				
Niederschlag	1			
Kronendurchsatz	0,809	1		
Interzeption	0,883	0,440	1	
Stammablauf	0,539	0,809	0,153	1
1992				
Niederschlag	1			
Kronendurchsatz	0,975	1		
Interzeption	0,913	0,800	1	
Stammablauf	0,978	0,958	0,877	1
1993				
Niederschlag	1			
Kronendurchsatz	0,897	1		
Interzeption	0,824	0,490	1	
Stammablauf	0,898	0,951	0,535	1
1994				
Niederschlag	1			
Kronendurchsatz	0,825	1		
Interzeption	0,729	0,216	1	
Stammablauf	0,862	0,911	0,368	1
1991 - 1994				
Niederschlag	1			
Kronendurchsatz	0,897	1		
Interzeption	0,842	0,521	1	
Stammablauf	0,763	0,840	0,413	1

Durchschnitt erreichen 42,9% des Niederschlages den Boden (vgl. Tab. 8.3 b im Anhang).

Interzeption

(Tab. 5.2.4.3, Abb. 5.2.4.1 b)

Der niedrigste Interzeptionswert wird nicht, wie erwartet, in der Woche vom 22.9. bis 28.9.1992 mit der niedrigsten Niederschlagsmenge des Beobachtungszeitraumes 1992 (4,2 mm), sondern in der Woche vom 1.9. bis 7.9., mit der zweithöchsten 1992 gemessenen Niederschlagsmenge (61,3 mm) festgestellt. Zu einem hohen Ausmaß im Kronenraum zurückgehalten werden die Regenmengen bis 10 mm (bis 83,1 % des Niederschlages) mit Ausnahme der 4,2 mm zwischen 22.9. und 28.9. Am geringsten ist die Interzeption erwartungsgemäß in den niederschlagsreichsten Wochen zwischen 31.5. und 6.7.1992. Bei 68,3 mm N lag INT bei 22,9 mm (33,6% von N), zwischen 31.8. und 7.9. bleiben von 61,3 mm nur 18,1 mm (29,5 %) im Kronenraum gespeichert. Von einer Regenmenge von 390,9 mm während des Beobachtungszeitraumes, das entspricht immerhin fast 30 m² auf der Versuchsfläche, werden im Mittel 177,4 mm (45,4 %) in der Krone zurückgehalten.

Stammablauf

(Tab. 5.2.4.3, Abb. 5.2.4.1 b)

Der N_{St} schwankt zwischen 0,1 mm (0,9%) und 4,2 mm (6,1%) des Niederschlages. Er ist ebenfalls bei den Ereignissen unter 10 mm Gesamtniederschlag am geringsten. Die prozentuell höchsten N_{St} -Werte treten zwischen 20.7. und 3.8. bei Regenmengen, die etwas über dem Wochendurchschnitt (26,0 mm) des Beobachtungszeitraumes liegen, auf. Im Mittel wurden 6,3% des Regens als N_{St} quantifiziert.

Auch 1992 ist eine enge Korrelation zwischen Interzeption und N_{St} ($R = 0,877$), zwischen Kronendurchsatz und N_{St} ($R = 0,958$), sowie der Niederschlagsmenge und dem N_{St} ($R = 0,978$) zu beobachten (vgl. Tab. 5.2.4.2).

1993

Allgemeines

In diesem Jahr konnte die Meßanlage bereits mehrere Wochen früher als im Vorjahr (am 10.5.) in Betrieb genommen werden. Teilweise wurden die Meßbehälter in 3- bzw. 4-tägigem Rhythmus entleert. Unabhängig davon lag das Periodenmaximum des Kronendurchlasses mit 61,2 mm (in der Woche vom 6.7. bis 12.7.) gegenüber dem Vorjahr um 7,1 mm niedriger.

Kronendurchsatz

(vgl. Tab. 5.2.4.3, Abb. 5.2.4.1 b)

In Übereinstimmung mit HOPPE (1896), daß der im Kronenraum zurückgehaltene Niederschlag mit der Niederschlagsmenge kleiner wird, wurden bei geringeren Niederschlagsmengen in der Woche vom 29.6. bis zum 5.7. (26,8 mm) vergleichbare K_D -Werte (19,2 mm) gegenüber der Vorwoche ($N = 44,3$ mm bei einem K_D von 20,0 mm) ermittelt. Für diese Zeiträume stehen leider nur Totalisatormeßwerte zur Verfügung, eine qualitative Bewertung der Niederschlagsereignisse ist daher nicht möglich. Von 25.8. bis 27.8. wurde ein anderes Extrem beobachtet: Von der sehr geringen Niederschlagsmenge von 4,2 mm (Spitzenintensität 6 mm/h, durchschnittliche Intensität des Gesamtregens 0,4 mm/h, bei 415 min Dauer, vgl. Tab. 5.2.1) werden 79,2 % als K_D quantifiziert.

In einigen Behältern wurde überproportional viel Niederschlag aufgefangen, so überstieg z.B. bei Bh4 am 16.8., 25.8. und 20.9. der gemessene K_D die Menge des tatsächlich gefallenen Niederschlages (Tab. 8.1 - Anhang). Dieser aller Wahrscheinlichkeit nach durch böige Winde bedingte Effekt trat (mit Ausnahme der dreimaligen Häufung bei Bh4) nicht regelmäßig auf. ENGELITS et al. (1984) beobachteten eine Verlagerung des Kronendurchlasses vom Stammbereich zum windexponierten Teil des Kronendaches bei geringen Regenintensitäten und durchschnittlichen Windgeschwindigkeiten. Mit zunehmender Windstärke stieg N_B auf der windzugewandten Seite des Baumes überproportional an.

Im Durchschnitt wurde im Beobachtungszeitraum 1993 mit 310,5 mm von 579 mm Niederschlag im Beobachtungszeitraum gegenüber dem Vorjahr ein höherer K_D gemessen (1992: $K_D = 200,1$, das sind 42,9% von 410,76 mm Niederschlag in der Meßperiode - vgl. Tab. 8.3 c im Anhang)

Interzeption

(Tab. 5.2.4.3, Abb. 5.2.4.1 b)

Das Niederschlagsminimum von 0,05 mm wurde zwischen 4. und 6.10. gemessen. Dieser Regen wurde vollständig im Kronenraum zurückgehalten.

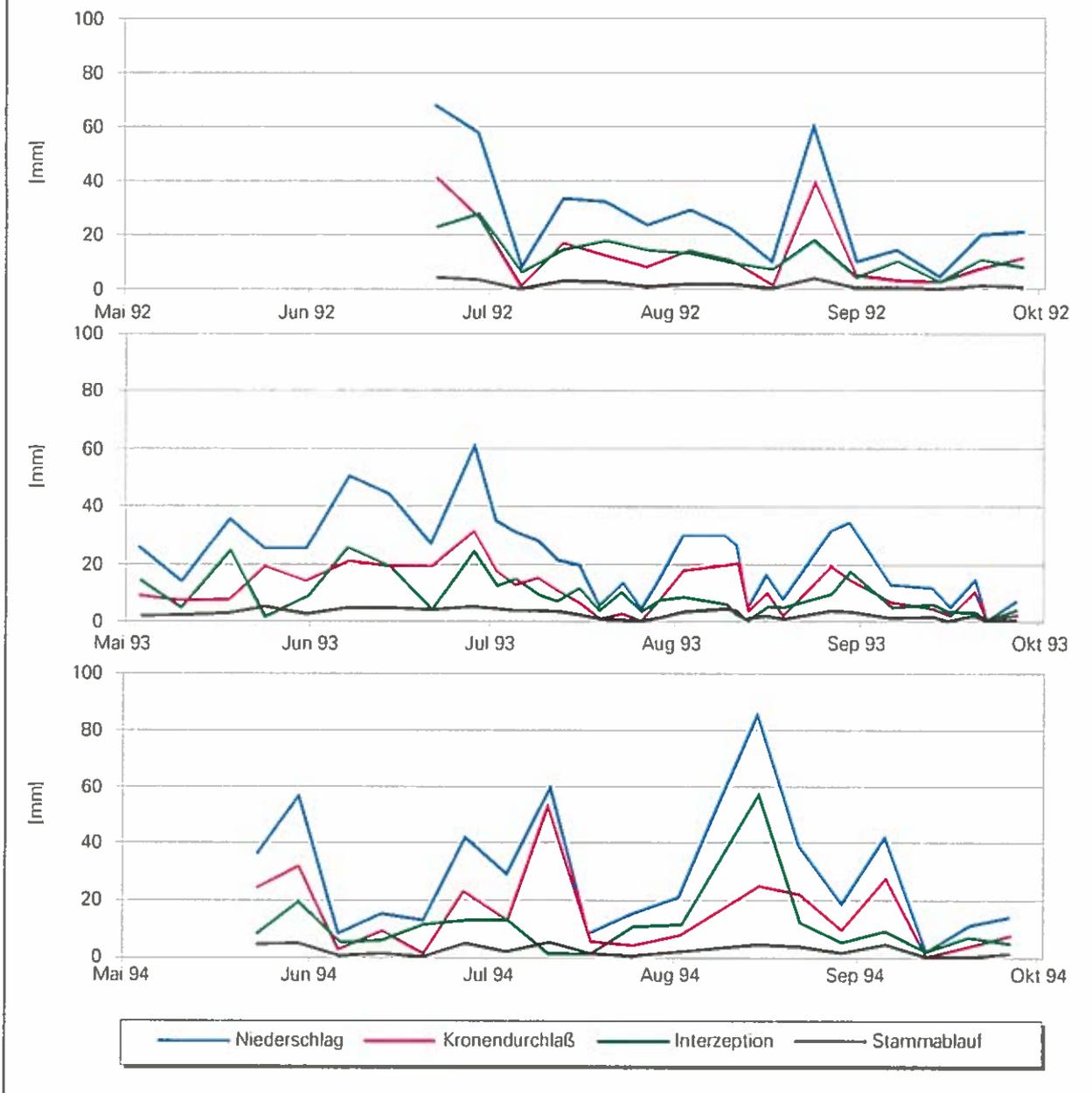
Die höchsten Interzeptionswerte wurden auch in diesem Jahr für Wochen mit niedrigen Niederschlägen geringer Intensität ermittelt. Lediglich die Periode zwischen 25.8. und 27.8. macht eine Ausnahme. Von der absoluten Regenmenge von 4,2 mm verblieben lediglich 0,2 mm (4,5%) im Kronenraum, der Rest ging passiv als K_D oder N_{St} auf den Boden. Der Spitzenregen dieser Periode ($INT =$

Tab. 5.2.4.3:

Zi-Berechnungsfläche ZNF Haggen - Stammablauf, Kronendurchlaß und Interzeption in den Meßperioden 1992-1994.

Datum	N mm	N _{St} (mm)	K _D (mm)	INT (mm)	N _B (mm)	N _{St} in % N	K _D in % N	INT in % N	N _a in % N
1992									
06.07.	68,3	4,2	41,1	22,9	45,3	6,1	60,3	33,6	66,4
13.07.	57,6	3,5	26,2	27,8	29,8	6,1	45,6	48,3	51,7
20.07.	7,7	0,1	1,2	6,4	1,3	0,9	16,0	83,1	16,9
27.07.	33,7	2,6	16,7	14,3	19,3	7,7	49,7	42,5	57,5
03.08.	32,0	2,3	12,2	17,5	14,5	7,2	38,1	54,6	45,4
10.08.	23,7	1,1	8,3	14,3	9,4	4,6	35,2	60,2	39,8
17.08.	28,9	1,8	14,0	13,0	15,9	6,4	48,5	45,1	54,9
24.08.	22,0	1,7	10,7	9,6	12,4	7,8	48,5	43,7	56,3
31.08.	9,2	0,4	1,5	7,3	1,9	4,2	16,4	79,4	20,6
07.09.	61,3	4,1	39,1	18,1	43,2	6,6	63,9	29,5	70,5
14.09.	9,6	0,7	4,8	4,2	5,4	6,9	49,6	43,5	56,5
21.09.	13,7	0,5	3,3	9,8	3,8	3,5	24,4	72,1	27,9
28.09.	4,2	0,2	2,3	1,7	2,5	5,1	54,1	40,8	59,2
05.10.	19,3	1,6	7,2	10,5	8,7	8,2	37,2	54,6	45,4
12.10.	20,8	1,1	11,4	8,3	12,5	5,3	54,8	39,9	60,1
Summe	390,9	24,7	188,7	177,4	213,5	6,3	48,3	45,4	54,6
1993									
17.05.	26,1	1,9	9,4	14,8	11,3	7,4	36,0	56,7	43,3
24.05.	13,8	2,0	7,2	4,6	9,2	14,7	52,2	33,1	66,9
01.06.	35,4	2,4	8,0	25,0	10,4	6,7	22,7	70,6	29,4
07.06.	25,7	4,6	19,6	1,5	24,2	17,9	76,3	5,9	94,1
14.06.	25,4	3,0	13,8	8,6	16,8	11,8	54,5	33,7	66,3
21.06.	50,8	4,8	20,7	25,2	25,5	9,5	40,9	49,7	50,3
28.06.	44,3	4,7	20,0	19,6	24,7	10,6	45,1	44,3	55,7
05.07.	26,8	3,3	19,2	4,3	22,5	12,5	71,5	16,0	84,0
12.07.	61,2	5,1	31,5	24,5	36,6	8,4	51,5	40,1	59,9
16.07.	34,6	4,6	17,7	12,3	22,3	13,3	51,1	35,6	64,4
19.07.	31,0	3,6	12,7	14,6	16,3	11,6	41,1	47,3	52,7
23.07.	28,0	3,7	15,0	9,3	18,7	13,2	53,7	33,1	66,9
26.07.	20,8	3,3	10,8	6,7	14,1	16,1	51,8	32,2	67,8
30.07.	19,4	2,1	6,2	11,1	8,3	11,1	31,7	57,2	42,8
02.08.	5,1	0,3	0,8	4,0	1,1	5,1	16,2	78,7	21,3
06.08.	13,7	0,6	2,7	10,4	3,3	4,2	19,6	76,2	23,8
09.08.	3,6	0,1	0,5	3,1	0,5	1,9	12,7	85,5	14,5
12.08.	15,2	1,4	6,6	7,1	8,0	9,5	43,5	47,0	53,0
16.08.	29,4	3,2	17,7	8,5	20,9	11,0	60,2	28,8	71,2
23.08.	29,7	4,3	19,8	5,6	24,1	14,5	66,6	18,9	81,1
25.08.	26,1	3,8	20,2	2,1	23,9	14,4	77,4	8,2	91,8
27.08.	4,2	0,7	3,3	0,2	4,0	16,3	79,2	4,5	95,5
30.08.	16,2	2,1	9,2	4,9	11,3	12,8	57,2	30,0	70,0
02.09.	7,3	0,8	2,0	4,5	2,8	11,1	27,4	61,5	38,5
10.09.	31,8	3,9	19,1	8,7	23,0	12,3	60,2	27,5	72,5
13.09.	34,5	3,0	14,2	17,3	17,2	8,7	41,1	50,2	49,8
20.09.	12,6	1,3	6,5	4,8	7,8	10,2	51,9	37,9	62,1
27.09.	11,2	1,2	4,5	5,5	5,7	10,9	39,9	49,2	50,8
30.09.	4,4	0,1	1,7	2,6	1,8	3,1	37,8	59,1	40,9
04.10.	14,4	1,8	9,9	2,6	11,7	12,6	69,0	18,4	81,6
11.10.	6,6	0,6	2,2	3,8	2,8	9,1	33,6	57,3	42,7
Summe	702,1	77,8	350,3	274,0	428,1	11,1	49,9	39,0	61,0
1994									
06.06.	36,5	4,8	23,7	7,9	28,5	13,1	65,2	21,8	78,2
13.06.	57,3	5,3	32,1	19,9	37,4	9,3	56,1	34,7	65,3
20.06.	8,8	0,9	2,8	5,1	3,7	10,6	31,5	57,9	42,1
27.06.	16,1	1,1	8,8	6,1	9,9	7,0	54,7	38,3	61,7
04.07.	12,9	0,2	1,3	11,4	1,5	1,5	9,9	88,6	11,4
11.07.	41,4	4,6	23,6	13,2	28,2	11,1	57,0	32,0	68,0
18.07.	29,2	2,0	13,9	13,3	15,9	6,9	47,5	45,6	54,4
25.07.	59,6	5,2	53,2	1,2	58,4	8,7	89,3	2,1	97,9
01.08.	7,5	0,7	5,5	1,4	6,1	8,8	72,8	18,4	81,6
08.08.	14,8	0,4	3,6	10,8	4,0	2,7	24,6	72,7	27,3
16.08.	20,5	1,6	7,2	11,7	8,8	7,7	35,3	57,0	43,0
29.08.	86,4	4,4	24,6	57,4	29,0	5,1	28,5	66,4	33,6
05.09.	38,8	4,0	22,2	12,5	26,2	10,4	57,3	32,3	67,7
12.09.	17,8	2,3	10,3	5,2	12,6	13,0	58,0	29,0	71,0
19.09.	41,6	4,9	27,8	9,0	32,6	11,7	66,7	21,6	78,4
26.09.	7	0,0	0,1	1,5	0,1	0,8	8,1	91,2	8,8
03.10.	1,2	0,6	3,5	7,1	4,1	5,0	31,4	63,6	36,4
10.10.	14,2	3	9	5,0	9,1	8,8	55,6	35,6	64,4
Summe	515,8	44,2	272,0	199,7	316,1	8,6	52,7	38,7	61,3

Abb. 5.2.4.1 b: Zi-Berechnungsfläche (ZNF): Niederschlag, Stammablauf, Kronendurchlaß und Interzeption für die Meßperioden 1992 bis 1994.



6 mm/h) war nur von kurzer Dauer, der restliche Niederschlag (3,7 mm) verteilte sich auf 410 min (vgl. Tab. 5.2.1). Es ist jedoch möglich, daß die tatsächlich gefallene Niederschlagsmenge durch den Regenschreiber unterschätzt wurde (Schreibfehler, erhöhte Abdrift durch Wind, etc.).

Von 702,1 mm N im Beobachtungszeitraum wurden 274 mm (39%) als Interzeption quantifiziert (Tab. 5.2.4.3).

Der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Komponenten des Niederschlages ist nicht so eng wie 1992 (vgl. Tab. 5.2.4.2). Die Punktwolke streut

stark um die Ausgleichskurven (Abb. 5.2.5.1). Eine der Hauptursachen dafür liegt in den stark unterschiedlichen Intensitäten von Niederschlägen gleicher Dauer. Auch ÇEPEL (1967) hat eine starke Schwankung der jährlich durch das Kronendach fallenden Niederschläge in Buchen-, Eichen- und Kiefernbeständen des Belgrader Waldes bei Istanbul beobachtet. Er führt meteorologische Bedingungen (Niederschlagshäufigkeit) als Gründe dafür an. HEUVELDOP (1973) ordnet der Verteilung der Niederschlagsintensitäten eine besondere Bedeutung zu, er stellte bei seinen Untersuchungen an einem 45-

jährigen Fichtenbestand fest, daß die relativen Verdunstungsverluste durch Interzeption in den Jahren mit hoher Regenintensität geringer sind.

Stammablauf

(Tab. 5.2.4.3, Abb. 5.2.4.1 b)

Die niederschlagsärmste Periode (6.8. bis 9.8.) mit 3,6 mm lieferte den niedrigsten N_{St} (0,1 mm bzw. 1,9 %). Der Höchstwert mit 17,9% wurde für die Periode vom 1.6. bis 7.6. mit 25,7 mm Niederschlag (liegt geringfügig über dem Periodenmittel von 21,9 mm) ermittelt. Von 702,1 mm Regen im Untersuchungszeitraum 1993 wurden 77,8 mm (11,1%) als N_{St} errechnet, das ist der höchste Wert in den drei Versuchsjahren. TEKLEHAIMANOT et al. (1991) belegten bei Untersuchungen über den Einfluß des Baumabstandes auf die Interzeption von 17-jährigen Sitka Fichte Beständen in Schottland deutlich einen linearen Zusammenhang zwischen Kronendurchlaß, Stammablauf und der Anzahl der Bäume pro ha.

Die statistischen Berechnungen für den gegenständlichen Bestand zeigen einen engen Zusammenhang zwischen Niederschlagsmenge und N_{St} auf ($R^2 = 0,81$ für die lineare Regressionsgleichung). Durch die polynomische Funktion 2-ter Ordnung werden bei einem Bestimmtheitsmaß von 0,806 20% der Standardabweichung nicht eindeutig erklärt.

LOUSTAU et al. (1992) ermittelten in einem 18 Jahre alten Kiefernbestand südlich von Bordeaux (F) in einer 2-jährigen Versuchsreihe N_B über 52 Regensammler und N_{St} an 12 Bäumen. Trotz der aufwendigen Versuchsanordnung ließ sich keine signifikante Beziehung zwischen dem Stammablauf und den Größenmerkmalen der entsprechenden Bäume nachweisen.

Nach HOPPE (1896) nimmt der Stammabfluß bei Buche und Fichte, also auch Bäumen mit rauher Rinde, mit dem Durchmesser zu, allerdings ist der von WEIHE (1976) aus den Ergebnissen von HOPPE berechnete Zusammenhang nicht sehr straff. HAGER und HOLZMANN (1997) ermittelten an 100-jährigen Buchen im steirischen Ennstal (A) das Stammablaufprozent. Von den untersuchten Kenngrößen der Bäume (BHD, Höhe, Schirmfläche, Kronenprozent) eignete sich nur der Brusthöhendurchmesser (BHD) für eine befriedigende Schätzung des mittleren Stammablaufprozentes.

1994

Allgemeines

Der effektive Beobachtungszeitraum (Zeitraum während dessen der Niederschlag vor Ort gemessen

wurde) war gegenüber dem Vorjahr um drei Wochen kürzer. Mit 514,4 mm war die registrierte Niederschlagsmenge um 64,7 mm geringer als 1993. Vergleicht man die aus Daten der Station St. Sigmund extrapolierten Niederschlagssummen der Monate Mai bis Oktober, so liegt der Gesamtniederschlag mit 637,6 mm etwas unter dem Wert des Vorjahres (702,1 mm). Das Niederschlagsminimum und Niederschläge der niedrigsten Intensität wurden in der Woche vom 20.9. bis 26.9. registriert (vgl. Tab. 5.2.1 und Tab. 9.4 im Anhang). Die maximale Niederschlagsmenge von 59,6 mm fiel in der Woche vom 18. bis 25.7. Die Spitzenintensität dieses Ereignisses lag bei 4,65 mm/h, die effektiv gefallene Regenmenge bei 21,7 mm in 280 min.

Kronendurchsatz

(Tab. 5.2.4.3; Abb. 5.2.4.1 b)

Auch in diesem Jahr überstiegen die an einigen Sammlern registrierten Durchlaßmengen den Freiland-Niederschlag. Ähnlich wie in den Jahren vorher wies Bh12 vor allem bei hohen Niederschlagsmengen einen systematischen „Übergenuß“ auf (Tab. 5.2.3.2). Das Verhältnis Niederschlag zu Höhe des K_D war weitgehend unabhängig von der gefallenen Niederschlagsmenge. Lediglich extrem niedrige Regenmengen, wie z.B. in der Woche vom 19.9. bis 26.9. (1,7 mm) wurden annähernd vollständig im Kronenraum zurückgehalten. Die nach diesem Ereignis in den Sammelbehältern gemessene Wassermenge ≤ 10 ml entsprach weniger dem tatsächlichen Kronendurchsatz, als dem nach der vorhergehenden Messung nachgeronnenen Wasser aus den Sammelbehältern und Schlauchleitungen. Trotz der beachtlichen Regenmenge von 59,6 mm in der Woche von 18.7. bis 25.7. wurden im Mittel 53,2 mm (89,3%) als K_D am Boden registriert. Für diesen Zeitraum wurden die höchsten Extremwerte ermittelt, so lag das Minimum des K_D bei 12,9 mm (21,7% von N), als Maximalwert wurden 82,8 mm (138,9% von N) ermittelt (vgl. Tab. 8.3 c im Anhang). Die Standardabweichung und die Varianz für die 18 Behälter lagen bei 18,05 bzw. 325,86. Von der im Beobachtungszeitraum 31.5. bis 10.10.1994 registrierten Niederschlagsmenge von 514,4 mm wurden im Mittel 282 mm, das sind 54,9% als K_D registriert.

Interzeption

(Tab. 5.2.4.3, Abb. 5.2.4.1 b)

Die niedrigsten Interzeptionswerte ergaben sich für die Woche von 19.7. bis 25.7. In dieser Periode fiel

die zweithöchste Niederschlagsmenge des Untersuchungszeitraumes 1994 (59,6 mm). Davon wurden nur 1,2 mm (2,1%) im Kronenraum zurückgehalten. Hohe Niederschlagsintensitäten können dafür nicht ausschlaggebend gewesen sein.

Nur 21,7 mm der Gesamtregenmenge von 59,6 mm fielen nämlich innerhalb von 280 min, das entspricht einer relativ geringen Spitzenintensität von 4,7 mm/h (vgl. Tab. 5.2.1). Es wurden jedoch relativ hohe Windgeschwindigkeiten (bis 20 km/h) gemessen, die den Kronendurchsatz begünstigen. Nach WEIHE (1984) kann der Wind als maßgebende Ursache der hohen Variation der Regenmengen in den einzelnen Sammelbehältern angesehen werden.

In der längeren Periode von 16.8. bis 29.8. (ein Meßtermin mußte aus dienstlichen Gründen entfallen) wurden von 86,4 mm immerhin 57,4 mm (66,4%) im Kronenraum zurückgehalten. Dies dürfte auf die extrem lange Regendauer (4075 min) mit einer extrem geringen durchschnittlichen Intensität von 1,3 mm/h zurückzuführen sein (Tab. 5.2.4). Zudem ermöglichte eine Reihe von Regenspausen die Abtrocknung des Kronendaches.

Im Meßzeitraum 1994 fielen 515,8 mm Regen, mit einem Interzeptionsanteil von 199,7 mm (38,7%). Die Korrelation zwischen der Interzeption und den anderen Niederschlagskenngrößen nahm gegenüber 1993 weiter ab (vgl. Tab. 5.2.4.2).

Stammablauf

(Tab. 5.2.4.3, Abb. 5.2.4.1 b)

Die Periode vom 20. bis 26.9 brachte bei 1,65 mm N den niedrigsten N_{St} (0,01 mm bzw. 0,8%). Der prozentuell höchste N_{St} wurde mit 13,0% (2,3 mm) für die Woche vom 6.9. bis 12.9. errechnet. Die absolut höchste NS-Menge ergab sich zwischen 7.6. und 13.6.: Von 57,3 mm Niederschlag dürften 5,3 mm im Stammbereich abgeronnen sein. Bei einer Niederschlagsmenge von 515,8 mm im Beobachtungszeitraum 1994 waren immerhin 44,2 mm (8,6%) Stammabfluß. War der Zusammenhang zwischen N_{St} und INT im Jahr 1992 noch sehr eng ($R = 0,877$), wurde für 1994 für R der niedrige Wert von 0,368 ermittelt (vgl. Tab. 5.2.4.2).

5.2.5 Beziehungen zwischen Freiland-Niederschlag und den Niederschlagsgrößen im Bestand

5.2.5.1 Verhältnis des Niederschlages zur Interzeption des Bestandes

Für den Untersuchungszeitraum 1992 zeigt sich bei einer relativ geringen Anzahl von Messungen ($n = 15$) ein enger Zusammenhang zwischen N und Interzeption ($R^2 = 0,83$ - linear). In den Folgejahren ist dieser deutlich schwächer ($R^2 = 0,68$ bzw. 0,53) bei wesentlich höherem Standardfehler (vgl. Abb. 5.2.5.1). Die Berechnung eines Trends auf polynomischer gegenüber linearer Basis ergibt lediglich für das Jahr 1994 einen etwas engeren Zusammenhang ($R^2 = 0,84$, $R = 0,71$).

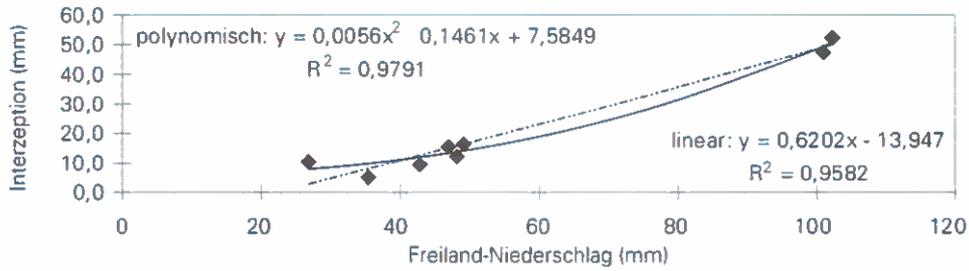
Bei den simulierten Starkregen 1991 stimmen lineare und polynomische Funktion sehr gut überein. Die Berechnungen am 19.7. und 23.7 (56,3 bzw. 44,4 mm in 0,5 h) ergaben extrem hohe Interzeptionswerte. Bei Nichtberücksichtigung dieser zwei Messungen ist das Bestimmtheitsmaß (für die lineare Gleichung) mit $R^2 = 0,96$ gegenüber $R^2 = 0,78$ deutlich höher, der Standardfehler SF mit 4,021 gegenüber 8,527 deutlich geringer. Diese ersten zwei Versuche waren durch böige Winde beeinträchtigt. Es ist anzunehmen, daß infolge windbedingter Abdrift die tatsächliche Niederschlagsmenge kleiner war als die am Wasserzähler der Beregnungsanlage registrierte. Zudem fördern Windböen durch das Peitschen der Bäume den Niederschlagsabsatz auf den Boden. ENGELITS et al. (1984) stellten eine deutliche Abhängigkeit des Kronendurchlasses bzw. der räumlichen Verteilung des Niederschlages von der Niederschlagsintensität, Windgeschwindigkeit und -richtung fest. Aufgrund der weiten Registrierungsintervalle des K_D (mehrstündig bei simulierten Starkregen, mehrtägig bzw. wöchentlich bei natürlichen Regenereignissen) und der kurzfristig stark wechselnden Windrichtung- und -geschwindigkeit konnte kein Zusammenhang zwischen dem Kronendurchlaß bzw. dem innerhalb der einzelnen Meßperioden im Kronenraum zurückgehaltenen Niederschlag und der Windgeschwindigkeit bzw. -richtung nachgewiesen werden (vgl. Kap. 5.2.6). Um methodische Fehler jedoch auszuschließen, wurden die Ergebnisse der ersten beiden Starkregenexperimente bei den weiteren Berechnungen nicht berücksichtigt.

Angaben über die Interzeptionsverdunstung der Zirbe sind kaum vorhanden. AULITZKY und TURNER (1982) geben für eine 60-jährige Zirbengruppe mit 8 bis 10 m Höhe in Poschach (Oberurgul – Ötztal)

Abb. 5.2.5.1:

Interzeption (INT) versus Freiland-Niederschlag (N) am Standort ZNF, getrennt für die simulierten Starkregen 1991 und die Messperioden 1992 bis 1994, sowie gemeinsam für alle Beobachtungen der Jahre 1991 bis 1994.

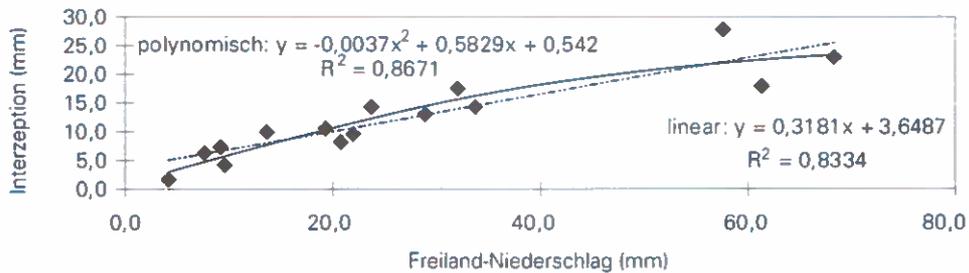
1991



Regressions-Statistik
für lineare Gleichung

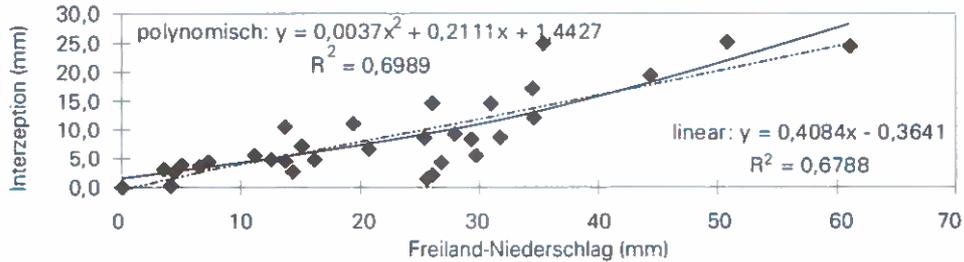
R = 0,98
 $R^2 = 0,96$
 S = 4,02
 n = 8

1992



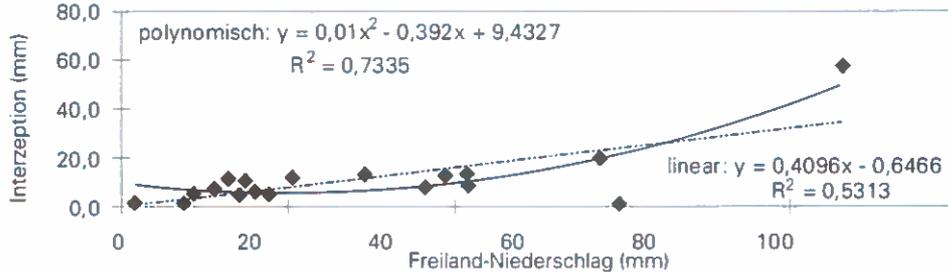
R = 0,91
 $R^2 = 0,83$
 S = 2,98
 n = 15

1993



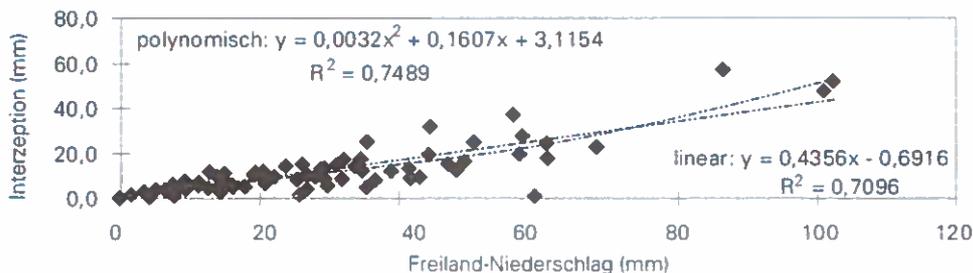
R = 0,82
 $R^2 = 0,68$
 S = 4,11
 n = 32

1994



R = 0,73
 $R^2 = 0,53$
 S = 8,86
 n = 18

1991-1994



R = 0,84
 $R^2 = 0,71$
 S = 6,10
 n = 75

Interzeptionswerte von > 80% bei 5 mm und > 50% bei 35 mm Niederschlag an (vgl. Tab. 2.1). Geringe Niederschläge bis 3 mm wurden bei den Untersuchungen von TURNER (1961) zur Gänze vom Kronenraum des Zirbenwaldes aufgefangen. ROTHE (1997) gibt für einen 90-jährigen Fichtenbestand im Höglwald nordwestlich von München 40% Interzeptionsverdunstung an. Die vorliegenden Ergebnisse für natürliche Niederschlagsereignisse, jeweils im dritten Quartal der Jahre 1992 bis 1994 ermittelt, nähern sich mit Interzeptionsprozenten zwischen 37 und 45% von unten an die von AULITZKY und TURNER (1982) gemessenen Werte an (vgl. Tab. 2.1), liegen jedoch im oberen Bereich der in der Literatur berichteten Werte. ROTHE (1997) gibt den in der Literatur gängigen Mittelwert mit ca. 32% an.

Im Zuge der 8 simulierten Starkregenereignisse am Standort ZNF im Jahr 1991 wurden bei Auftragsmengen zwischen 22 und 49 mm, die Intensitäten zwischen 35 und 96 mm/h entsprechen, 14 bis 45 %

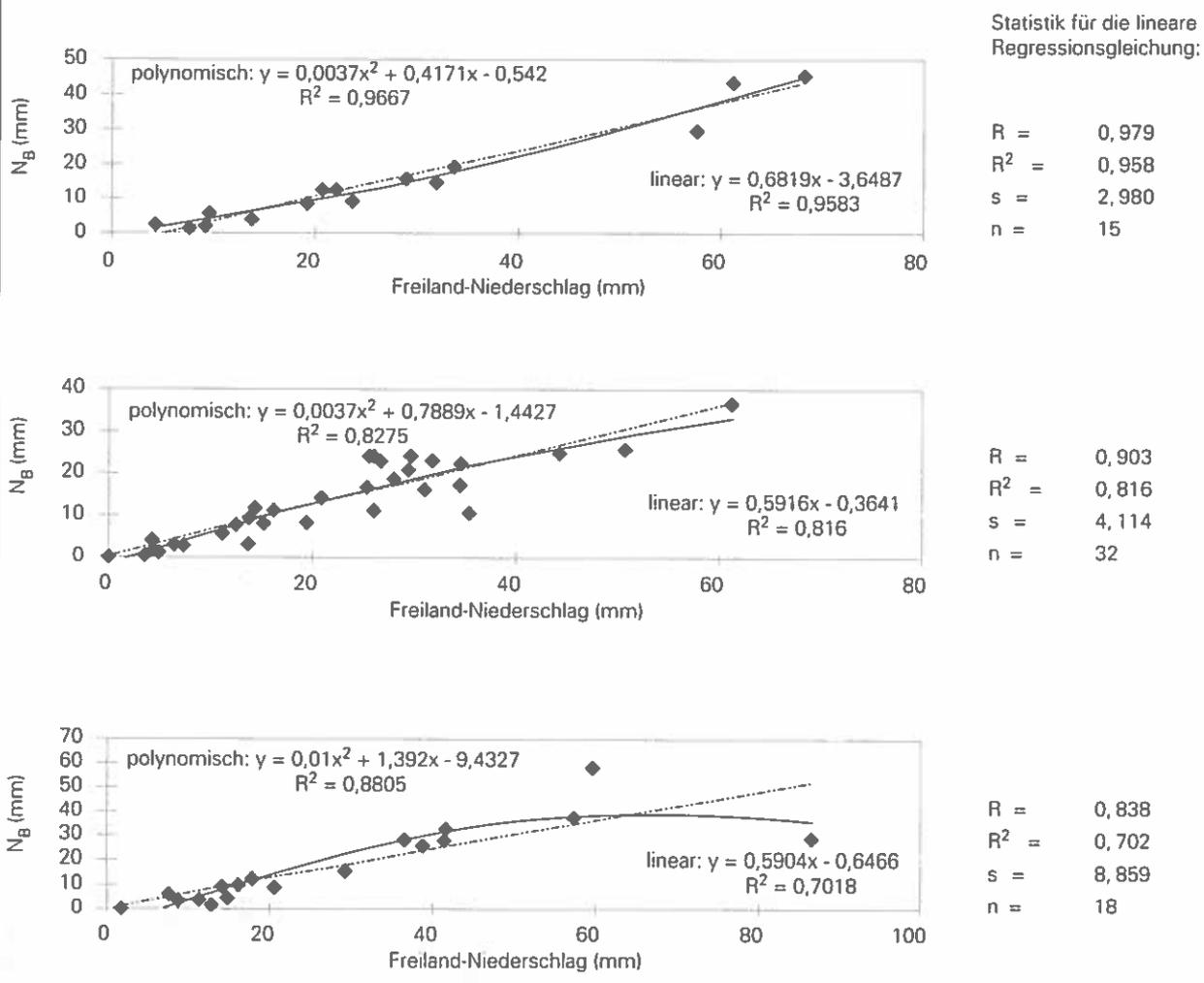
der Auftragsmenge vom Kronendach zurückgehalten (vgl. Tab. 5.2.4.1, Abb. 5.2.4.1 a). Die Hauptursache des hohen Kronenrückhaltes ist in der außergewöhnlich hohen Dichte des Bestandes zu sehen. Die Zunahme der Interzeptionsverdunstung in Abhängigkeit von der Bestandesdichte wurde bereits mehrfach nachgewiesen (MITSCHERLICH 1981, HAGER 1988). Bei der 1995 durchgeführten Vollaufnahme wurden auf der Versuchsfläche ZNF, die nur einen Teil einer undurchforsteten Dichtfläche darstellt, 93 Bäume, das entspricht einer Anzahl von 12400 Bäumen/ha, gezählt (vgl. Kap. 4.1). Für die gesamte undurchforstete Nullfläche wurde eine Individuenzahl von 13970/ha ermittelt. Außerdem liegt die am Standort ZNF ermittelte Blattfläche deutlich über den in der Literatur angegebenen Werten (vgl. Kap. 5.3.1).

5.2.5.2 Kronenspeicherkapazität

Ähnlich wie bei HAGER (1988) fügen sich Niederschlagsereignisse geringer Intensität (besonders in

Abb. 5.2.5.2.1:

Niederschlag im Bestand (N_B) versus Freiland-Niederschlag (N) am Standort ZNF für die Meßperioden 1992 bis 1994.



den Meßperioden 1993 und 1994) schlecht in die lineare Regression ein (Abb. 5.2.5.2.1). Dieser Effekt ist auch deutlich an der hohen Variabilität des Variationskoeffizienten (v) des Kronendurchlasses bei geringen Niederschlagsmengen zu erkennen, v nimmt asymptotisch mit ansteigender Niederschlagsmenge ab (vgl. Abb. 5.2.5.2.2).

BENECKE und VAN DER PLOEG (1978 a, b) lösten dieses Problem durch Berechnung einer zweiteiligen Regressionslinie, die aus einem linearen Teil und einer exponentiellen Übergangskurve für kleine Niederschlagsereignisse besteht.

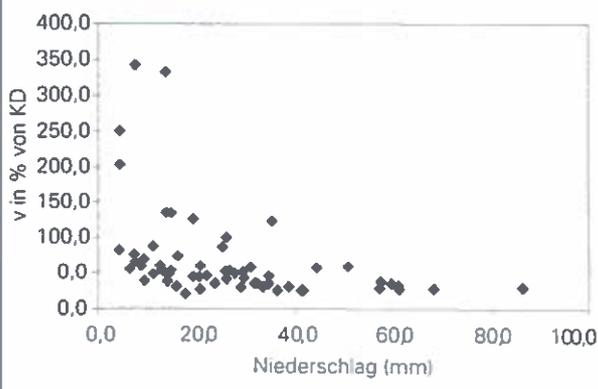
Im Sommer 1993 streuen die K_D -Werte besonders stark, das Bestimmtheitsmaß für die Ausgleichsgerade ist im Verhältnis zu den Vergleichsjahren am niedrigsten, 14,6% der Standardabweichung können nicht durch die Funktion erklärt werden.

Als weitere Ursachen der hohen Streuung sind Ereignisse, die von der normalen Niederschlagscharakteristik abweichen, also z.B. kurze, stärkere Niederschläge ohne Abtrocknungspausen zu sehen.

1992 ist die Beziehung am engsten, wobei die Unterschiede zwischen linearer und polynomischer Ausgleichsfunktion gering sind ($R^2 = 0,97$ bzw. $0,96$). In den folgenden Jahren 1993 und 1994 ist die Streuung höher, Korrelationskoeffizienten und Bestimmtheitsmaß daher geringer (Abb. 5.2.5.2.1).

Errechnet man aus der Konstanten und dem Anstieg der Regressionsgeraden den Schnittpunkt mit der Abszisse des Koordinatensystems, so erhält man einen Index (K_0) für die Kronenspeicherkapazität (HAGER 1988). Läßt man den Nullwert des Jahres 1993 außer Betracht, so ist ein Anstieg der Speicherkapazität von 4,2 mm im Jahr 1991 auf 6,2 mm im Jahr 1994 zu erkennen (vgl. Tab. 5.2.5.2).

Abb. 5.2.5.2.2:
Beziehung zwischen dem Variationskoeffizienten (v) des Kronendurchlasses und dem Niederschlag für den Zeitraum Juli bis September 1992 – 1994.



Für das niedrigere Speichervermögen der Jahre 1991 bis 1993 werden folgende Faktoren als maßgeblich angesehen:

- Auch wenn mit der bei der Starkregensimulation gewählten Methode die kinetische Energie und Tropfengröße natürlicher (Stark)regen nicht nachvollzogen werden konnte, lag die Intensität weit über den im Arbeitsgebiet während der 6-jährigen Versuchsserie registrierten Intensitäten natürlicher Niederschläge. Es gab entgegen dem normalen Niederschlagsverlauf keine Abtrocknungsphasen. Die Abhängigkeit der Kronenspeicherkapazität von der Intensität des Niederschlages ist in der Literatur vielfach belegt (HOPPE 1896, WEIHE 1968, GASH et al. 1980, ENGELITS et al. 1984, HAGER 1988, RAKEI et al. 1992, VIVILLE et al. 1993).
- Die Nadelfläche des Bestandes stieg von 19,1 (1992) auf 23,1 im Jahr 1994. Dies hat auch einen Anstieg der Kronenspeicherkapazität (K_0) zur Folge. HAGER (1988) ermittelte nach unterschiedlich starken Durchforstungseingriffen in 17-jährigen Wiesenaufforstungen mit Fichte am Jauerling (Niederösterreich) eine stetige und stärkere Zunahme der Speicherkapazität (K_0). Dies kann als Folge einer massiveren Kronenausbildung der verbleibenden Bestandesglieder angesehen werden.
- Der für das Jahr 1993 errechnete Nullwert kann auf die höhere Streuung der K_D -Werte um die Regressionsgerade gegenüber den anderen Meßperioden zurückgeführt werden.

HAGER (1988) gibt für 17- bis 19-jährige Fi-Wiesenaufforstungen unterschiedlichen Durchforstungsgrades K_0 -Werte von 0,7 bis 3,3 mm an. Für einen 25-jährigen, geschlossenen Sitka-Fichten-Bestand sind bei HANCOCK und CROWTHER (1979) Werte von $2,5 \pm 0,4$ mm angegeben. Während HEUVELDOP (1973) bei seinen Interzeptionsmessungen in einem 45-jährigen Fi-Bestand des Westschwarzwaldes auf eine zur vollständigen Benetzung der Krone notwendige Regenmenge von 9–10 mm kam, fand WEIHE (1968) in einem 68-jährigen Fichtenbestand den entsprechenden Wert bei 6,5 mm. MOESCHKE (1998) gibt für vollbestockte Bergmischwaldbestände ein K_0 zwischen 3,3 und 3,8 mm Niederschlagshöhe an. Für Zi-Hochlagenbestände wurden keine Angaben für die maximale Kronenspeicherkapazität gefunden: AULITZKY und TURNER (1982) geben für einen Niederschlag von 5 mm ein Interzeptionsprozent von 80% an. Dies würde einem K_0 -Wert von etwa 4 mm entsprechen. Die für den dichten Bestand am Standort ZNF bei überwiegend landregenartigen Niederschlägen geringer Intensität

Tab. 5.2.5.2:
 Einzelregressionen des Kronendurchlasses (K_D) gegen den Freilächen-Niederschlag (N) des Zirbenbestandes am Standort ZNF, für simulierte Starkregen 1991 und die natürlichen Niederschläge der Beobachtungsperioden Sommer 1992 bis 1994.

Allgemeine Form: $K_D = a + b \cdot N$

Jahr	Regressions-		Bestimmtheitsmaß R^2	K_0 (mm)	SF
	Konstante a	Koeffizient b			
1991 (simulierte Starkregen)	-3,3003	0,7935	0,90	4,3	3,2
1992	-3,6487	0,6487	0,96	5,4	2,9
1993	-0,0196	0,5126	0,85	0,04 *)	5,6
1994	-4,7367	0,7637	0,90	6,2	5,7

*) aufgrund des beachtlichen Streubandes des K_D um die Ausgleichsgerade

K_D = Kronendurchlaß in mm

N = Freiland-Niederschlag in mm

K_0 = Kronenspeicherkapazität in mm (jener Freiland-Niederschlag, bei dem der K_D entsprechend der Regressionsgleichung gleich Null ist).

a = Absolutglied der Regressionsgeraden

b = Steigung der Regressionsgeraden

SF = Standardfehler

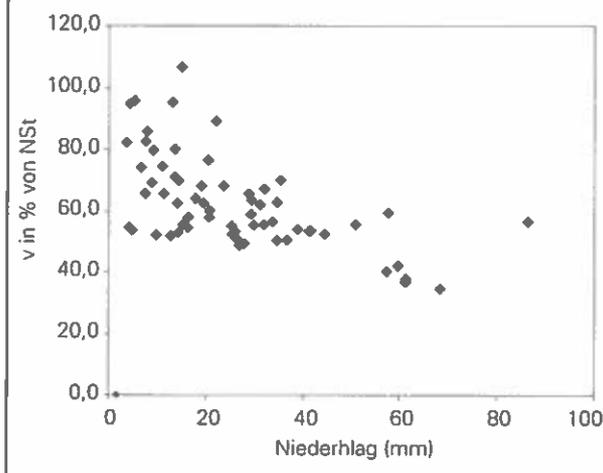
ermittelten Werte liegen erwartungsgemäß geringfügig höher (5,4 bzw. 6,2 mm vgl. Tab. 5.2.5.2).

5.2.5.3 Stammablauf

Im Rahmen der gegenständlichen Untersuchung konnten die Komponenten des Niederschlages im Bestand nicht ereignisweise quantifiziert werden (vgl. Kap. 4.3). Aber auch bei mehrtägigen bzw. wöchentlichen Intervallen der Probennahme nimmt der Variationskoeffizient des Stammablaufes asymptotisch mit steigender Niederschlagsmenge ab (Abb. 5.2.5.2.3). Vergleichbare Ergebnisse erzielten LOUSTAU et al. (1992) für den Stammablauf und den Kronendurchlaß in einem maritimen Pinus pinaster-Bestand. Die individuellen Eigenschaften der Bäume spielen in bezug auf die Höhe des N_{St} eine wichtige Rolle. Vergleichbar den Ergebnissen von LOUSTAU et al. ergaben sich trotz Stratifizierung der Meßergebnisse kein ausreichender Zusammenhang zwischen der Höhe des N_{St} und Kenngrößen der Probestämme (BHD, Höhe, Stammoberfläche, etc.). Der N_{St} des Bestandes ZNF basiert daher nicht auf einer statistisch gesicherten Beziehung, sondern er wurde aus dem je Ereignis ermittelten Mittelwert des N_{St} der 10 Probestämme auf den Bestand hochgerechnet. Die große Variabilität des Stammablaufes, spiegelt sich im allgemeinen in hohen Standardfehlern wider. Nach LEYTON et al. (1967) kommt dieser Ungenauigkeit der Mittelwerte des Stammablaufes jedoch nur ein geringen Effekt auf die Schätzwerte des Bestandesniederschlages zu, da die über den Stammablauf zu Boden gelangende Wassermenge im Vergleich zum Kronendurchlaß gering ist (vgl. Kap. 5.2.3)

Abb.5.2.5.2.3:

Beziehung zwischen dem Variationskoeffizienten (v) des Stammablaufes und dem Niederschlag für den Zeitraum Juli bis September 1992 – 1994.



5.2.6 Einfluß des Windes auf die Komponenten des Bestandesniederschlages

Aufgrund der ausgeprägten NW – SE – Erstreckung des Sellraintales und einer deutlichen Verengung des Talquerschnittes oberhalb von Haggen werden gerade bei Niederschlägen aus dem ozeanischen Raum hohe Windgeschwindigkeiten gemessen. Der Einfluß des Windes auf die Niederschlagsverteilung im Bestand - in der Literatur vielfach beschrieben (GRUNOV 1960, NÄGELI 1971, HEUVELDOP 1973, WEIHE 1974, 1984) - kommt aufgrund der Morphologie des Geländes im Untersuchungsgebiet in besonderem Maße zur Geltung. WEIHE (1984) konnte bei seinen Messungen in einem Fi-Bestand in Nordrhein-Westfalen eine Beziehung zwischen

Niederschlagsabsatz und der dominanten Windrichtung bei Einzelereignissen feststellen.

Für die statistische Absicherung eines Zusammenhangs zwischen Kronendurchlaß und Windeinfluß ist die Erfassung der Niederschläge als Einzelereignisse, wie z.B. von WEIHE (1974) durchgeführt, notwendig. Aus über Totalisatoren in wöchentlichen bzw. mehrtägigen Messungen ermittelten Niederschlägen kann nur bedingt auf den Windeinfluß geschlossen werden. Dennoch wurde für das Jahr 1994 versucht, die einzelnen Niederschlagsereignisse in möglichst kleine Teilperioden zu untergliedern und der Niederschlagsmenge dieser Kurzperioden die Windgeschwindigkeit bzw. die -richtung, jeweils in Klassen zusammengefaßt, gegenüber zu stellen. (vgl. Tab. 8.4 im Anhang). Es war jedoch (erwartungsgemäß) kein Zusammenhang zwischen dem Kronendurchlaß bzw. dem innerhalb der einzelnen Meßperioden im Kronenraum zurückgehaltenen Niederschlag und der Windgeschwindigkeit bzw. -richtung nachzuweisen.

HEUVELDOP (1973) stellte bei seinen Untersuchungen in einem 45-jährigen Fi-Bestand fest, daß Einzelniederschläge aufgrund wechselnder Windverhältnisse häufig durch rasche und starke Intensitätsveränderungen gekennzeichnet sind. Wie bereits in Kap. 5.1.4 erwähnt, erfolgen die maßgeblichen Niederschlagspenden in Form langer Regen niedriger Intensität. Es dominieren die Windrichtungen NW (8) und SE (4). Wie die genaue Durchsicht der Aufzeichnungen ergab, wechselt im Zuge der lang dauernden Regen die Windrichtung wiederholt kurzfristig zwischen NW und SE, es kann also bestenfalls eine vorherrschende Windrichtung angegeben werden. Vor allem kurzzeitige Starkregen werden häufig durch Böen aus verschiedensten Richtungen überlagert. Diese Windstöße werden jedoch von den Windmessern auf der Meßfläche BASIS, am Talboden, und von der automatisch registrierenden Klimameßstation oberhalb der Versuchsfläche HEUM nicht bzw. nur unzureichend erfaßt, tragen jedoch maßgeblich zum Niederschlagsabsatz im Bestand bei.

5.3 Bestandesentwicklung in den Jahren 1992 bis 1994

Der untersuchte Bestand weist eine gegenüber natürlichen Beständen deutlich überhöhte Stammzahl auf. 93 Individuen auf der nicht durchforsteten Versuchsfläche von 75 m² entsprechen einer Stamm-

zahl von 12400/ha. SCHIECHTL und STERN (1983) geben für einige natürliche Zirbenbestände mit hohem Jungwuchsanteil in den Stubai Alpen maximale Individuenzahlen von 370 bis 830 an. RACHOY (1976) ermittelte in einem urwaldnahen Zi-Bestand der Seetaler Alpen (Steiermark) eine Stammzahl von 1880 incl. Naturverjüngung.

In Folge der hohen Stammzahl kann man davon ausgehen, daß die konkurrenzbedingte Differenzierung am Standort ZNF wesentlich rascher als in Zi-Naturverjüngungen abläuft.

Für die im folgenden skizzierten Berechnungen wurden die Bäume nach ihrer Höhe in Höhenklassen von 50 cm-Stufen zusammengefaßt, die Klassenzuordnung erfolgte nach der Baumhöhe des Jahres 1992. Die Verteilung der Bäume in den einzelnen Klassen entspricht annähernd einer Normalverteilung.

5.3.1 Nadeloberfläche und Kronenprojektion

BAUMGARTNER et al. (1983) geben 20 m² oberirdische Oberfläche pro m² Bodenfläche als Größenordnung für Waldbestände an. DROSTE zu HÜLSHOFF (1969) ermittelte für einen 76-jährigen Fichtenbestand im Ebersberger Forst bei München einen mittleren Nadeloberflächenindex von 21,6 m²/m². Dieser Blattflächenindexwert liegt weit über den Werten, die z.B. WOODWELL und WHITTAKER (1968 – zit. in DROSTE zu HÜLSHOFF 1969) für Koniferenwälder angeben.

Tab. 5.3.1:
Überschirmung und Nadelfläche an der Versuchsfläche ZNF in den Jahren 1992 und 1994.

Jahr	Überschirmung (m ²) auf der Versuchsfläche (75 m ²)	pro m ²	Nadelfläche (m ²) auf der Versuchsfläche (75 m ²)	pro m ²
1992	103,0	1,37	1691,4	19,1
1994	120,7	1,61	1733,0	23,1

Basierend auf den in Kap. 4.6 ermittelten Beziehungen konnten Nadeloberfläche und Überschirmung im Bestand ZNF berechnet werden (Tab. 5.3.1). Die überschirmte Fläche steigt von 1,4 m² im Jahr 1992 auf 1,6 m² 1994. Im selben Zeitraum vergrößert der Bestand seinen Nadeloberflächenindex von 19,1 m²/m² auf 23,1 m²/m² (d.h. um 17,3 %).

Die beste Nadelausstattung weisen naturgemäß die Bäume in den größeren Höhenklassen auf (Abb. 5.3.1.1). In den Höhenklassen ≤ 550 cm traten kaum merkbare Veränderungen in der Nadeloberfläche auf. Lediglich in der Klasse 301 bis 350 cm war ein geringfügiger Anstieg zu beobachten. Deutlich zugenommen hat die Nadeloberfläche der drei stark

Abb. 5.3.1.1:
Verteilung der Nadeloberfläche nach Höhenklassen und ihre Änderung während des Untersuchungszeitraumes.

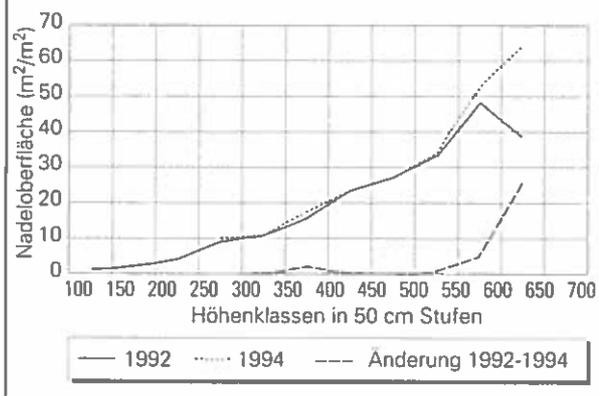
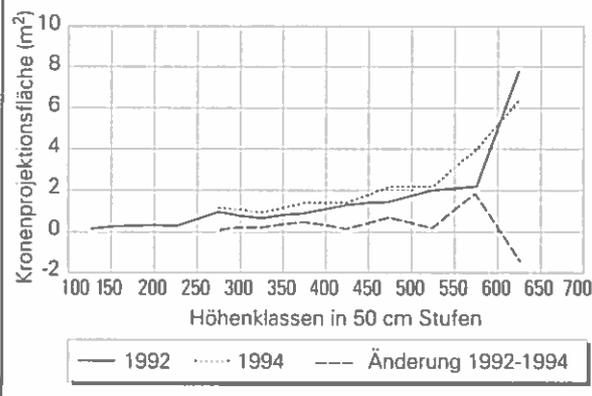


Abb. 5.3.1.2:
Verteilung der Kronenprojektion nach Höhenklassen und ihre Änderung während des Untersuchungszeitraumes.



vorherrschenden Individuen in den Klassen ≥ 551 cm. Diese Bäume konnten ihre vorherrschende Stellung ausbauen.

Eine Darstellung der projizierten Kronenfläche im Jahr 1992 gibt Abb. 4.1.4 in Kap. 4.1. Ende 1994 zeigt sich in den Höhenklassen bis 250 cm keine Änderung, in den darüberliegenden Klassen steigt die Kronenschirmfläche uneinheitlich. Lediglich die größten Individuen in der Höhenklasse > 6 m büßten konkurrenzbedingt (wuchskräftige Nachbarbäume) Standraum ein (Abb. 5.3.1.2).

5.3.2 Höhenzuwachs nach Stärkeklassen (Tab. 5.3.2)

In der Versuchsfläche ZNF wurde im Herbst 1992 (nach Abschluß des Höhenwachstums) und im Frühjahr 1995 (vor Austrieb der Terminalknospen) eine Vollaufnahme durchgeführt (vgl. Tab. 8.1 a und b im Anhang).

Negative Höhenzuwächse der Klasse 151–200 cm haben ihre Ursache in der Meßmethode. Herkömmliche Verfahren der Höhenbestimmung versagen in dermaßen dichten Beständen, daher wurde mit KRONFUSS gemeinsam ein Behelfsverfahren angewandt: Die Messung der Baumhöhe erfolgte mit einer ausziehbaren Teleskopstange, deren Segmente eine definierte Länge aufwiesen und entlang des Stammes bis zur Spitze des neuen Terminaltriebes geschoben wurden. Die Höhe des Baumes ergibt sich dann aus der Summe der Längen der einzelnen Segmente. Bei der Festlegung des Wurzelhalses kommt es u.a. auch in Abhängigkeit vom Meßpersonal zu Differenzen. Dieser Meßfehler sticht gerade bei unterständigen bzw. absterbenden Bäumen stärker heraus. Für die Berechnung der Nadelmasse bzw. -fläche ist er aber von untergeordneter Bedeu-

tung, da das Gros der Nadeln von den Bäumen in den größeren Höhenklassen produziert wird. Eine weitere Fehlerquelle stellt die exakte Justierung der Oberkante des obersten Segmentes dar, da in solch dichten Beständen nicht immer eine annähernd horizontale Visur auf die Spitze des Terminaltriebes möglich ist.

Tab. 5.3.2:
Durchschnittlicher Höhenzuwachs nach Höhenklassen auf der Versuchsfläche ZNF in den Jahren 1992 bis 1994.

Höhenklassen 1992	Anzahl der Individuen 1992	Durchschnittliche Höhe			Höhenzuwachs 1992-1994 (cm)
		1992 (cm)	1993 (cm)	1994 (cm)	
<150	2	134,5	136,3	138,0	3,50
151-200	7	169,6	168,8	168,0	-1,60
201-250	4	227,3	229,1	231,0	3,80
251-300	6	282,7	293,3	303,8	21,2
301-350	13	320,7	333,6	346,5	25,8
351-400	15	379,5	397,4	415,2	35,6
401-450	15	420,2	444,8	469,3	49,1
451-500	22	475,8	504,4	533,1	57,3
501-550	5	515,8	543,7	571,7	55,9
551-600	2	567,5	611,5	655,4	87,9
>600	1	610,0	647,7	685,4	75,4

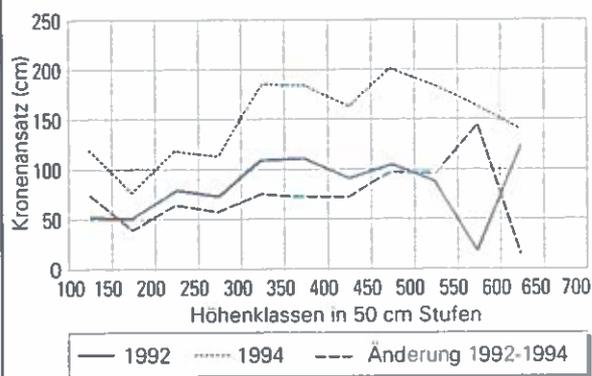
Im Zeitraum 1992–1994 sind 7 Bäume infolge natürlicher Mortalität ausgefallen. Von diesen fielen 5 in die Höhenklassen < 200 cm, einer in die Klasse 201 bis 250 cm und einer in die Klasse 301–350 cm. Aus Tab. 5.3.2 bzw. Tab. 8.2 im Anhang ist deutlich ein stagnierender Höhenzuwachs in den Höhenklassen bis 250 cm zu erkennen. Bei Individuen der Höhen-

klassen < 200 cm (1992) gelang es bis 1995 keinem Baum in die nächst höhere Klasse zu wechseln. In der Klasse von 201 bis 250 cm gelang dies einem Baum, in der nächst höheren Klasse (251 bis 300 cm) bereits 4 von 6 Bäumen (Tab. 8.2 im Anhang). Zum Zeitpunkt der Vollaufnahme 1995 war eine positive Wachstumstendenz bzw. ein positives Umsetzen nur in Höhenklassen > 251 cm zu beobachten.

5.3.3 Kronenansatz (vgl. Abb. 5.3.3)

Aufgrund der uneinheitlichen Kronenausbildung wurde diese im Herbst 1992 und im Frühjahr 1995 für jeden Baum in der Versuchsfläche ZNF getrennt nach Berg- und Talseite erhoben. Aus diesen Werten wurde der mittlere Kronenansatz berechnet. Lag der durchschnittliche Kronenansatz 1992 noch um 100 cm bzw. darunter, war innerhalb der 2 Vegetationsperioden bis 1995 eine deutliche Auflichtung des Stammraumes, besonders in den größeren Höhenklassen zu beobachten. Die extremen Werte der Klassen 551 bis 600 cm und darüber ergeben sich aufgrund der geringen Besetzung (nur zwei Individuen bzw. 1 Baum). Beide Bäume in der Klasse 551 bis 600 cm wiesen 1992 zumindest talseitig noch bis nahe an die Bodenoberfläche reichende grüne Äste auf, 1994 waren die ersten grünen Nadeln bei 145 cm zu beobachten. Dagegen hat sich der Ansatz des einzigen, stark vorherrschenden Baumes in der Höhenklasse > 600 nur minimal verändert.

Abb. 5.3.3:
Höhe des Kronenansatzes und dessen Änderung am Standort ZNF während des Untersuchungszeitraumes.

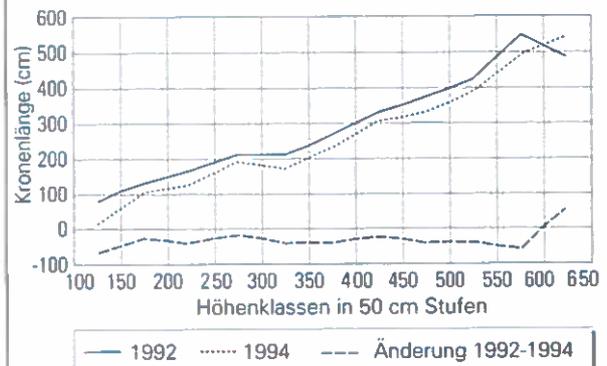


5.3.4 Kronenlänge (vgl. Abb. 5.3.4)

Die stärkste Abnahme der Kronenlänge (68 cm) war in Höhenklasse 101-150 cm zu beobachten, diese Klasse war allerdings nur mit zwei Individuen besetzt. Am geringsten war die Abnahme mit 17 cm in der Höhenklasse 251-300 cm. Der höchste Baum

Abb. 5.3.4:

Änderung der Kronenlänge am Standort ZNF während des Untersuchungszeitraumes



des Kollektivs (Klasse > 600 cm, Baum Nr. 4) folgte dem generellen Trend nicht, aufgrund der Randlage (Höherer Strahlungs- und Lichtgenuß, Konkurrenzvorteil) unterblieb an den sonnexponierten Seiten die Astreinigung, die mittlere Kronenlänge stieg um 68 cm.

5.4 Bodenphysikalische Charakteristika

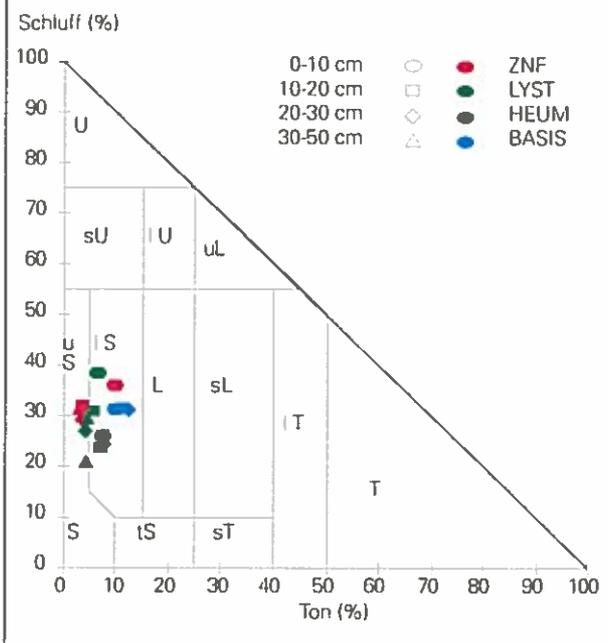
5.4.1 Korngrößenverteilung, Skelettanteil

Das geologische Ausgangsmaterial (Schiefergneise, Glimmerschiefer...) verwittert überwiegend sandig, es dominieren die Bodenarten Sand (S), schluffiger und lehmiger Sand (uS und lS - vgl. Abb. 5.4.1.1). In der obersten Tiefenstufe weist keine der Versuchsflächen über 10% Tonanteil (bezogen auf den Feinbodenanteil > 2 mm) auf, mit Ausnahme der Fläche BASIS ist eine Abnahme des Tonanteiles mit der Bodentiefe zugunsten größerer Gemengteile zu beobachten. Am Standort BASIS steigt der Tongehalt bis in 30 cm Tiefe auf 12,3% an, um dann auf das Niveau der anderen Standorte im Oberboden abzusinken (8,6%).

Mögliche Ursachen für die Streuung in der Verteilung der Feinfraktion:

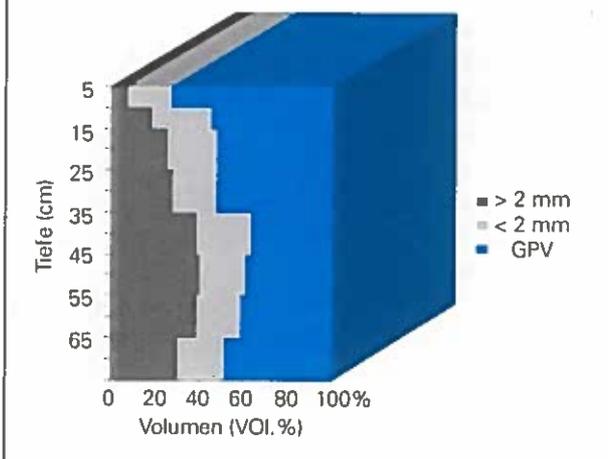
- Die unterschiedliche Reife der Böden, die zu einem hohen Grad von der Mächtigkeit des feinmaterialreicheren Bodenkörpers über dem groben Hangschutt abhängig ist.
- Die Böden auf den Versuchsflächen erfuhren im Zuge der Aufforstungsmaßnahmen (Pflanzlöcher, Bermen, Schutzbauten...) kleinflächig eine massive Umgestaltung. Flächen mit gestörter und natürlicher Horizontabfolge wechseln kleinflächig.

Abb. 5.4.1.1:
Textur der Feinfraktion des Bodens der vier obersten Tiefenstufen an den Versuchsflächen.



Am Standort ZNF wurde die Festschubstanz > 2mm Durchmesser entlang eines Bodenschlitzes tiefenstufenweise für drei Profile ermittelt. Der mittlere Skelettanteil ist aus Abb. 5.4.1.2 ersichtlich.

Abb. 5.4.1.2:
Mittlere Verteilung der festen Bodenfraktion (Skelettanteil > 2mm Durchmesser, Feinfraktion < 2mm) und des Gesamtporenvolumens (GPV) über die verschiedenen Tiefenstufen am Standort ZNF.



Der Skelettanteil nimmt an allen 4 Standorten mit der Tiefe deutlich zu. Weist die oberste Tiefenstufe von ZNF mit 5 Vol% noch einen schwachen Grobanteil auf, ist der Skelettanteil in den tieferen

Stufen nach SCHEFFER und SCHACHTSCHABEL (1992) durchwegs als mittel bis sehr stark anzusprechen (vgl. Tab. 5.4.1.1). Mit zunehmender Tiefe (an ZNF ab 60 cm) werden die Gemengteile größer (große Steine, Blöcke, etc.), diese sind mit der in Kap. 4.5.4.6 beschriebenen Rahmenmethode nicht mehr mit hinreichender Exaktheit zu erfassen. Die Abnahme der groben Gemengteile ab 60 cm Tiefe ist wahrscheinlich auf die Genese zurückzuführen. Nach NEUWINGER (1972), NEUWINGER et al. (1988), sowie nach eigenen Geländebeobachtungen wird das anstehende Gestein fast völlig durch Hangschutt und Moränen wechselnder Mächtigkeit überlagert. Solifluktuationserscheinungen sind vielfach zu beobachten. Es scheint also die Vermutung zulässig, daß zumindest lokal skelettärmere Schichten von skelettreicheren überfahren wurden.

Die räumliche Verteilung der groben Bestandteile variiert zwischen den einzelnen Versuchsflächen sehr stark, so stehen etwa am Standort HEUM größere Blöcke bereits in wesentlich geringerer Tiefe als an den anderen Standorten an.

Tab. 5.4.1.1:
Bodenskelettklassen nach SCHEFFER - SCHACHTSCHABEL (1992).

Bezeichnung	Gehalt (Vol.-%)	Gehalt (Gew.-%)
sehr schwach	<1	<2
schwach	1 - 10	2 - 15
mittel	10 - 30	15 - 45
stark	30 - 50	45 - 60
sehr stark	50 - 75	60 - 85
Skelettboden	> 75	> 85

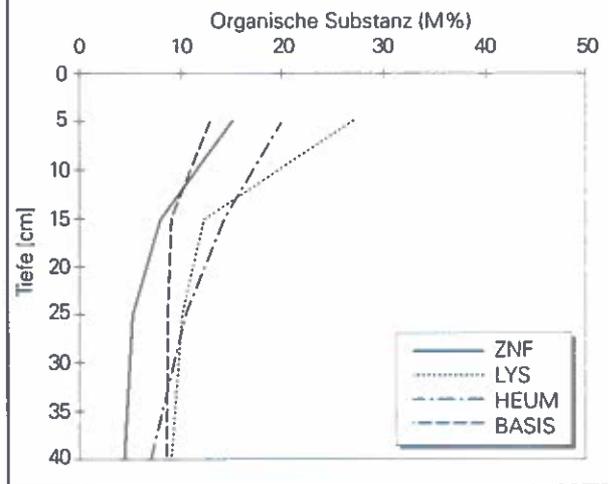
5.4.2 Organische Substanz (OS)

Der Grenzwert des Ektohumus gegenüber den endorganischen Horizonten (A-, AB-Horizonte) ist mit 30 Vol% organischer Substanz festgelegt (ÖBG 1999). Diese Grenze entspricht einem Gehalt von 17% organischem Kohlenstoff. Durch Multiplikation mit dem über Konvention festgelegten Umrechnungsfaktor von 1,72 (der tatsächlich zwischen 1,5 und 2 schwanken kann) ergibt sich der Grenzwert von 30% organischer Substanz. International verwendete Grenzen sind 32 und 35% organischer Substanz (FAO, 1988) bzw. 40% (FEDERER 1982).

Im A-Horizont des vergrasteten *Callunetums* am Standort LYST ist der Gehalt an organischer Substanz mit 27,3% gegenüber den mit Zirben aufgeforsteten Flächen BASIS (13%) und ZNF (15,2%) deutlich höher (Abb. 5.4.2). Die mit *Calluna* durchsetzte, vergraste Lärchenaufforstung

Abb. 5.4.2:

Organische Substanz in den obersten Tiefenstufen der vier Versuchsfächen.



(HEUM) liegt mit einem Anteil von 20% dazwischen. Mit Humusgehalten > 10% sind die A-Horizonte der vier Vergleichsstandorte nach SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (1992) als sehr stark humos bzw. humusreich einzustufen (vgl. Tab. 5.4.2). CZELL (1964) führt hohe Humusgehalte als typisch für die mit Zirben und Fichten durchsetzten Zwergstrauchheiden (Alpenrosenheide) an. Eine mögliche Mitursache in der geringen Humusausstattung auf der BASIS ist in der intensiven Meßtätigkeit der letzten Jahrzehnte an diesem Standort zu sehen. Aufgrund intensiven Beganges wird die Nadelstreu an bestimmten Stellen konzentriert, andere Bereiche verarmen. BASIS und ZNF liegen auf einem schwach ausgeprägten Rücken, waren also vor der Aufforstung stärker von windbedingten Verhagerungseffekten betroffen als die Muldenlagen (z.B. HEUM).

Generell ist mit der Tiefe eine deutliche Abnahme des Humusgehaltes, insbesondere von A zum B-Horizont der untersuchten Profile zu beobachten.

ZANETTI (1996) stellte bei seinen Untersuchungen über die Infiltrationseigenschaften von Auf-

forstungs- und Weidestandorten im Finsingtal (Tirol) unter Zwergstrauchheiden aber auch unter den aufgeforsteten ehemaligen beweideten Standorten ein gegenüber den Weiderasen deutlich geringeres mineralisches Substanzvolumen fest. Da die biogene Umsetzung in Böden der Braunerde-Podsolreihe, bedingt durch das basenarme Ausgangsgestein, das Klima und durch die schwere Zersetzbarkeit der Bestandesabfälle (*Calluna vulgaris*, *Pinus cembra*, *Larix ssp.*,...), stark reduziert ist, wird gegenüber den weiterhin beweideten Standorten organische Substanz im Oberboden akkumuliert, die durch Podsolierungsvorgänge in tiefere Schichten verfrachtet wird. Nach SCHINDLER (1989) kann auf extrem dicht gelagerten Sandböden mit Gehalten an organischer Substanz > 7,5% der Anteil der weiten Grobporen > 50 mm sogar so weit minimiert werden, daß ähnlich wie bei Lehm- und Tonböden pflanzenphysiologisch wirksamer Luftmangel (Luftkapazität < 10 Vol%) auftreten kann. Aufgrund der sehr geringen Lagerungsdichte (vgl. Kap. 5.4.3) konnten solche Effekte im Untersuchungsgebiet nicht beobachtet werden.

5.4.3 Lagerungsdichte (LD)

Die Lagerungsdichte entspricht dem Verhältnis der Masse der getrockneten Festsubstanz zum gesamten Bodenvolumen einschließlich der mit Luft gefüllten Porenräume (HILLEL 1971).

Die an den untersuchten Böden bestimmten Werte der Lagerungsdichte sind nach KUNTZE et al. (1983) durchwegs als sehr gering zu bezeichnen. In den stark humosen Ah-Horizonten liegen die Werte aufgrund der z.T. extrem hohen Gehalte an org. Substanz und der hohen Porosität am niedrigsten (zwischen 0,52 und 0,64 g/cm³, vgl. Abb. 5.4.3).

Die vorliegenden Ergebnisse finden ihre Bestätigung in den Untersuchungen von ADAMS (1973), CURTIS und POST (1964). Diese wiesen einen engen Zusammenhang zwischen Lagerungsdichte und dem Gehalt an organischer Substanz in den obersten Bodenhorizonten nach.

In der Lärchenaufforstung (HEUM) wirkt sich der hoch anstehende Hangschutt bereits in TS2 (10–20 cm) in einer Erhöhung der LD aus (0,86 g/cm³). Am Standort LYST wird aufgrund des hohen Humusanteiles ein Wert dieser Größenordnung (0,83 g/cm³) erst in einer Tiefe > 30 cm erreicht. Der

Tab. 5.4.2:

Klassifikation des Humusgehaltes nach KUNTZE et al. (1983) und SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL (1992) - verändert.

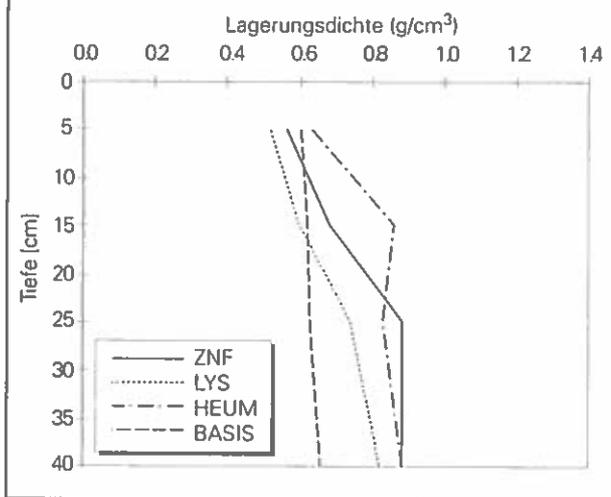
Bezeichnung	Humusgehalt (%)	typische Böden	Vegetation bzw. Nutzung
humusarm	<1	Rohböden	Pioniengesellschaften
schwach humos	1 - 2	Parabraunerde	Acker
mittel humos	2 - 4	Braunerden	Laubwald
stark humos	4 - 8	Podsol	Grünland
sehr stark humos	8 - 15	Podsol-Gley	Wald
humusreich	15 - 30	Gley, Pseudogley	Feuchtwiese

Tab. 5.4.3:
Einteilung der Lagerungsdichte (nach KUNTZE et al. 1983)

Bezeichnung	Dichte (g/cm ³)	Beispiele
sehr gering	< 1,20	sehr sperrig/lose gelagerter, humusreicher, gekrümmelter Boden
gering	1,20 - 1,40	sperrig/lose gelagerte Feinpolyeder, -prismen
mittel	1,40 - 1,75	offene/lose gelagerte Prismen, Polyeder
hoch	1,75 - 1,95	geschlossen/mittel - fest gelagerte Grobpolyeder, -prismen
sehr hoch	> 1,95	geschlossen/mittel - sehr fest gelagerte Grobprismen, kohaerent

Standort BASIS weist in den tieferen Schichten die niedrigste Lagerungsdichte auf (0,63 g/cm³ in 20 bis 30 cm, 0,66 g/cm³ in 30 bis 50 cm Tiefe). Der Standort Basis liegt im ältesten Teil der Aufforstung. Eine Möglichkeit für die lockere Lagerung der feinteilreicheren Bereiche aus denen die Zylinderproben entnommen wurden, ist in der dichteren Durchwurzelung dieser Schichten durch den gegenüber den Vergleichsflächen älteren Bestand zu sehen (vgl. Aufbau der Bodenprofile, Tab. 4.1.1).

Abb. 5.4.3
Lagerungsdichte ermittelt an Zylinderproben (200 cm³ Volumen) in Abhängigkeit von der Bodentiefe auf den vier Versuchsflächen



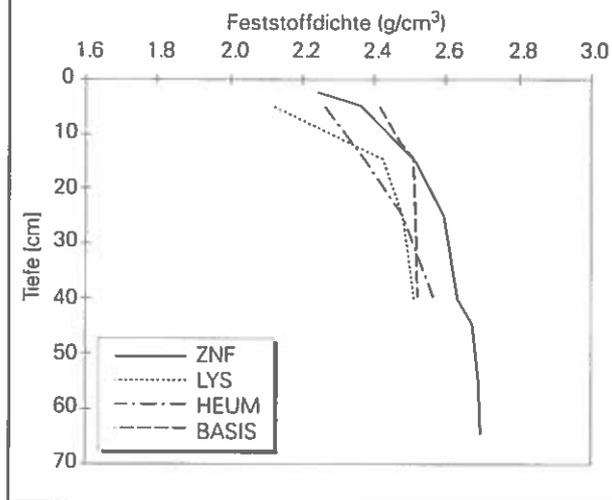
5.4.4 Feststoffdichte des Feinbodens ≤ 2mm

Wegen des geringeren Anteiles an organischer Substanz weist der Boden am Standort ZNF die höchsten Feststoffdichtewerte auf (Abb. 5.4.4). Diese steigen bis in eine Tiefe von 70 cm auf den Maximalwert von 2,69 g · cm⁻³.

Auf Standorten mit höherem Humusgehalt, wie z.B. LYST, ist die Feststoffdichte entsprechend niedriger. Hier steigt sie von 2,13 g/cm³ in 5 cm Tiefe nur auf 2,51 g/cm³ in TS 4 (30–50 cm) an. ADAMS (1973) hat bei podsoligen Böden eine enge Beziehung

zwischen dem Gehalt an organischer Substanz und der Dichte der festen Bodenbestandteile nachgewiesen. Zu ähnlichen Ergebnissen kam ZANETTI (1996) bei seinen Untersuchungen an Böden der Braunerde- und Podsolreihe im Finsingtal (Zillertal – Tirol).

Abb. 5.4.4:
Feststoffdichte des Feinbodens ≤ 2mm in Abhängigkeit von der Bodentiefe auf den vier Versuchsflächen.



5.4.5 Wasserspannungskurven (pF-Kurven) und Porenvolumina

5.4.5.1 Allgemeines

Die pF-Kurve stellt die Druckpotential-Wasseranteilsbeziehung ungestörter Bodenproben dar (Ö-NORM L-1063). Das Druckpotential ψ ist als hydrostatischer Druck im Bodenwasser, mit dem das Wasser im Boden festgehalten wird, definiert. Ein negativer Wert dieses Druckpotentials wurde früher auch als „Saugspannung“ bezeichnet. Da der Verlauf dieser Kurven von der Porengrößenverteilung und dem Porenvolumen abhängig ist, läßt die pF-Kurve mehr Rückschlüsse auf den Wasserhaushalt eines Bodens (Speichereigenschaften, Pflanzenverfügbarkeit, Geschwindigkeit der Entwässerung,...) zu, als die Körnung (SCHEFFER-SCHACHTSCHABEL 1992).

Vereinfacht gesehen erfolgt die Bindung des Wassers im Boden nach den Gesetzmäßigkeiten der Kapillarität und Adsorption an festen Grenzflächen. Nachdem die Wasserbindungsintensität, wie schon erwähnt, eine Funktion der Porengröße ist, kann

nach dem Kapillargesetz aus der Saugspannung ($h = hPa$) der Äquivalentdurchmesser ($d = \mu m$) errechnet werden (Tabelle 5.4.5.1). Wegen des großen Spannungsbereiches werden zur Kennzeichnung der Wasserspannung pF-Werte als dekadische Logarithmen des jeweiligen Druckes eingeführt, wobei p für Potential und F für freie Energie des Wassers steht (KUNTZE et al. 1994).

ZIMMERMANN et al. (1992) kamen bei der Berechnung von Wasser und Stoffflüssen im Untersuchungsgebiet Schluchsee (Kristallin-Schwarzwald) auf lehmig-grusigen Podsol-Braunerden und Podsolen zum Schluß, daß bodenphysikalische Eigenschaften, die im Fall der pF-Kurve zugleich eine Eichfunktion von Bodenwasserhaushaltsmodellen darstellen, selbst an Standorten mit homogenen Bodenbildungsverhältnissen nicht von einem Meßpunkt auf den anderen übertragbar sind. Daher wurden trotz der räumlichen Nähe der Versuchsfelder die pF-Kurven für die vier Versuchsfelder HEUM, ZNF, LYST, BASIS separat ermittelt.

Tab. 5.4.5.1:
Einteilung der Porengrößenverteilung und -funktionen nach KUNTZE et al. (1994) und HARTGE und Horn (1991), verändert.

Bezeichnung	Äquivalentdurchmesser μm	Saugspannungsbereich		Porenfunktion
		kPa	pf	
Grobporen, weite	>50	>5	<1,7	schnell dränend
Grobporen, enge	50 - 10	5 - 33	1,7 - 2,5	langsam dränend
Mittelporen	10 - 0,2	33 - 1500	2,5 - 4,2	pflanzenverfügbar
Feinporen	<0,2	>1500	>4,2	Totwasser

Grundsätzlich sollten für Felduntersuchungen auch Feldparameter bestimmt und verwendet werden. Die meist kleinere Streuung von Laborcurven täuscht eine Genauigkeit vor, die kein Maß für die Tauglichkeit des Parameters ist, um die bodenphysikalischen Vorgänge unter natürlichen Verhältnissen richtig zu beschreiben (BORER 1978).

Für die Erstellung von pF-Kurven wurden drei unterschiedliche Wege beschrrieben:

5.4.5.2 Freiland-pF-Kurven aus Tensiometerwerten in Kombination mit gravimetrischen Bestimmungen

Regressionsanalytische Berechnungen zwischen den mit den Tensiometern ermittelten Spannungswerten und dem gravimetrisch bestimmten Wasseranteil für das Jahr 1989 ergaben keinen signifikanten Zusammenhang. Basierend auf 12 bzw. 15 parallelen Messungen am Standort ZNF ergab sich für die

Tiefenstufe 0–10 cm $R^2 = 0,074$, für 20–30 cm $R^2 = 0,001$ und für 30–50 cm $R^2 = 0,000$. Auch an den anderen Vergleichsfelder gelang es nicht, Ausgleichsfunktionen ausreichender Genauigkeit für die Erstellung von pF-Kurven zu ermitteln.

Ein wichtiger Grund dafür ist in der großen örtlichen Variabilität des über die Bohrstockproben ermittelten Wasseranteiles gegenüber den stationären Tensiometern zu sehen (EHLERS 1978). Die räumlich stark wechselnde Bodendeckung durch den Bestand, kleinräumige Unterschiede in der Verteilung der Bodenvegetation, der Mächtigkeit der Humusaufgaben und der kleinräumig stark variierende Skelettanteil können als weitere für die unterschiedliche räumliche Verteilung der Bodenfeuchte maßgebliche Ursachen angesehen werden. MARKART und KOHL (1995) ermittelten den Wasseranteil der obersten Tiefenstufen jeweils vor und nach Beregnungen an 4 zufällig ausgewählten Punkten innerhalb der Versuchsfelder. Waren die kleinräumigen Unterschiede in der Ausgangsfeuchte

schon beträchtlich, so differierten die Werte für den nach der Beregnung ermittelten Wasseranteil um mehrere hundert Prozent. An einem Standort wurde nach einer Beregnung mit einer Intensität von 91,7 mm/h über 3 Stunden noch ein annähernd „trockener“ Zylinder entnommen, die Probe zerbröselte beim Ausheben. Etwa 1 m

daneben war der Oberboden dagegen so durchfeuchtet, daß die Probe bei der Entnahme regelrecht zerfloß.

5.4.5.3 Freiland-pF-Kurven aus Tensiometerwerten und Bodenfeuchtemessungen mit TDR-Sonden

Für die Berechnung der Freiland-pF-Kurven am Standort ZNF standen nur Meßwerte aus den Perioden 1993 und 1994 zur Verfügung. Unter Verwendung des Statistikpaketes SPSS erfolgte über schrittweise Regressionen für jede Tiefenstufe die Prüfung auf mögliche Zusammenhänge zwischen der Bodenfeuchte, bestimmt mit TDR-Sonden, und der Saugspannung der jeweils korrespondierenden Tensiometer. Die berechneten Korrelationskoeffizienten sind in Tab.5.4.5.3 angeführt.

TDR1 und T1, TDR2 und T2 liegen jeweils unmittelbar nebeneinander (max. 50 cm Entfernung).

Tab. 5.4.5.3:
Korrelationen (R) der Wasserspannung (mit Tensiometern gemessen) mit der Bodenfeuchte (über TDR-Sonden) am Standort ZNF.

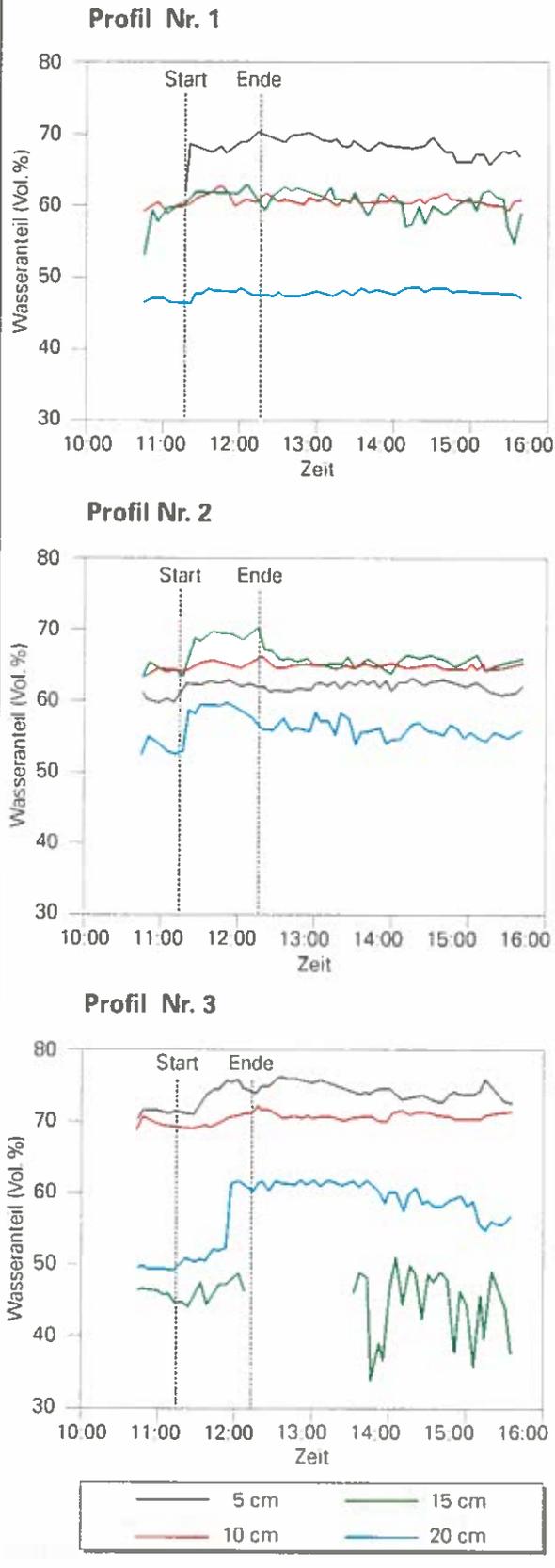
Tiefenstufe (cm)	TDR-Sonde Nr.	Tensiometer Nr.		
		T1	T2	T3
0-10	TDR 1	-	0,909	-
	TDR 2	0,798	0,85	0,88
10-20	TDR 1	-	0,399	0,956
	TDR 2	0,943	0,967	0,927
20-30	TDR 1	-	-	0,711
	TDR 2	-	-	-
30-50	TDR 1	-	0,694	0,645
	TDR 2	0,725	0,841	0,841

Für mit (-) gekennzeichnete Variablen ergab sich bei $\alpha = 95\%$ kein hinreichend enger Zusammenhang, sie wurden nicht in die Gleichung aufgenommen.

- ▶ Während sich im Oberboden (0–20 cm) noch ein relativ enger Zusammenhang zwischen Feuchtefühler und Tensiometer zeigt, nehmen die Korrelationskoeffizienten mit der Tiefe ab.
- ▶ Ein besonderes Problem ergibt sich im unteren Bereich der intensiv durchwurzelten Bodenzone (20–30 cm): Nur für jene TDR-Sonde und das Tensiometer, die am weitesten (ca. 4 m) voneinander entfernt sind, wurde mit $R = 0,711$ ein für die Erstellung von Feld-pF-Kurven allerdings nicht ausreichender Zusammenhang ermittelt. Zwischen den unmittelbar benachbarten TDR-Sensoren und Tensiometern besteht keine signifikante Beziehung.
- ▶ Auch in 0–10 cm Tiefe bzw. für TDR1 in 10 bis 20 cm Tiefe zeigt sich eine bessere Übereinstimmung zwischen den weiter entfernten Meßfühlern. Zudem werden für TDR1 nicht einmal 50%, für TDR2 max. 77% der Standardabweichung durch die Ausgleichsfunktion erklärt.

Aus dem vorliegenden Datenmaterial läßt sich daher keine pF-Kurve für den intensiv durchwurzelten Raum in 20 bis 30 cm erstellen. Es gelten im Prinzip die bereits unter Kap. 5.4.5.2 angeführten Ursachen. Besonders kritisch auf die TDR-Messungen wirkt sich der hohe Skelettanteil aus. So ergaben beispielsweise die Messungen der Bodenfeuchte im Zuge der Starkregensimulationen 1991 kleinflächig extreme Unterschiede in der Ausgangsfeuchte sowie im Aufsättigungsverhalten der Bodenmatrix während des Beregnungsvorganges (Abb.5.4.5.3). Die Änderung des Wasseranteiles in Abhängigkeit von der Beregnungsdauer wurde an drei nahe zusammenliegenden Bodenprofilen innerhalb der Fläche, in jeweils vier Tiefenstufen, über TDR-Sonden

Abb. 5.4.5.3:
Zeitlicher Verlauf der Aufsättigung der Bodenmatrix bei simulierten Starkregen am Standort ZNF.



gemessen. Einige Meßfühler zeigten einen raschen Anstieg der Bodenfeuchte während des Beregnungsvorganges. Dabei dürfte die Aufsättigung über Makroporen erfolgt sein. WILSON und LUXMORE (1988) stellten bei Infiltrationsmessungen in bewaldeten Einzugsgebieten in Tennessee fest, daß 85% des gesättigten Abflusses über Makroporen erfolgte. Sowohl die Aufsättigungs- als auch die Entwässerungskurven nach Beregnungsende zeigen teilweise starke Schwankungen. Diese können ihre Ursache in ruckartigen Be- und Entwässerungsvorgängen in Makroporen bzw. in Gefügestörungen bzw. der Vergrößerung des Porenraumes beim Einbau der TDR-Fühler durch Verdrängung des Grobanteiles haben (MARKART und KOHL 1995, MARKART et al. 1996c, WEGEHENKEL 1998). Luftspalte um die Sondenstäbe bewirken bei feuchten Bedingungen zu hoch bzw. bei Austrocknung des Bodens zu niedrig gemessene TDR-Werte (WEGEHENKEL 1998). Trotz der räumlichen Nähe, alle Profile liegen innerhalb eines Kreises von < 4 m Durchmesser, bestehen große Unterschiede im Aufsättigungsverhalten und in der Höhe des Wasseranteiles nach Beregnungsende.

5.4.5.4 Labor-pF-Kurven

(Methodik vgl. Kap. 4.5.4.7)

FLOHLER et al. (1976) stellten bei Untersuchungen an einer pseudovergleyten Parabraunerde auf Lößlehm fest, daß im Saugspannungsbereich von 0–50 hPa die Steigungen der Felddesorptionskurven wesentlich größer als jene der Laborkurven sind, da der Boden wegen der gefangenen Luft nur unvollständig aufgesättigt wird. Auch bei den Untersuchungen von BEESE und WIERENGA (1979) an tonig lehmigen bzw. sandigen Böden wiesen die Felddkurven eine erhebliche Differenz zu den Laborkurven auf, d.h. bei gleicher Wasserspannung wurden im Feld geringere Wassergehalte gefunden. Auch EHLERS (1978) weist darauf hin, daß sich Labor- und Feld-pF-Kurven nicht unbedingt entsprechen müssen. Der kleinere Sättigungsgrad unter Feldbedingungen repräsentiert eher die ökologisch wirksame Wassersättigung als die unter Laborbedingungen erhaltene, wesentlich höhere Sättigung. Die zeitlichen Wassergehaltsänderungen werden also im Bereich niedriger Saugspannungen überschätzt, wenn dazu Laborkurven benützt werden.

Allerdings stellten BENNETT und ENTZ (1989) bei Vergleichen von Labor- und Feldretentionskurven grobtexturierter Böden (S bis sL) einen deutlich höheren Wasseranteil bei Feldkapazität nach 48 Stunden im Gelände gegenüber der Extraktion

gestörter und ungestörter Proben bei 100 hPa fest. Ähnliche Resultate erzielten auch RIVERS und SHIPP (1972). Es ist jedoch anzunehmen, daß der Wassergehalt bei Feldkapazität nicht immer dem bei 100 hPa entspricht. Die Erstellung von Freiland-pF-Kurven zur Verifizierung der Labor-pF-Kurven war im Zuge der gegenständlichen Arbeit nicht mit hinreichender Genauigkeit möglich (vgl. Kap. 5.4.5.2 und 5.4.5.3). Ordnet man aber die für Haggen ermittelten Desorptionskurven in die angeführten Arbeiten ein, ist einerseits anzunehmen, daß die Neigung der stark sandigen Böden in Haggen zu Quellungs- und Schrumpfungsvorgängen gegenüber den wesentlich bindigeren Parabraunerden von FLOHLER et al. (1976) deutlich geringer ist. Andererseits sind die grobtexturierten Böden in Haggen mit einem Gehalt an OS im Oberboden von 15,2% humusreicher als die von BENNETT und ENTZ (1983) analysierten Böden mit 0,6 bis 1,5% Gehalt an OS, und daher die Wahrscheinlichkeit von Quelleffekten und Luftinklusionen bei den Haggener Böden größer. Es wird daher angenommen, daß die Abweichung der im Labor ermittelten Desorptionskurven für Haggen vom tatsächlichen Entwässerungsverhalten im Gelände geringer ist, als die in den angeführten Arbeiten.

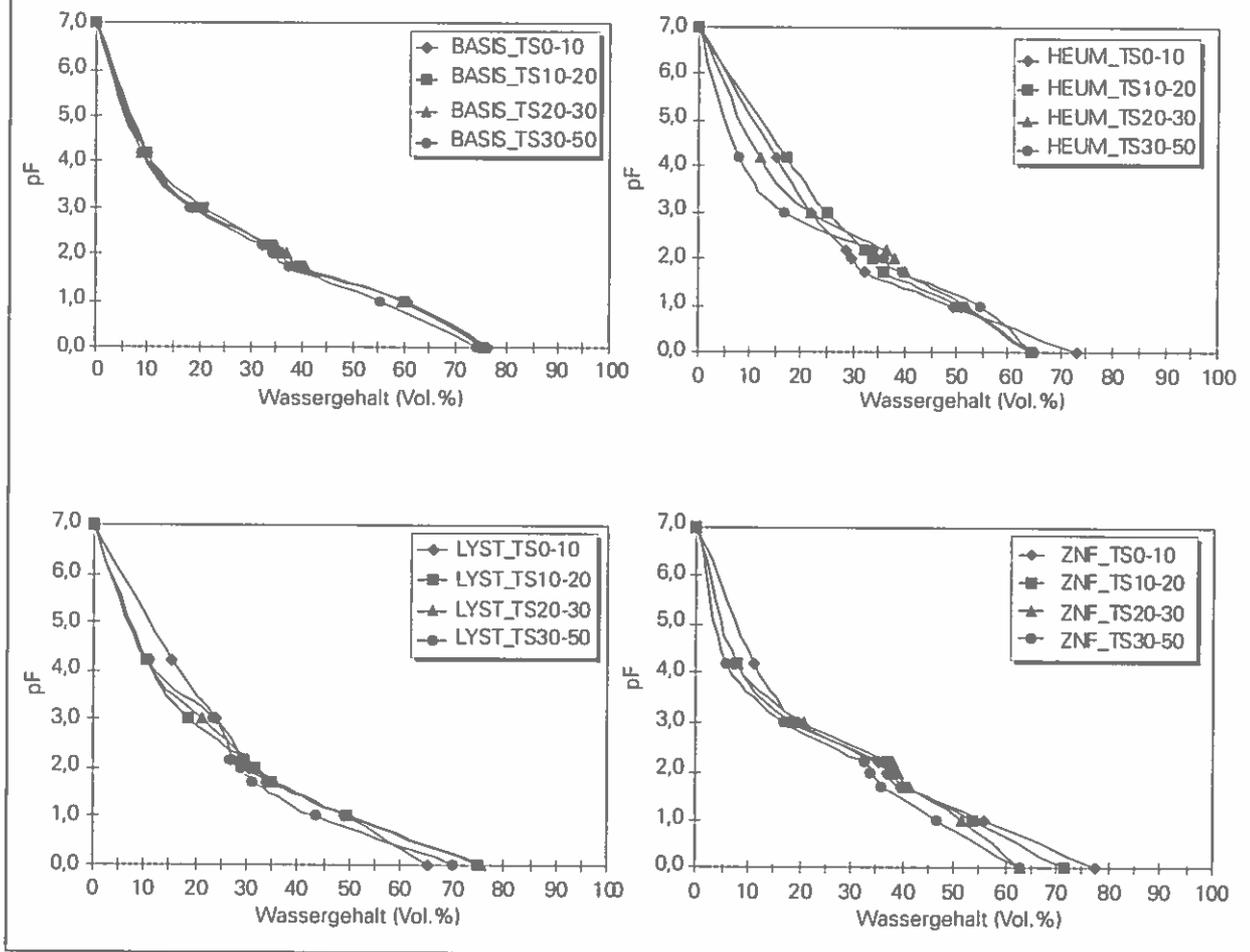
Bei Betrachtung der an den vier Vergleichsstandorten ermittelten pF-Kurven (Abb. 5.4.5.4.1) fallen die hohen an Zylinderproben mit 200 cm³ Volumen ermittelten Gesamtporenvolumina auf. Diese liegen zwischen 77 und 65% in der obersten Tiefenstufe (0–10 cm) und 75 bis 63% in den tiefsten untersuchten Bodenschichten (30–50 cm). Unter Berücksichtigung des Grobanteiles wird diese Porenausstattung jedoch geringer (vgl. Abb. 5.4.5.5).

Die Kurven der 4 Versuchsstandorte verlaufen sehr ähnlich, alle weisen einen nur langsam ansteigenden Ast bis 330 hPa auf, das bedeutet sehr hohe Grobporenvolumina - zwischen 20 und > 35% des GPV bezogen auf den Feinporenanteil. Mittel- und Feinporenanteile sind wesentlich schwächer ausgeprägt. Die Äste der einzelnen Tiefenstufen liegen mit Ausnahme von ZNF (bis 100 hPa) und HEUM (gesamt) sehr nahe beieinander, d.h. es ist mit zunehmender Tiefe nur eine geringfügige Änderung der Porengeometrie gegeben.

Im Bewußtsein, daß die Zylinderproben aufgrund des beschränkten Volumens von 200 cm³ relativ homogene Ausschnitte eines inhomogenen Systems (ohne Miteinbeziehung des größeren Bodenskelettes) darstellen, wurden für die Erstellung der Wasserbilanzen (Kap. 5.6) anhand der Ergebnisse

Abb. 5.4.5.4.1:

Experimentell an Zylinderproben (200 cm³ Volumen) für die Versuchsflächen BASIS, HEUM, LYST und ZNF ermittelte Druckpotential-Wasseranteilsbeziehungen; TS = Tiefenstufe.



Tab. 5.4.5.4:

Druckpotential-Wasseranteilsbeziehung für die Versuchsfläche ZNF (0-50 cm Tiefe), als Funktion 5-ter Ordnung berechnet.

Funktionen: $y = (((A \cdot \ln x + B) \cdot \ln x + C) \cdot \ln x + D) \cdot \ln x + E) \cdot \ln x + F$

	A	B	C	D	E	F	R ²
0 - 10 cm	-0,0000479	-0,0006944	-0,0003736	0,419338	-5,432862	22,05403	0,94
10 - 20 cm		-0,0029560	0,0201530	0,465167	-6,032695	20,81570	0,94
20 - 30 cm	-0,0006824	0,0004862	0,0847820	0,162162	-6,956357	23,54154	0,90
30 - 50 cm		-0,0021600	0,0201330	0,364406	-5,424196	18,79312	0,93

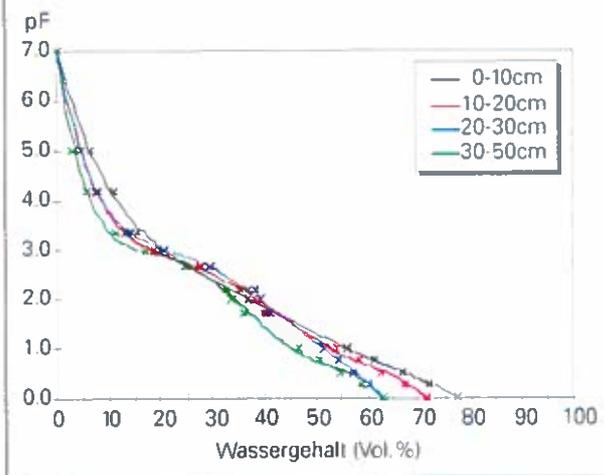
der Bestimmungen am Unterdruckkapillarimeter und an der Druckplattenapparatur Ausgleichskurven berechnet. Die Streubreite der anderen zur Verfügung stehenden Datengrundlagen (Bodenfeuchtemessungen – vgl. Kap. 5.4.5.2 und 5.4.5.3) war gegenüber den pF-Daten noch wesentlich höher (vgl. Abb. 5.5.1.2).

Die Funktionen für den Standort ZNF sind in Tab. 5.4.5.4 und Abb. 5.4.5.4.2 angeführt. Diese Funktionen 5-ter Ordnung kommen dem im Labor ermittelten

Desorptionsverhalten am nächsten. Der Verlauf dieser Kurven ist eng mit den tatsächlichen Meßwerten korreliert (R = 0,97 bis 0,95), 90 bis 94% der Standardabweichungen werden durch diese Funktionen erklärt. Die Kurven der einzelnen Tiefenstufen klaffen vor allem im Bereich der Wassersättigung (0 bis 10 hPa) deutlich auseinander. Dieser Zustand kommt jedoch in der Realität im Untersuchungsgebiet kaum vor, wie auch die Starkregensimulationen am 3. und 4.7.1991 mit 102,3 bzw. 100,9 mm Niederschlag zeigten, da

Abb. 5.4.5.4.2:

Ausgleichsfunktionen der pF-Kurven für die Versuchsfäche ZNF.



aufgrund der Textur (S, uS, IS), des hohen Skelettgehaltes, und des damit verbundenen hohen Anteiles an rasch dränenden Poren eine absolute Sättigung des Bodens kaum zu erreichen ist (NEUWINGER et al. 1988).

5.4.5.5 Porenraumverteilung unter Miteinbeziehung des Grobanteiles

In Abb. 5.4.5.5 ist die Substanz- und Porenraumverteilung der podsoligen Braunerde am Standort ZNF unter Miteinbeziehung des durch Siebung bzw. Tauchen quantitativ ermittelten Skelettanteils dargestellt.

Unter Berücksichtigung des Grobanteiles > 2mm werden die für den Feinboden < 2 mm bzw. an Stechprobenzylindern (200 cm²) ohne höheren

Grobanteil ermittelten Porenvolumina und Feinfraktionsanteile deutlich geringer. Der mineralische Anteil nimmt ab 30 cm Tiefe auf über 50 Vol% zu Lasten des Volumens der weiten und engen Grobporen zu. Deren Volumen bleibt erst ab 20 cm Tiefe annähernd konstant. Der höhere Grobanteil ab 30 cm hat vor allem eine Reduktion des Mittelporenvolumens zur Folge. Dies kann als eine mögliche Ursache für die Konzentration der Wurzeln im Bereich von 0–30 cm angesehen werden.

5.5 Bodenwasserpotential

5.5.1 Qualität der Tensiometerdaten

Wie in Kap. 4.5.1 ausgeführt, wurde in den Meßperioden der Jahre 1989 bis 1994 an den Versuchsfächen das Druckpotential des Bodenwassers mit Tensiometern gemessen. Diese waren meist nahe nebeneinander, im Abstand von 30 - 50 cm für die jeweilige Tiefenstufe eingebaut. Dennoch ergaben sich bei vergleichbaren Bedingungen auch auf engstem Raum Unterschiede im Unterdruck von

Tab. 5.5.1:

Verteilung der Tensiometer am Standort ZNF nach Tiefenstufen.

Tiefe (cm)	Tensiometer Nr.		
	Profil 1	Profil 2	Profil 3
5	T1	T5	T10
15	T2	T6	T11
25	T3	T7	T12
35	T4	T8	T13
45		T9	T14

Abb. 5.4.5.5:

Verteilung der Substanz- und Porenvolumina in Abhängigkeit von der Bodentiefe am Standort ZNF.

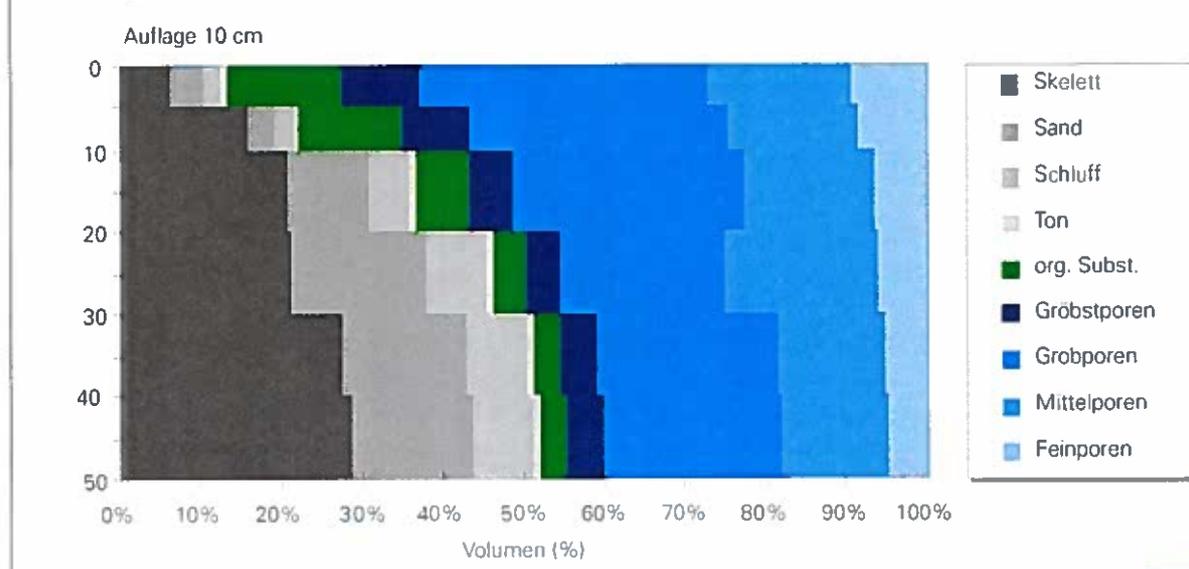
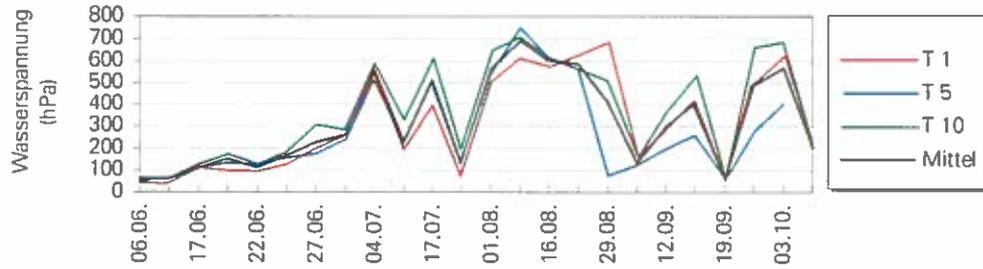


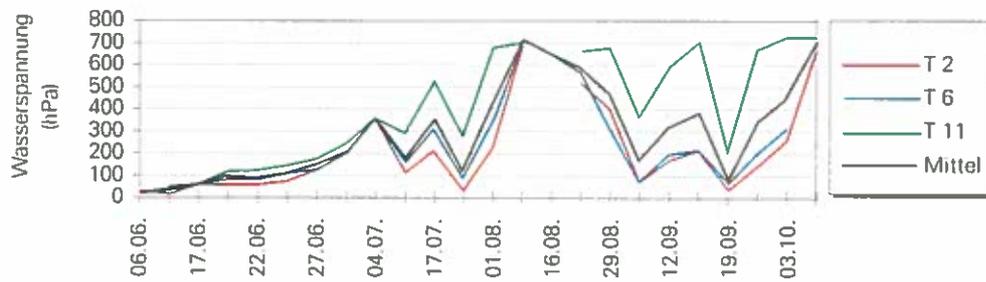
Abb. 5.5.1.1:

Saisonaler Verlauf der Wasserspannungen im Jahr 1994 am Standort ZNF an 3 nebeneinander angeordneten Tensiometer-Profilen in einer Bodentiefe 5, 15, 25, 35 und 45 cm (T = Tensiometer).

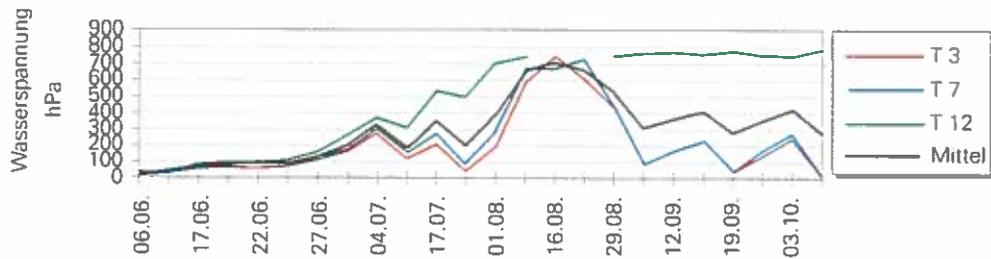
5 cm



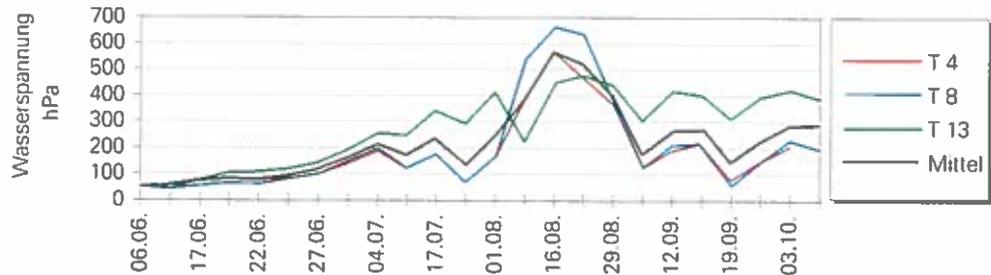
15 cm



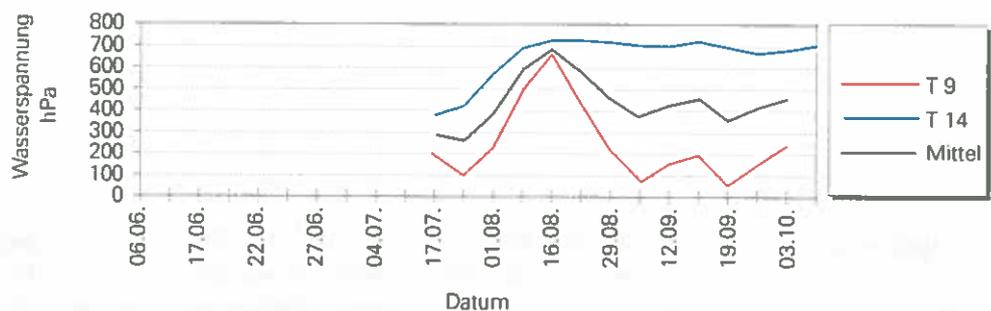
25 cm



35 cm



45 cm



Datum

mehreren hundert hPa, wie der in Abb. 5.5.1.1 als Beispiel angeführte Verlauf der Wasserspannungskurven am Standort ZNF im Jahr 1994 zeigt. Die Verteilung der Tensiometer am Standort ZNF nach Tiefenstufen ist in Tab. 5.5.1 angeführt.

Nach der Ausaperung und anschließenden Phasen ausgeglichener Niederschlagsversorgung (bis Anfang Juni) zeigen die Druckpotentialkurven in den einzelnen Tiefenstufen bis Anfang Juli einen nahezu kongruenten Verlauf. In der Phase intensiven Wasserverbrauches während der Sommermonate und niedrigerer Niederschlagsmengen/Tag in der ersten Augushälfte steigen einerseits die Wasserspannungswerte in allen Tiefenstufen an, andererseits ist eine Zunahme der Unterschiede der Meßwerte mit der Tiefe zu beobachten.

Ab dem Spätsommer zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den an Profil Nr. 3 und den beiden anderen Profilen gemessenen Werten. Die Trockenperioden in der ersten Septemberdekade, Ende September und Mitte Oktober (vgl. Abb. 5.5.1.1) hatten an Profil 3 wiederholt einen Anstieg des Unterdruckes bis an die Meßbereichsgrenze der Tensiometer zur Folge. Dagegen stieg der Unterdruck an den Profilen 1 und 2 ab September (mit Ausnahme der obersten Tiefenstufe) nicht über 300 hPa. Die Hauptursachen dieser Abweichungen sind in der standörtlichen Heterogenität (Korngrößenverteilung, Skelettanteil, Intensität der Durchwurzelung, Überschirmungsgrad des Bestandes, Randeffekte) zu sehen.

Zur Beurteilung des zeitlichen Verlaufes der Wasserverfügbarkeit wurde für jede Tiefenstufe an den Versuchsflächen ZNF, LYST, UH, HEUM, BASU, BASO das arithmetische Mittel der Wasserspannungen der einzelnen Tiefenstufen gebildet. Die Größenordnungen der Standardabweichungen s vom Mittelwert des Druckpotentials des Bodenwassers in den einzelnen Tiefenstufen am Standort ZNF sind in Abb. 5.5.1.2 für die Jahre 1993 und 1994 aufgetragen. Die Größe von s hängt von der räumlichen Variabilität des Bestandesniederschlages, der Wurzelverteilung, der Bodenparameter und der Distanz Bodenoberfläche – geologischer Untergrund ab (GREMINGER 1982).

1993

Für dieses Jahr läßt sich kein eindeutiger Trend erkennen. Bereits kurze Niederschlagspausen haben einen deutlichen Anstieg von s zur Folge. Die Standardabweichungen s sind in 15 und 25 cm Tiefe (Hauptwurzelhorizont) bereits nach kurzen

Trockenperioden wesentlich höher als in der obersten Tiefenstufe bzw. in 35 cm Tiefe. Im Juli und August sind bei den in 45 cm Tiefe installierten Tensiometern besonders hohe Abweichungen zu beobachten. Erst die geringen Septemberriederschläge führen zu einer Abnahme der Standardabweichungen in allen Tiefenstufen.

1994

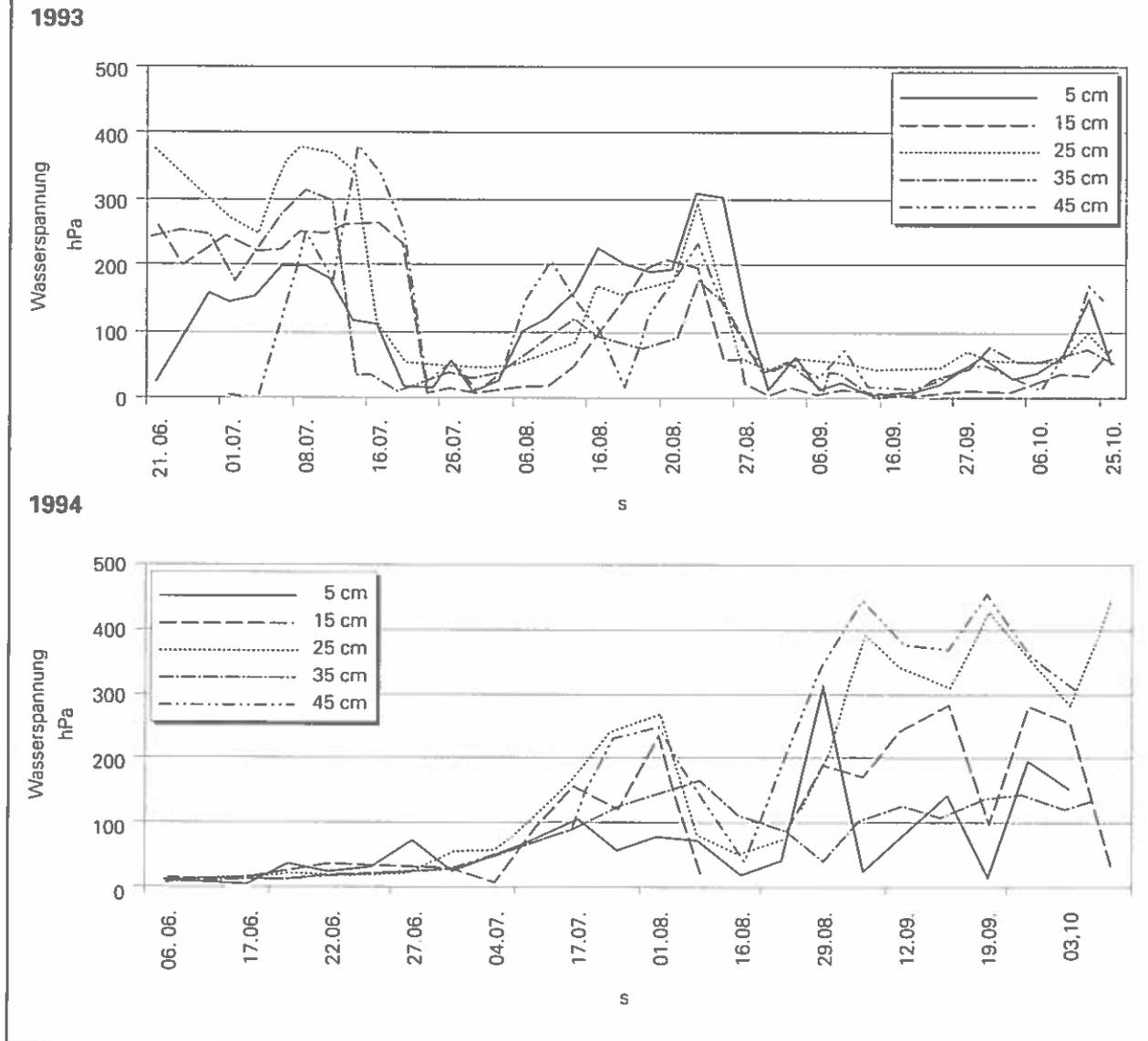
Aufgrund hoher Niederschläge Anfang Juni ist der Boden homogen durchfeuchtet, s für alle Tiefenstufen gering. Die geringere Intensität der Sommerregen kombiniert mit regenfreien Perioden bis zu einer Woche hat einen deutlichen Anstieg von s über die gesamte beobachtete Profiltiefe zur Folge. Bis zum Ende der Meßperiode nimmt die Streuung der Tensiometerwerte im Hauptwurzelraum (15 und 25 cm Tiefe) und in 45 cm Tiefe stetig zu. In der obersten Tiefenstufe ist nur unmittelbar nach Regenfällen eine kurze Angleichung der Tensiometerwerte zu erkennen.

Die stichprobenweise durchgeführte Prüfung der Saugspannungswerte jeder Tiefenstufe am Standort ZNF ergab keine normale, sondern eine leicht linkschiefe Verteilung. Ähnlich wie bei GREMINGER (1982) verbesserte die logarithmische Transformation der Werte die Übereinstimmung mit der Normalverteilung nur in geringem Maß. Für eine Absicherung mit $\alpha = 10\%$ Irrtumswahrscheinlichkeit wäre eine wesentlich höhere Anzahl von Tensiometern je Standort notwendig gewesen. BRECHTEL (1981) stellte bei Messungen des Bodenwasserverbrauches auf Lockersediment-Standorten der Rheinischen Tiefebene an den extremsten Standorten Variationskoeffizienten der Bodenfeuchte von 10–22% fest. Für die Absicherung mit $\alpha = 10\%$ Irrtumswahrscheinlichkeit wären jedoch 4 bis 15 Stationswiederholungen notwendig gewesen.

Zur Beobachtung der Bodenwasserspannung auf den Versuchsflächen standen max. 3 Tensiometer je Tiefenstufe bis in 50 cm Tiefe zur Verfügung. Am Standort ZNF konnte parallel zu den Bestimmungen des Druckpotentials im Bodenwasser über Tensiometer auch direkt der Wasseranteil in Vol% über TDR-Sonden ermittelt werden. Die Anzahl von maximal drei Wiederholungen je Tiefenstufe ist für eine gesicherte Mittelwertbildung nicht als ausreichend zu bezeichnen, wie auch die hohen Werte der Standardabweichungen zeigen (Abb. 5.5.1.2), diese sind nach RAKEI et al. (1992) als Maß für die Inhomogenität der Infiltration, der physikalischen Bodeneigenschaften und des Wasserentzuges durch die

Abb. 5.5.1.2:

Standardabweichungen (s) der Wasserspannungen im Boden (angegeben in hPa) in 0 bis 50 cm Tiefe am Standort ZNF in den Beobachtungsperioden 1993 und 1994.



Pflanzen anzusehen. MOESCHKE (1998) ermittelte die Spannung des Bodenwassers in drei bewaldeten Kleineinzugsgebieten im Flysch der Tegernseer Berge mit 70 Einstichtensimetern pro Standort. Bei der hohen kleinräumigen Inhomogenität der Waldböden war die hohe Anzahl von 20 Meßwiederholungen pro Horizont und Standort notwendig, um über eine Mittelwertbildung der Wasserspannungen repräsentative Werte des Sättigungsdefizits zu berechnen.

Die Abweichung der einzelnen Tensiometerwerte vom Mittel nimmt ähnlich den Resultaten von BRÜLHART (1969) in einem Pinus-Bestand des Schweizer

Mittellandes mit ansteigender Wasserspannung im Boden zu. Auch bei direkter Bestimmung der Bodenfeuchte in Vol% im Feld zeigen sich bei heterogenen alpinen Böden kleinflächig extreme Unterschiede. Messungen mit TDR-Meßfühlern von GARTNER (1998) an 16 Meßpunkten in einem 16 * 16 m Raster auf Braunlehm – Rendzinen unter einer einzelnen Fichte am Schulterberg (Raum Achenkirch Tirol) bei trockenen Bedingungen ergaben eine Schwankungsbreite der Bodenfeuchte von mehr als 20 Vol%. Bei hoher Bodenfeuchte war die Schwankungsbreite noch wesentlich stärker ausgeprägt, sie betrug über 40 %.

5.5.2 Bodenwasserpotential in den Meßperioden 1989 bis 1994

In Anlehnung an MÜLLER (1956), HAGER (1988), MILLBACHER (1992) wurde für jeden Meßtermin und jede Tiefenstufe das mittlere Matrixpotential ermittelt, im folgenden sind die Potentialverläufe für die wichtigsten Versuchsflächen als „Matrixsaugspannung“ ($y_m \cdot -1$) dargestellt. Der Begriff „Saugspannung“ ist nach Ö-NORM L1063 (1988) nicht mehr zulässig, es werden daher die Begriffe Druckpotential, Unterdruck oder Wasserspannung verwendet, die Darstellung erfolgt in Form von IsoPLEthen.

Die Abb. 5.5.2 a-f geben die IsoPLEthen der Bodenwasserspannung der wichtigsten Versuchsflächen für die Meßperioden der Jahre 1989 bis 1994 wieder, und zeigen, daß mehrere Niederschläge geringer Intensität sich rasch auf die Wasserspannung auch in größeren Tiefen auswirken. Es konnte jedoch nicht unmittelbar nach jedem Regenereignis auch die Änderung der Bodenwasserspannung sofort bzw. kontinuierlich erfaßt werden. Daher wurde die Änderung des Bodenmatrixpotentials am Tag x in Abhängigkeit vom Ausgangspotential des Tages x - 1 und den Niederschlagswerten der Tage x und x - 1 über multiple Regressionen berechnet.

Um den Einfluß der stark unterschiedlichen Niederschlagsbedingungen der den Tensiometerablesungen vorhergehenden Tage zu berücksichtigen, wurden Art und Menge der Niederschläge über die folgenden Regressionsbeziehungen geschätzt:

► Bedingung: Niederschlagssumme der Tage x und x-1 kleiner 4 mm

Korrelationskoeffizient: 0,96

Bestimmtheitsmaß: 0,92

Funktion:

$$P(x) = 1,05 \cdot P(x-1) - 0,39 \cdot N((x)+(x-1))$$

► Bedingung: Niederschlagssumme der Tage x und x-1 größer 4 mm, aber am Tag x selbst weniger als 1 mm Niederschlag

Korrelationskoeffizient: 0,96

Bestimmtheitsmaß: 0,91

Funktion:

$$P(x) = 1,03 \cdot P(x-1) + 0,53 \cdot N((x)+(x-1))$$

► Bedingung: Tiefe < -35 cm; hohe Vorbefeuchtung (< 175 hPa); Niederschlagssumme der Tage x und x-1 größer 4 mm, am Tag x mehr als 1 mm Niederschlag

Korrelationskoeffizient: 0,93

Bestimmtheitsmaß: 0,86

Funktion:

$$P(x) = 0,88 \cdot P(x-1) - 0,15 \cdot N(x)$$

► Bedingung: Tiefe < -35 cm; geringe Vorbefeuchtung (> 175 hPa); Niederschlagssumme der Tage x und x-1 größer 4 mm, am Tag x mehr als 1 mm Niederschlag

Korrelationskoeffizient: 0,91

Bestimmtheitsmaß: 0,81

Funktion:

$$P(x) = 0,85 \cdot P(x-1) - 2,74 \cdot N(x)$$

P(x) = Bodenfeuchte am Tag x (in mm)

P(x-1) = Bodenfeuchte am Tag x-1 (in mm)

N = Niederschlag in mm

Die ermittelten Funktionen wurden für die Interpolation fehlender Daten, z.B. in niederschlagsarmen Phasen, fallweise fehlten Meßwerte z.B. wegen Austrocknung der Tensiometer, herangezogen. Für Phasen mit zunehmendem Wasseranteil im Boden bei abnehmendem Unterdruck konnte nur für die Tiefenstufen ≥ 35 cm Tiefe ein signifikanter Zusammenhang zwischen Niederschlagsangebot und Druckpotential gefunden werden. Für die statistischen Berechnungen wurde nach hoher Vorbefeuchtung (< 175 hPa) und geringer Vorbefeuchtung > 175 hPa) differenziert. Für 0 bis 35 cm Bodentiefe konnte vermutlich wegen der organisatorisch bedingten unterschiedlichen Zeitpunkte der Tensiometerablesung (diese variierten zwischen 730 und 1100) und weil nur Angaben über die absolute Niederschlagsmenge, nicht aber über deren zeitliche Verteilung vor dem Meßtag und am Tag der Messung vorlagen, kein signifikanter Zusammenhang zwischen Tagesniederschlägen und Änderung des Matrixpotentials gefunden werden.

Nach hohen Niederschlagsmengen sinken die Spannungswerte um durchschnittlich 26 hPa ab, die Standardabweichung ist extrem hoch ($s = 90$ hPa).

Die IsoPLEthen wurden mit dem Programm SURFER der Fa. GOLDEN SOFTWARE berechnet. Dieses Programm bietet eine Reihe von Möglichkeiten zur Interpolation fehlender Meßwerte bzw. zur Glättung und Ausrundung von Kurven. Missing values wurden im Ein- bzw. Zweitagesabstand über den Filter „Nächster Nachbar“ interpoliert. Bei Interpolation mit dem häufig angewandten Filter „Kriging“ werden Austrocknungs- und Befeuchtungsspitzen zu sehr gekappt, scharfe Änderungen im Gang des Druckpotentials, wie z.B. im September 1989 an der BASIS gemessen (Abb. 5.5.2 a), würden nicht richtig wiedergegeben.

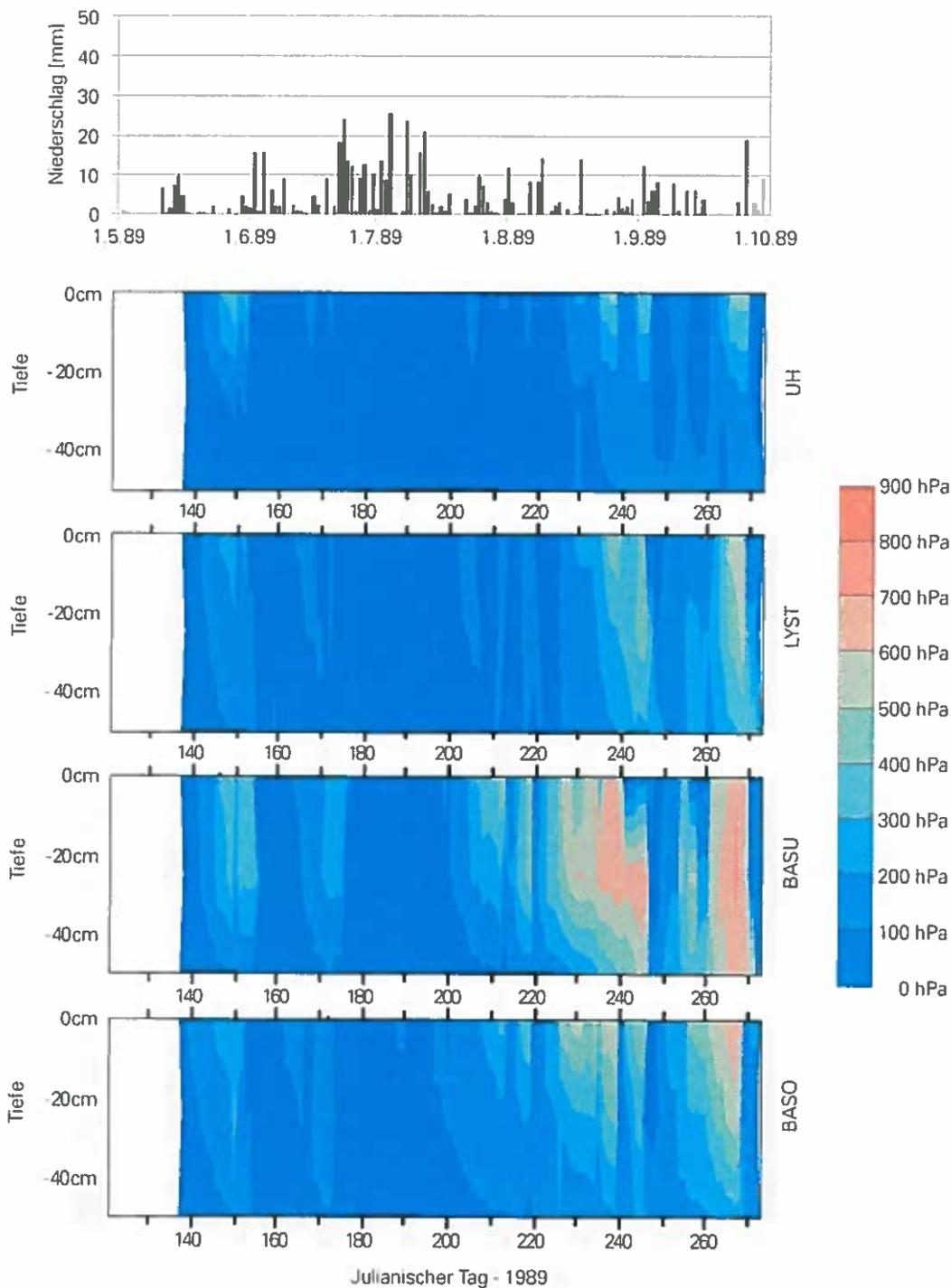
Bodenwasserpotentialkurven für die Meßperioden 1989 bis 1994

1989

Abb. 5.5.2 a gibt die gefallen Niederschläge und die Änderung der Bodenwasserspannung im Jahr 1989 für die Versuchflächen Unterhang (UH),

Lysimeterstation (LYST), Basis unten (BASU) und Basis oben (BASO) wieder. Der Versuchszeitraum wies keine Trockenphasen auf. So wurde auf der Versuchsfläche UH nur im Bereich der Bodenkrume vereinzelt und für extrem kurze Perioden Wasser- spannungen um 600 hPa gemessen.

Abb. 5.5.2 a: Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1989 an den Versuchflächen UH, LYST, BASU, BASO.



An der Station LYST lassen nur längere Perioden mit geringen Niederschlagsintensitäten Mitte bis Ende August und Ende September den Unterdruck in den Bereich von 600 bis 700 hPa ansteigen. Die flach wurzelnde Vegetation (insbesondere *Calluna vulgaris*) verhindert eine stärkere Austrocknung. An der BASIS schlägt sich der stärkere Wasserverbrauch der dichten Aufforstung rascher nieder. Die Wasserspannungen steigen früher und auf einen höheren Wert als bei den Stationen LYST und UH. Alle Standorte reagieren rasch bereits auf geringe Niederschlagsmengen, wie z.B. Ende August. Selbst auf der am dichtesten bestockten BASU sinkt der Unterdruck in der obersten Tiefenstufe (0–10 cm) rasch auf Werte unter 300 hPa. Für die Aufsättigung der

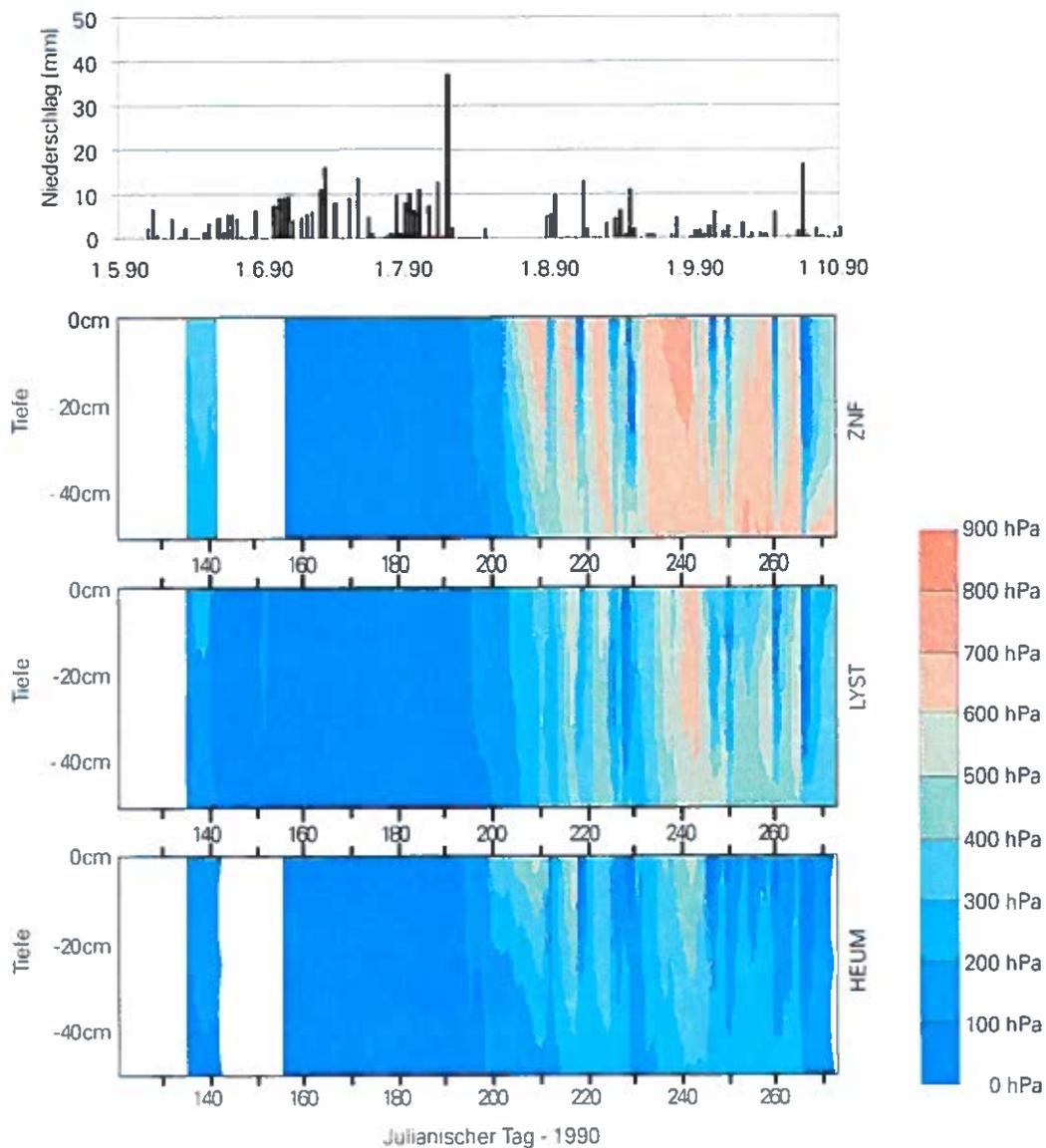
tieferen Schichten reichte die Niederschlagssumme der Periode vom 24. bis 30.8. (max. 4 mm/d), von der an der BASIS ein großer Anteil im Kronenraum zurückgehalten wurde, nicht aus. Diese erfolgte erst durch den Regen von 2. bis 5.9. Eine kurze Trockenperiode von 8 Tagen mit nur 1 mm Niederschlag Mitte September trocknete den Boden nur auf der BASU bis an die Meßbereichsgrenze der Tensiometer aus. Am Standort LYST wurden nur im Oberboden kurzfristig Spannungen bis 600 hPa gemessen.

1990 (Abb. 5.5.2 b)

Die Meßfläche UH wurde zugunsten des Standortes Zirben-Nullfläche (ZNF) aufgelassen, da an diesem für die nächsten Jahre die Quantifizierung des

Abb. 5.5.2 b:

Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1990 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, HEUM.



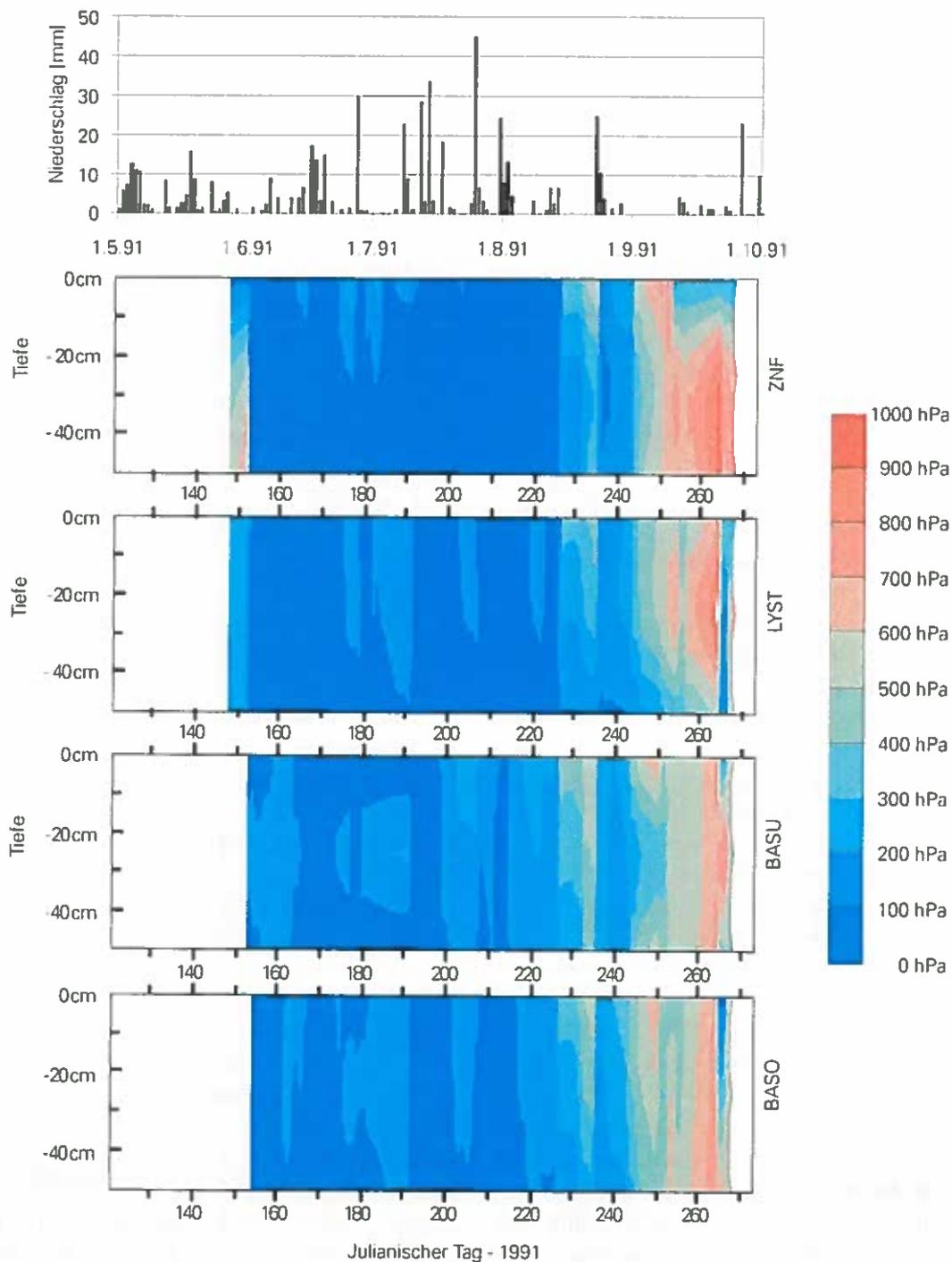
Bestandesniederschläges vorgesehen war. Als weitere Vergleichsfläche ist die zu diesem Zeitpunkt 8 Jahre alte Lärchenaufforstung HEUM angeführt.

Anfang Juni waren für einen Zeitraum von ca. 14 Tagen einige Tensiometer nach einem Spätfrost ausgefallen, wieder andere lieferten nicht reproduzierbare Meßwerte. Die Messungen konnten erst

nach einer Neukalibrierung bzw. dem Tausch defekter Manometer fortgesetzt werden.

Aufgrund der Regenfälle bis Mitte Juli ist bei maximalen Tagesniederschlägen von 37 mm erst nach einer Woche Verzögerung ein deutlicher Spannungsanstieg auf allen Versuchsflächen zu beobachten. Ab 20. Juli wechseln auf allen drei Standorten bis zur

Abb. 5.5.2 c:
Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1991 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, BASU und BASO.



Einstellung der Messungen Anfang Oktober Spannungsanstiege und durch Niederschläge geringer Intensität ausgelöste Spannungsabfälle binnen kurzer Frist. Der Grad der Austrocknung ist auf der annähernd voll bestockten ZNF wesentlich höher (bis 900 hPa), auch reicht die Wasserabnahme wesentlich tiefer (> 50 cm). Am wenigsten wirken sich die geringen Niederschlagsmengen am Standort HEUM aus. Die jungen Pflanzen mit dem gegenüber den wesentlich älteren Zirben am Standort ZNF weniger verzweigten und dichten Wurzelwerk beanspruchen den Wasservorrat im Boden in deutlich geringerem Maße. Der Standort LYST weist nur in einer kurzen Periode Ende August Spannungswerte bis 700 mbar auf, die geringfügigen Niederschläge von Ende August bis Anfang Oktober führen hier aber zu einer wesentlich rascheren und tiefgründigeren Aufsättigung des Bodens als am Standort ZNF.

1991 (Abb. 5.5.2 c)

In diesem Jahr wurde mit den Messungen Ende Mai begonnen, wobei die Installation der Tensiometer an der BASIS um eine Woche später erfolgte. In der letzten Maiwoche ist auf ZNF in 40 bis 50 cm Tiefe ein deutliches Wasserdefizit (600 bis 700 hPa) gegenüber der Freifläche mit *Calluna* (LYST - < 300 hPa) zu bemerken. Von Anfang Juni bis Mitte August zeigen sich aufgrund ausreichender Niederschläge (11 Tage mit $N > 10$ mm, 5 Tage mit $N > 20$ mm) nur geringfügige Unterschiede zwischen den einzelnen Versuchsflächen. Eine kurze trockenere Periode Mitte August hat im Oberboden der bewaldeten Standorte einen kurzfristigen Spannungsanstieg auf 600 bis 700 hPa zur Folge. Drei nachfolgende niederschlagsreiche Tage führen zu einer relativ homogenen Durchfeuchtung auf allen Versuchsflächen (Wasserspannungen < 100 hPa). Eine zweiwöchige Trockenphase Anfang September läßt den Boden auf ZNF an der Oberfläche am stärksten von allen Versuchsflächen austrocknen. Bei den folgenden geringen Tagesniederschlägen (max. 5 mm/d) wird die oberste Tiefenstufe (0–10 cm) von ZNF am stärksten von allen Vergleichsstandorten aufgesättigt (Spannung < 400 hPa). Das Niederschlagsangebot reicht jedoch auf ZNF und an der LYST nicht für eine Aufsättigung der tieferen Schichten aus (Spannungen > 900 hPa). Erst 23 mm Regen am 29.10. bewirken eine kurzfristige homogene Durchfeuchtung des Oberbodens auf LYST und BASO. An den dichter bestockten Standorten ZNF und BASU dagegen erfolgt der Fortschritt der Sickerfront wieder mit zeitlicher Verzögerung.

1992 (Abb. 5.5.2 d)

Nur im Oberboden der ZNF kommt es Ende Mai/Anfang Juni zu einem kurzen Spannungsanstieg auf max. 600 hPa. Auf der Freifläche LYST sind die Werte zum gleichen Zeitpunkt trotz extrem geringer Niederschläge (1 bis 2 mm/d) um 300 hPa niedriger. Mehrere Spätfröste hintereinander verursachen dann in der zweiten Junihälfte den Verlust der Werte zweier Ablesetermine. Man kann jedoch davon ausgehen, daß aufgrund des Regens im Zeitraum vom 10. bis 17.6. ($N > 40$ mm) der Boden auf allen Versuchsflächen stark durchfeuchtet war. Dies deshalb, da nach annähernd zwei niederschlagsfreien Wochen am 1.7. in der obersten Tiefenstufe der ZNF nur Wasserspannungen zwischen 300 und 400 hPa gemessen wurden.

Eine ausgeglichene Niederschlagsverteilung bis Ende August sorgt für eine relativ homogene Durchfeuchtung des Bodens. Lediglich auf ZNF ist um den 21. August ein Anstieg des Unterdruckes auf 600 hPa zu beobachten. Eine kurze regenfreie Periode zwischen 27.8. und 1.9. verursacht ab 20 cm Tiefe ein Wasserdefizit (um 800 hPa). Die geringen Niederschläge ab 20. August reichten für die Befeuchtung tieferer Bodenschichten nicht aus. Diese erfolgt erst durch das Ereignis vom 1.9. (33,5 mm). Infolge geringer Niederschläge steigt die Wasserspannung bis Ende September auf ZNF über die ganze Profiltiefe wieder bis gegen 600 hPa an.

1993 (Abb. 5.5.2 e)

In diesem Jahr erfolgte der Einbau der Tensiometer auf BASU um einen Monat später als an den Vergleichsflächen LYST und BASO. Es zeigt sich, daß der geringe Niederschlag Anfang Juni und die 4-tägige regenfreie Periode von 8. bis zum 12.6. auf der Freifläche LYST zum Anstieg des Unterdruckes auf ca. 700 hPa führen, zum selben Zeitpunkt ist die Spannung auf mit Zirbe bestockten BASO um 200 hPa niedriger. Nach dem Regenereignis am 18.6. und den folgenden Niederschlagsspenden weist der Boden auf beiden Standorten (BASO und LYST) einen Wasseranteil deutlich über der Feldkapazität auf (0–100 hPa). Auf der ZNF setzt die Austrocknung in der Hauptwurzelzone zuerst ein (bis 600 hPa). Der dichter bestockte Standort BASU, von der für Juni keine Meßwerte vorliegen, dürfte sogar noch stärker reagiert haben, wie die gegenüber ZNF wesentlich stärkeren Reaktionen auf die geringen Niederschläge Mitte August und Ende September zeigen. Nach 6 niederschlagsfreien Tagen Mitte August wurden im Oberboden von ZNF Span-

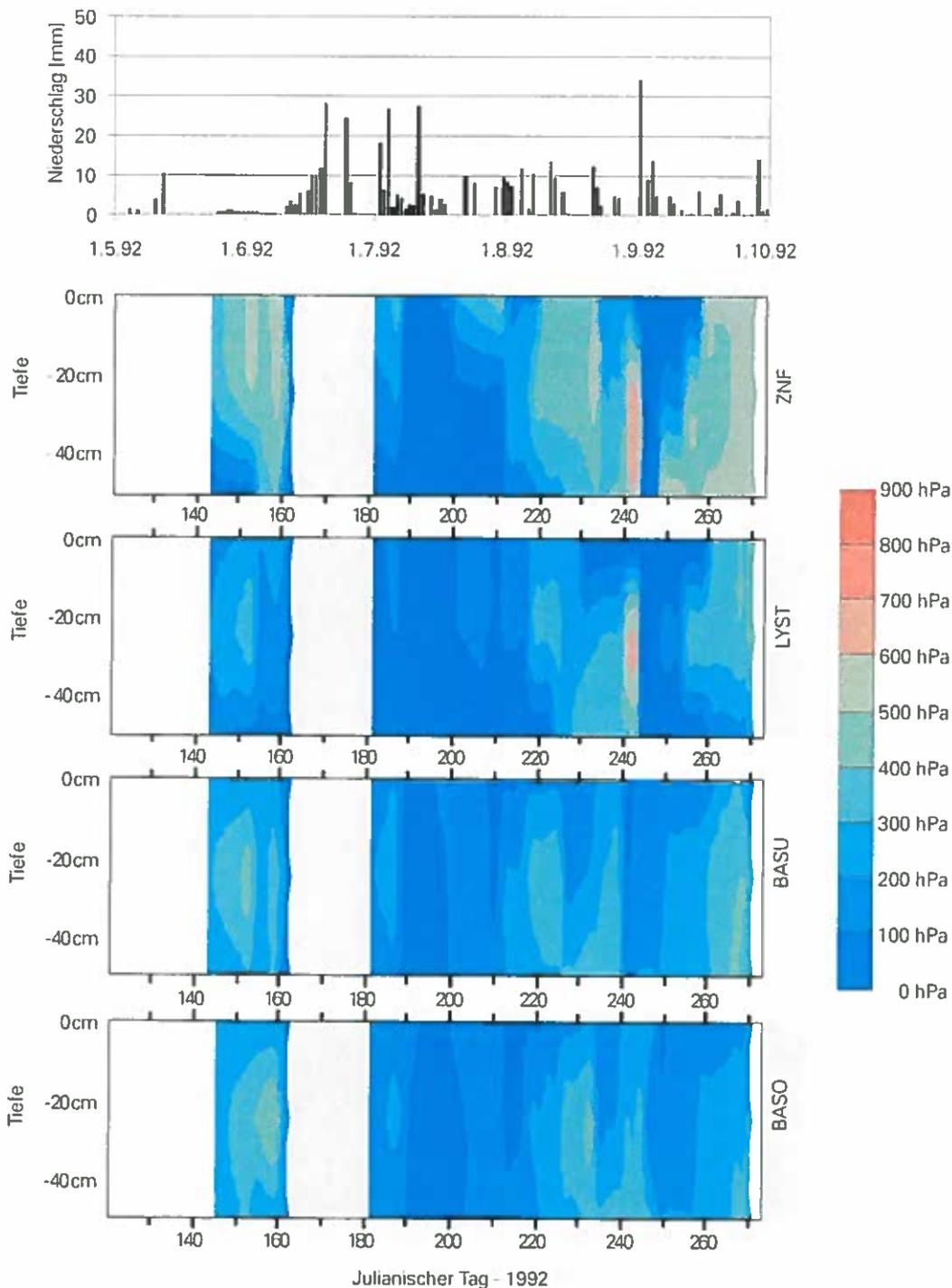
nungen bis 500 hPa registriert, BASU reagierte unter vergleichbaren meteorologischen Bedingungen mit 700 hPa wesentlich stärker. Auf eine Phase der Häufung von Regen geringer Intensität (1 bis 3 mm/d) steigt der Unterdruck am Standort BASO auf ca. 800 hPa im stark durchwurzelten Bereich in 20

bis 40 cm Tiefe. In selben Zeitraum wurden auf ZNF nur 400 bis 500 hPa in der obersten Tiefenstufe (0–10 cm) gemessen.

Weiters fällt auf, daß ab Anfang Juli weder auf der Freifläche LYST, noch am Standort BASO ein Anstieg über 200 hPa registriert wurde.

Abb. 5.5.2 d:

Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1992 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, BASU und BASO.



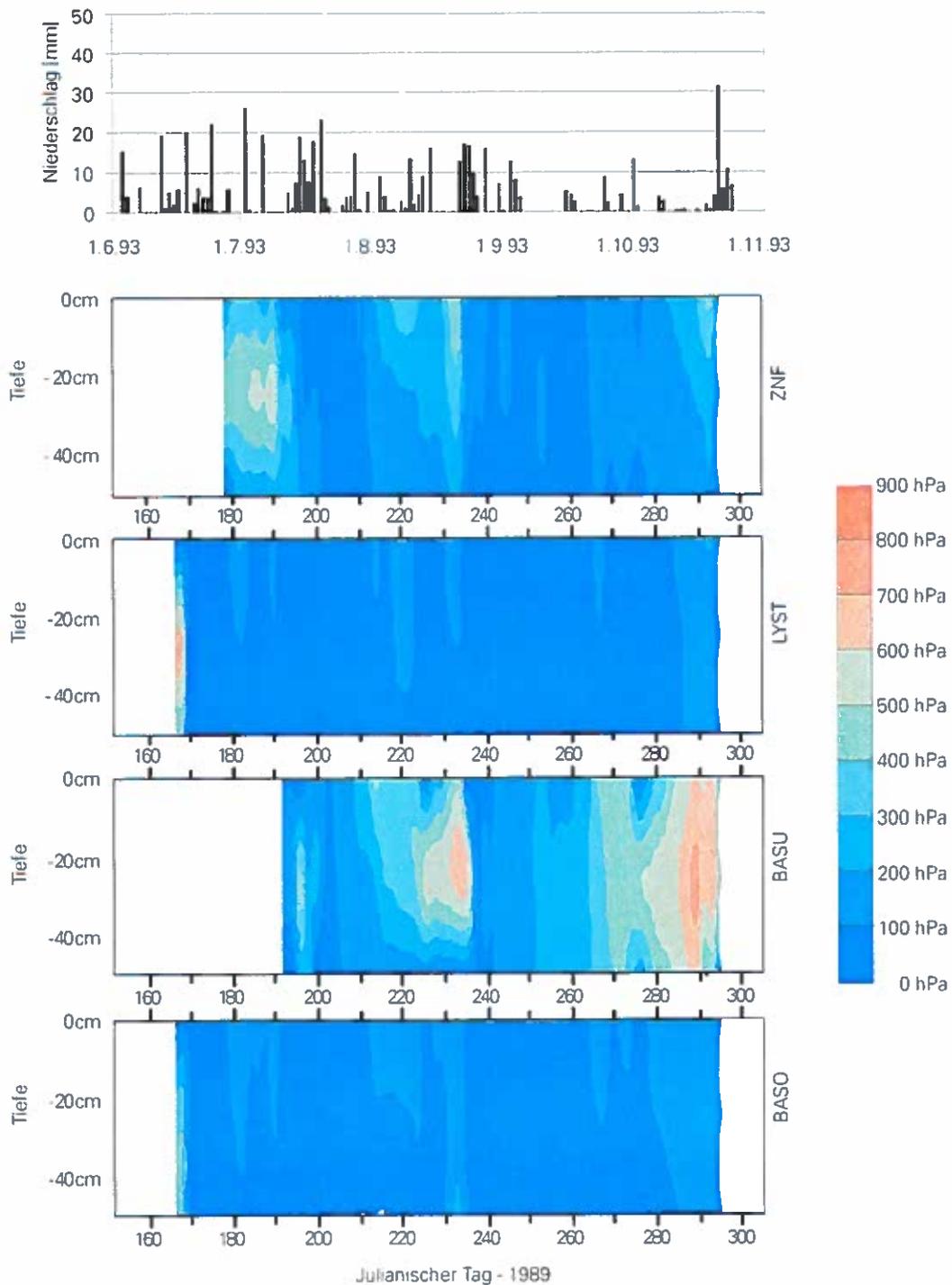
1994 (Abb. 5.5.2 f)

Bei Beginn der Messungen war an allen Vergleichsstandorten eine weitgehende Auffüllung des Bodenspeichers zu beobachten (Druckpotential < 100 hPa). Kurze Phasen geringer Regenmengen bzw. mehr als zwei niederschlagsfreie Tage im Juli ließen die oberste Tiefenstufe sofort auf 500 bis 600 hPa

austrocknen. Die Versuchsflächen im ältesten Teil der Aufforstung reagierten noch stärker. Die Spannungen stiegen an der BASU auf 800 bis max. 900 hPa, auf der etwas lichter bestockten BASO waren sie um ca. 100 hPa niedriger, der Anstieg der Wasserspannung reichte nicht so weit in die Tiefe, wie auf BASO. Gehäufte Einzelereignisse geringer

Abb. 5.5.2 e:

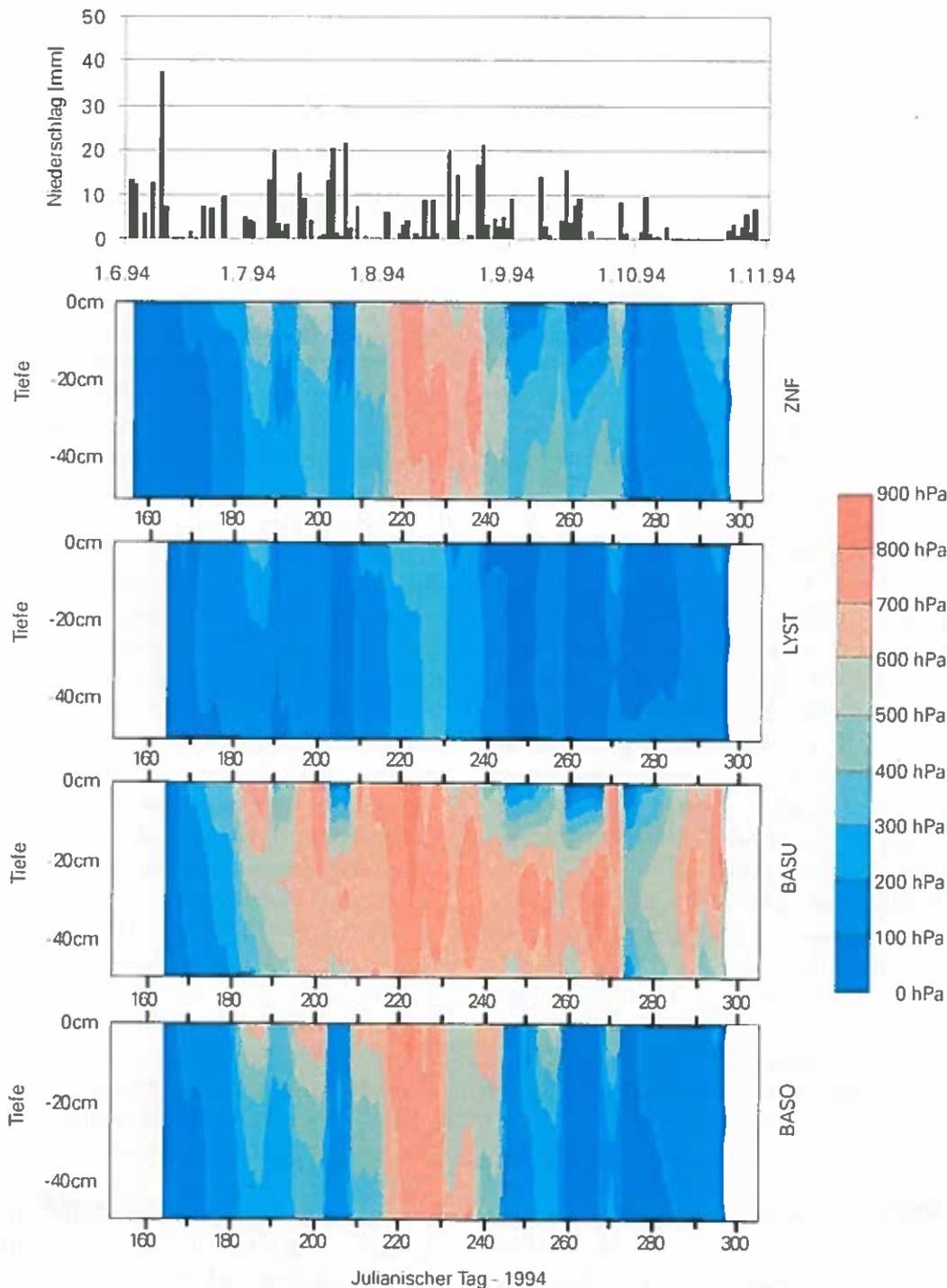
Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1993 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, BASU und BASO.



Intensität und Menge im August ließen die Spannung auf BASO bis in 50 cm Tiefe auf über 700 hPa ansteigen. BASO und ZNF verhielten sich ähnlich auf niedrigerem Niveau. Während die stärkeren Niederschläge Ende August und Mitte September auf ZNF und BASO wieder eine stärkere Durchfeuchtung des gesamten beobachteten Profilraumes

ermöglichten (Spannungen max. um 400 hPa), kam es im Hauptwurzelraum von BASU (20 bis 40 cm Tiefe) erst durch die Regenfälle ab 2.10. zu einer Entspannung. Auf der Versuchsfläche LYST wurde auch in Phasen erster Anspannung bei den Vergleichsflächen kein Anstieg des Unterdruckes über 400 hPa beobachtet. 14 niederschlagsfreie Tage

Abb. 5.5.2 f: Freilandniederschläge und zeitlicher Verlauf der Bodenwasserspannungen in der Meßperiode 1994 an den Versuchsflächen ZNF, LYST, BASU und BASO.



Mitte bis Ende Oktober hatten lediglich auf BASU einen deutlichen Anstieg des Unterdruckes zur Folge.

Diskussion der Tensiometermessungen

Grundsätzlich ist anzuführen, daß aufgrund der Kleinräumigkeit der Versuchsflächen, der standörtlichen Heterogenität der bodenphysikalischen Eigenschaften, insbesondere der Unterschiede im Skelettanteil und der unterschiedlichen, nur zum Teil quantifizierbaren vorhergehenden Behandlung der aufgeforsteten Flächen, die im folgenden getroffenen Abgrenzungen im Aufsättigungs- und Desorptionsverhalten zwangsläufig nur vereinfachte Schlußfolgerungen aus dem Zusammenspiel einer Vielzahl an Standortfaktoren sein können.

Jede der vorgestellten Versuchsflächen zeigt während der Meßperioden in dem kurzen Beobachtungszeitraum 1989–1994 bei gegebenen meteorologischen Bedingungen einen typischen Gang der Bodenfeuchte, der sich einerseits durch die unterschiedliche Bestockung (Aufforstung mit Zi bzw. Lä oder Freifläche mit *Calluna vulgaris*), andererseits durch das Alter der Aufforstung und der Bestandesdichte erklären läßt. HAGER (1988) erhielt in unterschiedlich stark durchforsteten 17-jährigen Wiesenaufforstungen ebenfalls typische Muster im Aufsättigungs- und Desorptionsverhalten.

- ▶ Die mehrjährigen Meßreihen zeigen eine durchwegs sehr günstige Wasserversorgung in der Vegetationsperiode. Auch von NEUWINGER et al. (1988) wurden maximale Unterdruckwerte um 600 bis 800 hPa gemessen. Exakte Angaben über die räumliche Lage und Versuchsanordnung werden von NEUWINGER et al. jedoch nicht gegeben. Lediglich in stark bewindeten Heiden außerhalb des aufgeforsteten Bereiches wurden von GUNSCH (1972), sowie NEUWINGER und GUNSCH (1980) teilweise höhere Werte festgestellt.
- ▶ Die Infiltrationsrate wird stark vom Anfangswassergehalt beeinflusst, im trockenen Sand ist zwar die Infiltrationsrate höher, aber die Frontgeschwindigkeit langsamer als in feuchtem Sand (GONSOWSKI 1987). Aufgrund der durchwegs hohen Vorbefeuchtung und des meist hohen Grobporenanteiles werden Niederschläge rasch in tiefere Schichten abgeleitet.
- ▶ Die mit Zi bestockten Flächen reagieren auf abnehmendes Wasserangebot deutlich rascher mit einem Anstieg der Bodenwasserspannung als die mit *Calluna vulgaris* bestockte Freifläche LYST. MILLBACHER (1992) stellte in altholznahen bzw.

voll bestockten vergrasteten Fi-Kulturen wesentlich höhere Wasserspannungen als z.B. unter einer herbizidbehandelten Fläche mit deutlich geringerer Vergrasung fest. BREITSAMETER (1996) registrierte in aufgelichteten Fi-Ta-Bu-Beständen im Flysch und im Kalkalpin der Tegernseer Berge (D) infolge geringerer Interzeption und niedrigerer Verdunstung höhere Bodenfeuchte als in dichten, nicht durchforsteten Beständen.

- ▶ Je älter die Bäume und je dichter sie stehen, umso rascher kommt es zum Anstieg der Wasserspannungen in der intensiv durchwurzelten Zone. Auch HAGER (1988) beobachtete in Abhängigkeit vom Durchforstungsgrad seiner Versuchsflächen ein typisches Aufsättigungsmuster. Je lockerer der Bestand, umso langsamer und weniger tiefgreifend erfolgt der Wasserentzug aus dem Bodenprofil.
 - ▶ Die Austrocknung des Mineralbodens beginnt in der Aufforstung im Hauptwurzelraum, auf der Freifläche dagegen von oben nach unten in der obersten Tiefenstufe. Der Kronendurchlaß passiert entsprechend den Beobachtungen während und nach den Starkregensimulationen am Standort ZNF rasch den Auflagehumus in Richtung Mineralboden. HÖLZER (1982) beobachtete bei Laborversuchen in der Of-Schicht einer ca. 10 cm mächtigen rohhumusartigen Moderauflage die Ausbildung einer deutlichen Wasserscheide in 6 cm Tiefe. Bei in situ Untersuchungen in einem Fi-Altbestand mit vergleichbarer Humusaufgabe kam es dagegen nicht zur Ausbildung einer Wasserscheide, sondern die Wasserbewegung verlief über die beobachtete Tiefe stets abwärts gerichtet. HÄDRICH und HEUVELDOP (1978) stellten fest, daß die mit Lysimetern ermittelte Verdunstung ausschließlich aus Streu-Interzeptionsverdunstung bestand. Von 2076 mm Bestandesniederschlag (N_B) waren 14,9% Bodenverdunstung = Streu-Interzeptionsverdunstung. Der Grad der Wassersättigung des Mineralbodens hatte keinen Einfluß auf die Streu-Interzeptionsverdunstung.
- Die extrem lockere, in ihrer Mächtigkeit stark variiierende Bodenstreu verhindert aufgrund ihrer isolierenden Wirkung die Wasserabgabe vom Mineralboden an die Atmosphäre. Die Streuverdunstung ist als identisch mit der Bodenverdunstung zu betrachten (HÄDRICH und HEUVELDOP 1978)
- ▶ Unter gleichen Rahmenbedingungen reagieren die Flächen in folgender Stärke mit der Austrocknung: $BASU \geq ZNF > BASO > LYST$. Stärkere Niederschläge führen auf der Freifläche und in den lockeren Beständen zu rascherer Aufsättigung als in den dichter bestockten (HAGER 1988).

- ▶ Die junge Lärchenaufforstung (im Jahr 1990 7 Jahre alt) reagiert ähnlich wie die Freifläche. Aufgrund des noch nicht so stark ausgebildeten Wurzelnetzes und des Verdunstungsschutzes durch Nadelstreu und Kronendach setzt die Austrocknung im Zwischenflächenbereich gegenüber der Freifläche oft sogar später ein, bzw. sind die gemessenen Unterdrücke bei gleichem Niederschlagsangebot niedriger.
- ▶ Während längerer Trockenperioden bzw. in Perioden mit extrem niedrigen Tagesniederschlägen (< 3 mm) verwischen vergleichbar den Ergebnissen von HAGER (1988) die Unterschiede im Aufsättigungs- und Desorptionsverhalten der einzelnen Versuchsflächen.
- ▶ Die homogene Durchfeuchtung des Bodens erfolgt primär durch ergiebige Einzelereignisse bzw. im Zuge mehrtägiger Niederschlagsereignisse höherer Intensität. Ähnlich wie bei RIEK und RENGER (1994), die den Wasserhaushalt eines 15-jährigen Kiefernbestandes in den Berliner Forsten (D) untersuchten, wird wahrscheinlich entlang bevorzugter Wasserleitbahnen ein Teil des Niederschlagswassers in größere Tiefen befördert, vgl. z.B. die Reaktion auf das Niederschlagsereignis am 1.9.1992 mit 34 mm an den Standorten LYST und ZNF (Abb. 5.5.2d). Nach GUNZELMANN und HORN (1987) fallen die

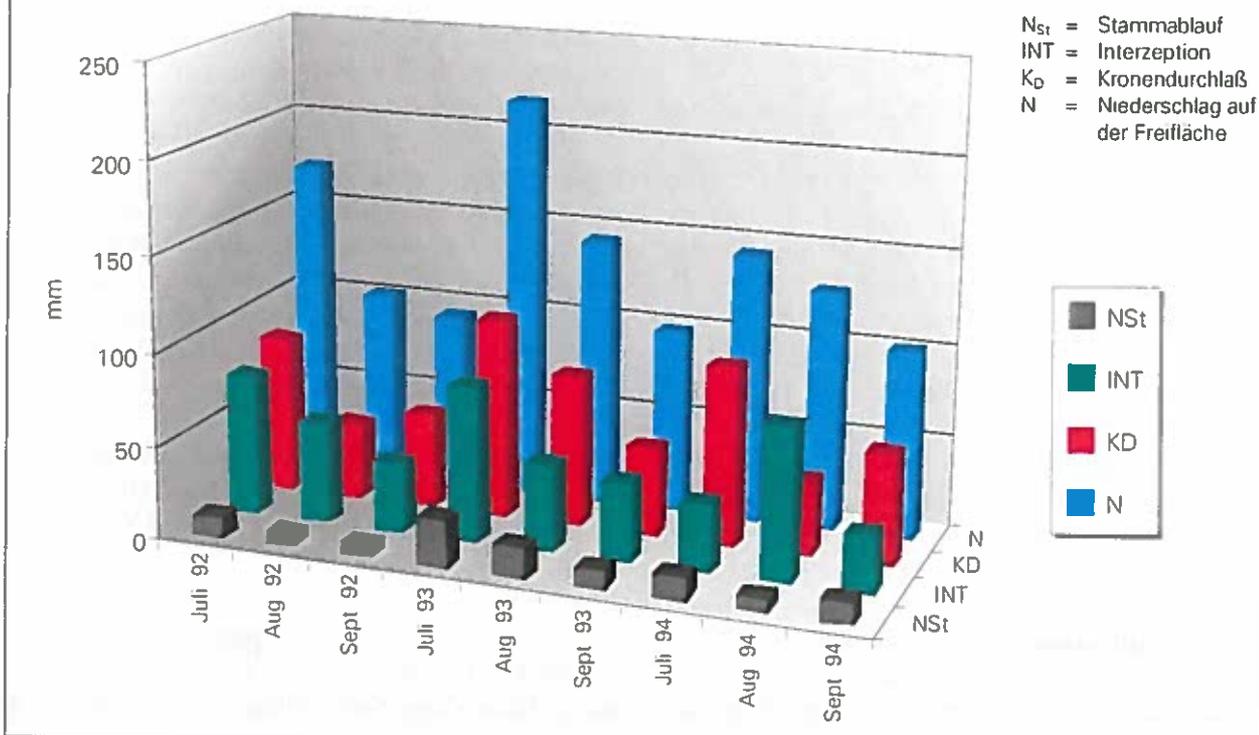
nach längeren Austrocknungsphasen aufgebauten Wasserspannungen nach dem Einsetzen von Niederschlägen schnell wieder ab. Dieser „Sägezahneneffekt“ deutet darauf hin, daß der vertikale Wassertransport größtenteils über Makro- und Sekundärporen erfolgt. Allerdings wurden hydrophobe Effekte nach längerer Austrocknung bei der Einsickerung, wie von RIEK und RENGER (1994) bemerkt, im Versuchsfeld Haggen aufgrund der ausgeglichenen Niederschlagsverhältnisse und der dichten Überschildung nicht festgestellt.

5.6 Wasserbilanz einer Aufforstung mit Zirbe (Standort ZNF) für die Monate Juli bis September in den Jahren 1992 bis 1994

5.6.1 Umsatz im Kronenraum

Die in mehrtägigem bzw. einwöchigem Abstand durchgeführten Messungen lassen keine Kurzzeitbilanzen zu. Mit zunehmendem Bilanzierungsintervall wird zwar die Widerspiegelung der Prozesse undeutlich, dafür kommen aber die ökologischen Wirkungen klarer zum Ausdruck. Der Vorteil größerer Intervalle liegt darin, daß sich kurze Perioden (einige Tage bis Wochen) mit ähnlichem hydrologischem Grundmuster unterscheiden lassen.

Abb. 5.6.1: Niederschlagsumsatz im Kronenraum an der Versuchsfläche ZNF in den Monaten Juli bis September der Jahre 1992 bis 1994 (Angaben in mm).



Monatsbilanzen basieren auf hinreichend großen Zeitintervallen, in denen bestimmte Witterungs- und Vegetationsbedingungen vorherrschen (BENECKE 1984). Zudem ermöglichen Monatsbilanzen gegenüber Jahresbilanzen bessere Aussagen über ökologische Auswirkungen des Wasserumsatzes (BENECKE und VAN DER PLOEG 1978 b).

Im folgenden wird eine einfache Übersicht der Niederschlagsverteilung im Bestand gegeben. Wie in Kap. 4 bereits angeführt, konnten die Messungen aus organisatorischen und witterungsbedingten Gründen nicht in jedem Jahr den gleichen Zeitraum umfassen. Daher stehen für die Jahre 1992 bis 1994 jeweils nur die Meßwerte der Monate Juli bis September vollständig zur Verfügung. Die monatlichen Bilanzen des Niederschlagsumsatzes im Kronenraum sind in Abb. 5.6.1, und Tab. 5.6.1 dargestellt.

Tab. 5.6.1:

Niederschlagsumsatz im Kronenraum an der Versuchsfäche ZNF in den Monaten Juli bis September der Jahre 1992 bis 1994 (Angaben in % des Freilandniederschlags).

N = Niederschlag, $N_{St}(\%)$ = Stammablauf in % von N, $K_D(\%)$ = Kronendurchlaßprozent, INT(%) = Interzeptionsprozent, $N_B(\%)$ = Bestandesniederschlag ($N_{St} + K_D$) in % von N, \bar{x} = arithmetisches Mittel, s = Standardabweichung.

	N mm	N_{St} %	K_D %	INT %	N_B %
Juli 94	143,9	8,6	66,7	24,6	75,4
Aug 94	128,3	5,5	30,7	63,8	36,2
Sept 94	100,6	10,9	58,9	30,3	69,7
Juli 93	215,6	11,6	50,0	38,5	61,5
Aug 93	143,7	11,5	56,4	32,0	68,0
Sept 93	99,3	10,2	47,6	42,2	57,8
Juli 92	171,1	6,3	49,5	44,2	55,8
Aug 92	102,0	6,2	40,7	53,1	46,9
Sept 92	94,2	6,2	54,7	39,1	60,9
\bar{x}	133,2	8,6	50,6	40,9	59,1
s	40,6	2,53	10,51	11,99	11,99

Trotz vergleichbarer Niederschlagsmengen in den Septembermonaten 1992 bis 1994 differieren INT, N_{St} und K_D beträchtlich (Abb. 5.6.1 und Tab. 5.6.1). Auch hier zeigt sich deutlich, daß der Niederschlagsabsatz im Bestand maßgeblich von der Dauer und der Intensität des Ereignisses abhängt (WEIHE 1974). Das durchschnittliche Kronendurchlaßprozent lag in den Beobachtungsperioden Juli–September 1992 bis 1994 bei 48,8%, 49,9% bzw. 52,7%. FUHRER (1990) erzielte unter 125 bis 140-jährigen Fichten im Krof-dorfer Forst (D) bei vergleichbarem Niederschlagsangebot deutlich höhere K_D -Werte (66 bzw. 71%).

Im Schnitt werden am Standort ZNF 41% des Niederschlages im Kronendach festgehalten, am

niedrigsten war das Interzeptionsprozent im Juli 1994 (24,6 % von 143,9 mm), am höchsten im August 1994, von 128,3 mm wurden 63,8 % im Kronenraum zurückgehalten.

Fast 1/10 (8,9%) des Niederschlages gelangen als Stammablauf auf den Boden. 1993 war der N_{St} mit 10,2% bis 11,6% wesentlich höher als 1992 (6,2 bzw. 6,3%). Der hohe Anteil des gesamten Stammablaufes ist primär durch die hohe Individuenzahl, 1992 umfaßte der Bestand 93 Bäume auf 75 m², bedingt. DELFS (1958) beobachtete bei Fichte ebenfalls eine Zunahme des N_{St} vom individuenärmeren Stangenholz zur stammzahlreicheren Dichtung (von 1,2 auf 2,9% des Freilandniederschlags). TANIGUCHI et al. (1996) ermittelten in einer 1-jährigen Versuchsreihe für ältere Beständen von *Pinus densiflora* (10 bis 13 m Höhe, keine Altersangabe) in Japan ein Stammablaufprozent von 0,5 bis 1,2.

1993 lagen die Niederschlagssummen vor allem im Juli und August deutlich über den Vergleichsmonaten der Jahre 1992 und 1994. Nach den Untersuchungen von TEKLEHAIMANOT et al. (1991) an 16-jähriger Sitka-Fichte sind Kronendurchlaß und Stammablauf streng linear zum Niederschlag korreliert. Meßtechnische Ursachen kommen als Erklärung für die am Standort ZNF gefundenen Differenzen nicht in Frage, da die Manschetten zu jedem Auslieferungstermin kontrolliert und mehrmals während der Meßperiode auf Dichtheit und ausreichendes Fassungsvermögen geprüft wurden. Wie alle mit der Interzeption zusammenhängenden Vorgänge ist der N_{St} jedoch stark von der Regenintensität abhängig (SCHMALTZ 1969). Zwar konnte bei den gegenständlichen Untersuchungen aufgrund der gebietsspezifisch kurzzeitig stark wechselnden Windverhältnisse kein Zusammenhang zwischen Windrichtung, -geschwindigkeit und den Komponenten des Bestandesniederschlag festgestellt werden (vgl. Kap. 5.2.4), jedoch dürften Einzelniederschläge aufgrund der gebietsspezifischen Windverhältnisse ähnlich wie bei den Untersuchungen von HEUVELDOP (1973) rasche und starke Intensitätsschwankungen erfahren haben.

5.6.2 Saisonale Änderung des Bodenwasseranteiles – Vergleich Aufforstung (ZNF) und Freifläche mit *Calluna vulgaris* (LYST)

1992 (vgl. Abb. 5.6.2 a)

In diesem Jahr stehen Interzeptions- und Stammablaufdaten erst mit der ersten Juliwoche zur Verfügung. Hohe Tagesniederschläge am 24. und 25.6

(rekonstruiert aus den Daten der Station St. Sigmund der TIWAG vgl. Kap. 4.3 und 5.1.1) haben eine stärkere Durchfeuchtung des Oberbodens zur Folge. In der niederschlagsfreien Woche Ende Juni nimmt allein in der obersten Bodenschicht der Wasseranteil um ca. 20 mm ab. Hohe Niederschlagssummen in den ersten zwei Juliwochen (125,9 mm) hatten einen Anstieg der Bodenfeuchte um über 80 mm zur Folge. Die geringen Niederschlagssummen von 34 mm in der letzten Julidekade (max. Tagesniederschläge um 10 mm, mehrtägige Niederschlags-pausen) reichten nicht aus, um die in der regen-armen Periode Mitte Juli am Standort ZNF angefallenen Verluste durch Versickerung und Transpiration auszugleichen, Ende Juli betrug das Defizit im betrachteten Bodenkörper 60 mm, allein in der untersten Tiefenstufe (40-50 cm) nahm der Wasseranteil um 30 mm ab. Selbst höhere Tagesniederschläge Anfang September (bis 34 mm/d) hatten nur mehr einen geringfügigen Anstieg des Wasseranteiles zur Folge. Gegen Ende der Meßperiode war die Bodenwasserbilanz am Standort ZNF annähernd ausgeglichen.

Von der mit *Calluna vulgaris* bewachsenen baumlosen Vergleichsfläche LYST stehen nur Daten bis 35 cm Tiefe zur Verfügung. Der Boden reagiert auf Niederschlagsangebot bzw. -defizite jedoch wesentlich schwächer als der Standort ZNF. Im Prinzip ist ein synchroner Verlauf zu ZNF auf niedrigerem Niveau zu beobachten. So hat die niederschlagsarme Woche von 13. bis 20.7. nur eine sehr geringe Abnahme des Bodenwasseranteiles zur Folge. Ein geringfügiger Anstieg des Bodenwassers als Reaktion auf stärkere Eintagesregen ist lediglich zu Beginn der Meßperiode, Anfang Juli (18,4 mm am 2.7. und 26,5 mm am 4.7.) und in der ersten Septemberwoche (34 mm am 1.9. und 13,8 mm am 4.9.) zu beobachten.

1993 (vgl. Abb. 5.6.2 b)

In der ersten Junihälfte fielen mit Ausnahme zweier stärkerer Eintagesregen (3.6.: 15,3 mm, 12.6.: 19,3 mm) nur geringfügige Niederschlagsmengen. Von diesen gelangte der Großteil auf den Boden, so wurden in der ersten Juniwoche von 25,7 mm Niederschlag nur 1,5 mm im Kronenraum zurückgehalten. Der automatische Regenschreiber ging erst Anfang Juli in Betrieb, die aus den Regressionsbeziehungen der Station St. Sigmund der TIWAG abgeleiteten Tagesniederschläge lassen keinen Rückschluß auf die Intensität der Niederschläge zu. Da jedoch bei Intensitäten von 15 mm/d kein derart hoher K_D zu anzunehmen ist (vgl. Kap. 5.2.4 bzw. Abb.

5.2.4.1. b), muß von einer Fehlfunktion zumindest einiger Sammelbehälter ausgegangen werden.

Der Boden wies bei Einbau der Tensiometer am Standort ZNF zwischen 39 Vol% (in 0–10 cm Tiefe) und 25 Vol% (30 bis 40 cm Tiefe) Wasseranteil auf. Aufgrund der kurzen Meßintervalle (wenige Tage bis eine Woche) waren die registrierten Änderungen in der Volumsfeuchte sehr gering. Am 22.7, 25.8. und zum Abschluß der Meßsaison, am 25.10. wurden Zunahmen über 20 mm festgestellt. In allen Fällen waren Regenmengen mit deutlich mehr als 40 mm in der Beobachtungsperiode die Ursache für die Auffüllung des Bodenspeichers. Die maximale Abnahme des Bodenspeichers gegenüber dem Anfangswert war mit 16,8 mm sehr gering.

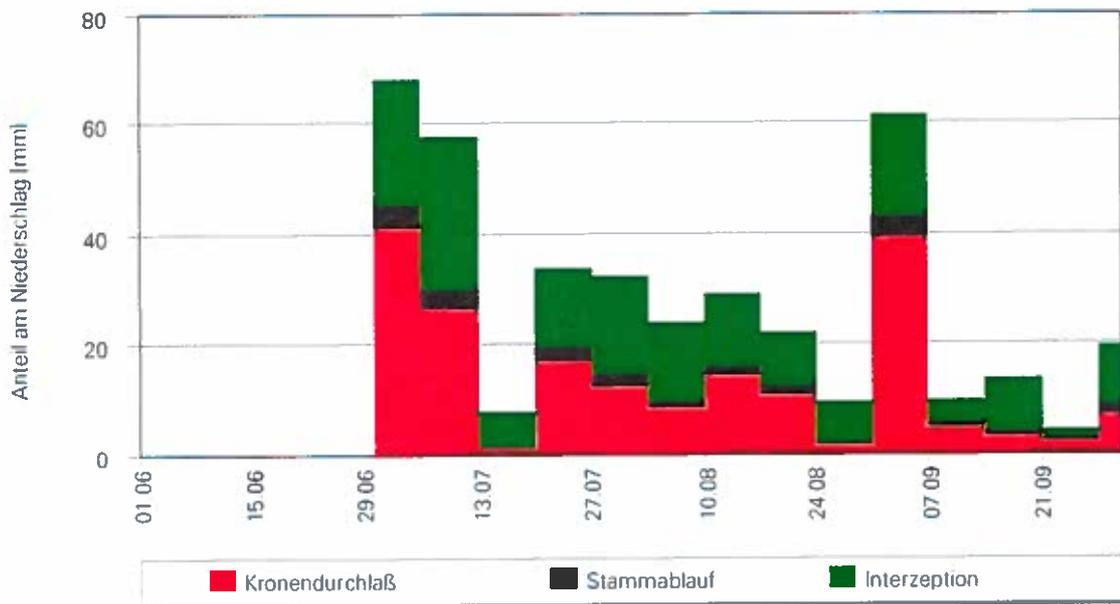
Während ZNF auf die geringen Niederschläge Anfang Juli kaum reagiert, weist die Vergleichsfläche LYST gegen Ende der ersten Juliwoche eine Abnahme des Bodenspeichers in 0 bis 40 cm Tiefe um über 20 mm auf. Eine starke, jedoch verzögerte Reaktion erfolgt auf die niederschlagsarme Periode Mitte August (17.8. bis 23.8.), der Wasseranteil auf LYST nimmt um 50 mm bezogen auf 40 cm Profiltiefe ab. Über Abnahmen des Wasseranteiles durch Evapotranspiration bzw. Tiefensickerung in ähnlicher Größenordnung auf tonig-schluffigen Fichten und Buchenstandorten des Sollings berichtet auch BENECKE (1984). Die Bestände versuchen geringe Niederschläge, insbesondere in der Wachstumszeit, durch hohe Entnahmen aus dem Bodenwasservorrat zu mildern bzw. auszugleichen. Der hohe Dränporanteil aufgrund der stark sandigen Textur und des hohen Skelettanteiles begünstigt zusätzlich die passive Tiefensickerung.

1994 (vgl. Abb. 5.6.2 c)

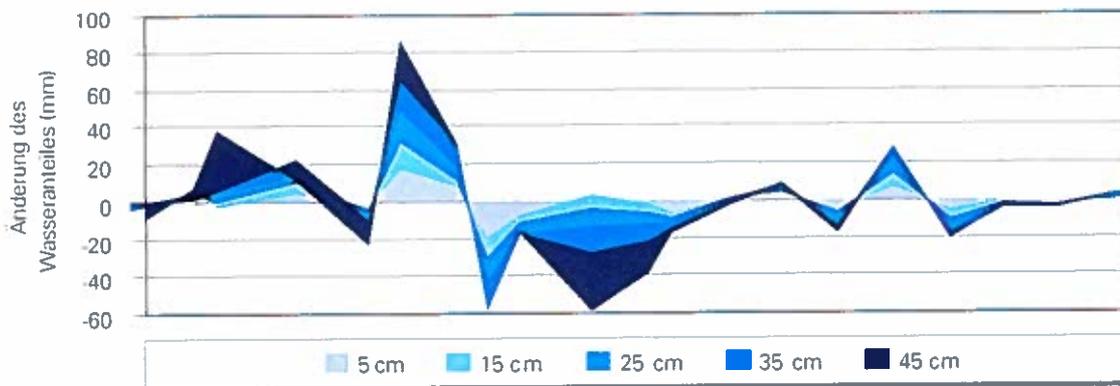
Am Standort ZNF waren die drei niederschlagsarmen Wochen in der zweiten Junihälfte die Ursache der negativen Gesamtbilanz des Juni (-57,7 mm bzw. -11,5 Vol% bezogen auf 50 cm Bodentiefe). Ende Juli und in der ersten Augushälfte häufen sich Niederschläge geringer Intensität (\ll 10 mm/d) mit hohen Interzeptionsverlusten. Die maximale Abnahme des Wasseranteiles im Boden gegenüber der letzten Registrierung wird am 1.8. mit -28,7 mm verzeichnet.

Erstmals stehen von der Versuchsfläche LYST Tensiometerdaten aus 45 cm Tiefe zur Verfügung, es fällt der nahezu synchrone Verlauf der Kurve der Bodenwasseränderung zum Standort ZNF auf. Die Änderung des Bodenwasseranteiles in Abhängigkeit vom Niederschlagsangebot ist jedoch auf der ver-

Abb. 5.6.2 a:
Niederschlagsverteilung im Bestand (oben) und Änderung des Wasseranteiles in den einzelnen Bodenschichten an den Standorten ZNF und LYST (unten) in der Meßperiode 1992.



ZNF



LYST

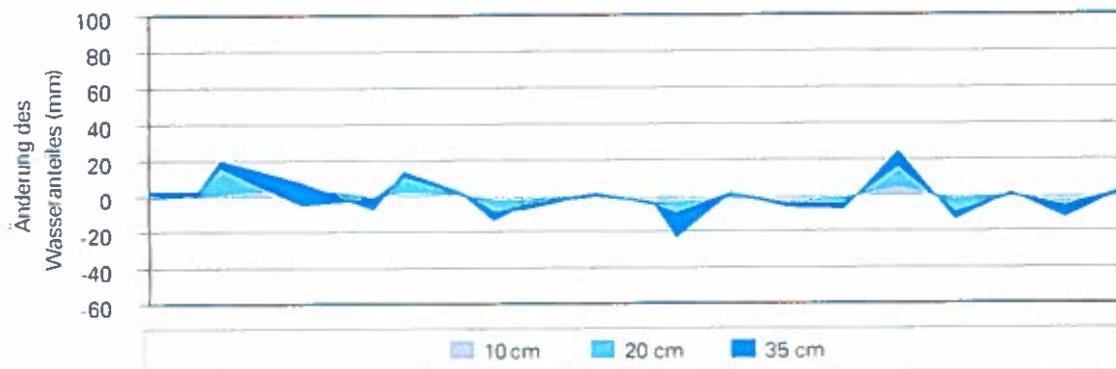
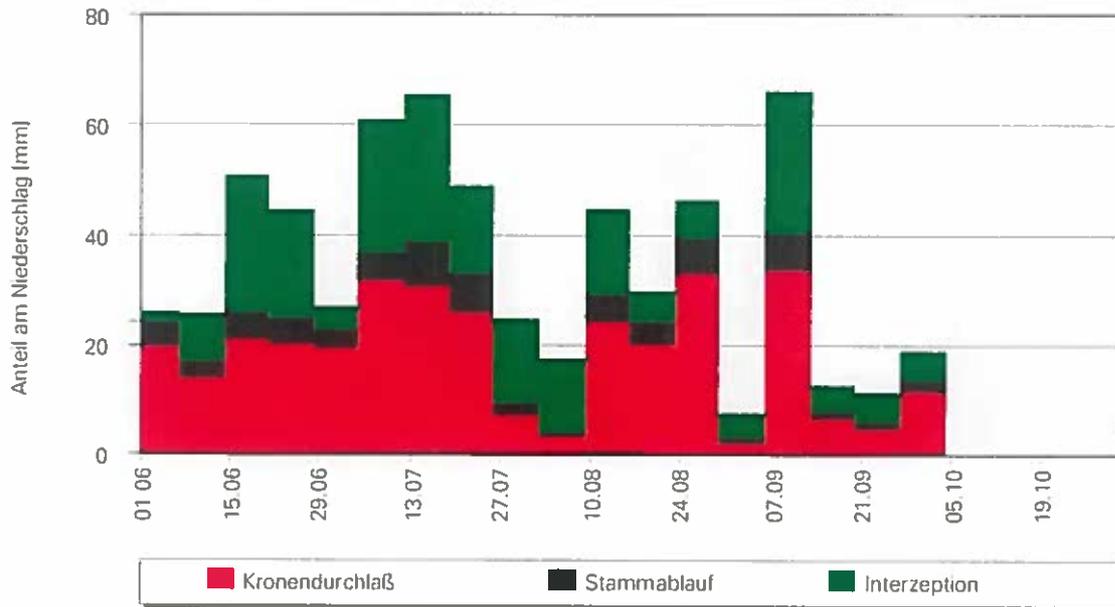
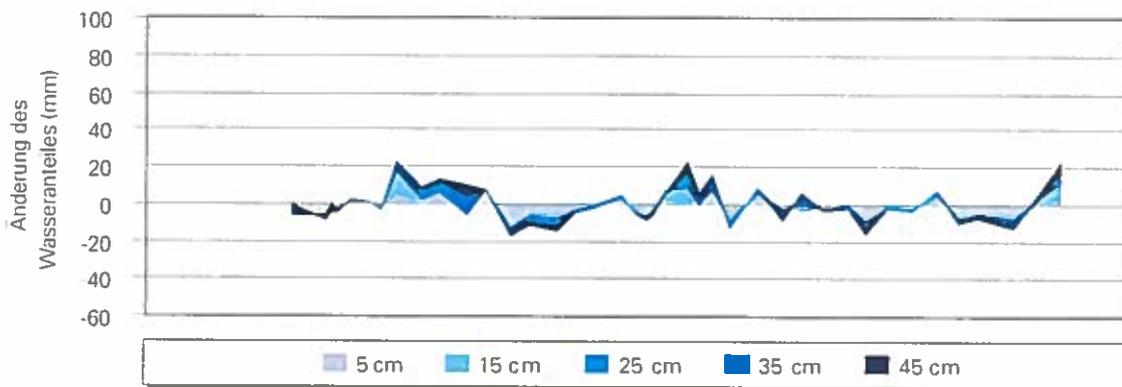


Abb. 5.6.2 b:
Niederschlagsverteilung im Bestand (oben) und Änderung des Wasseranteiles in den einzelnen Bodenschichten an den Standorten ZNF und LYST (unten) in der Meßperiode 1993.



ZNF



LYST

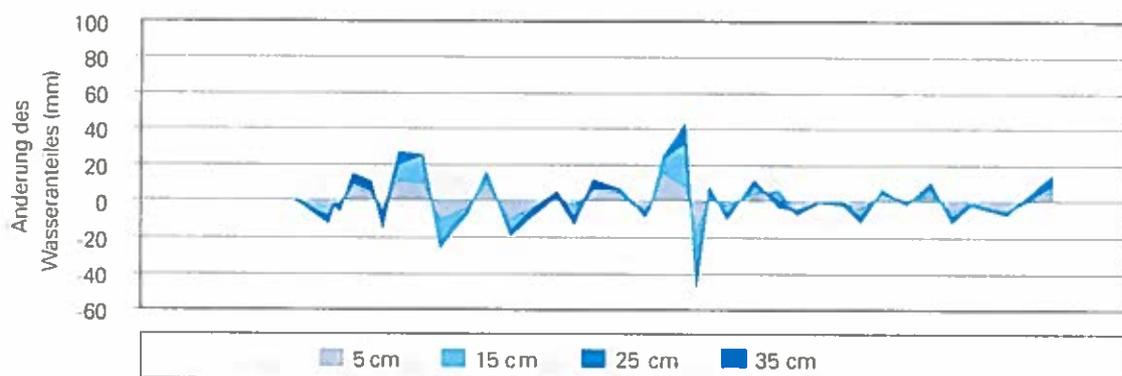
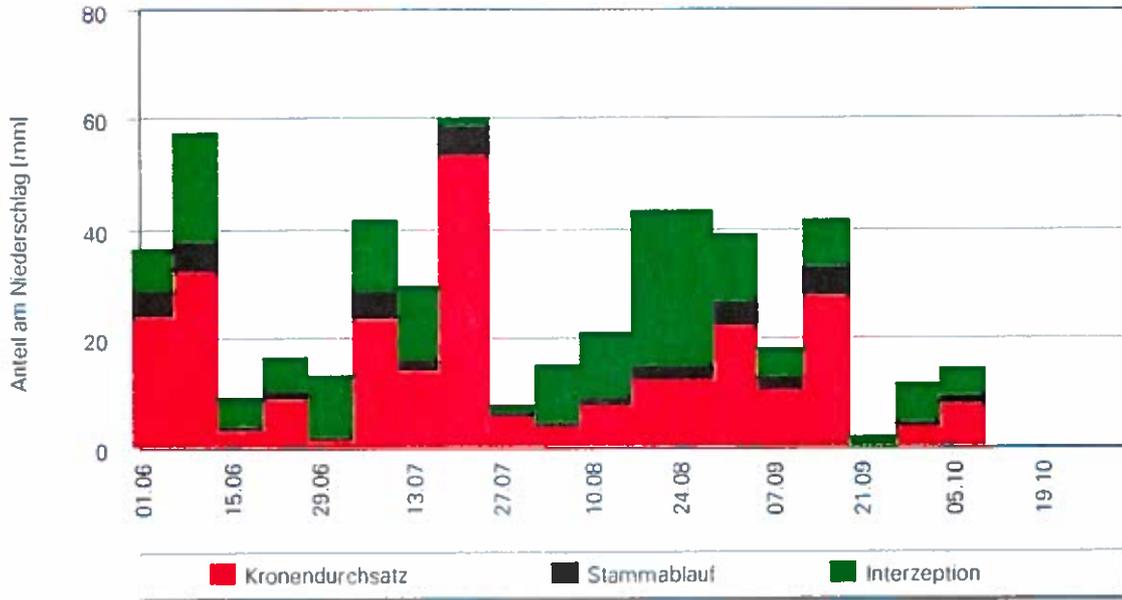
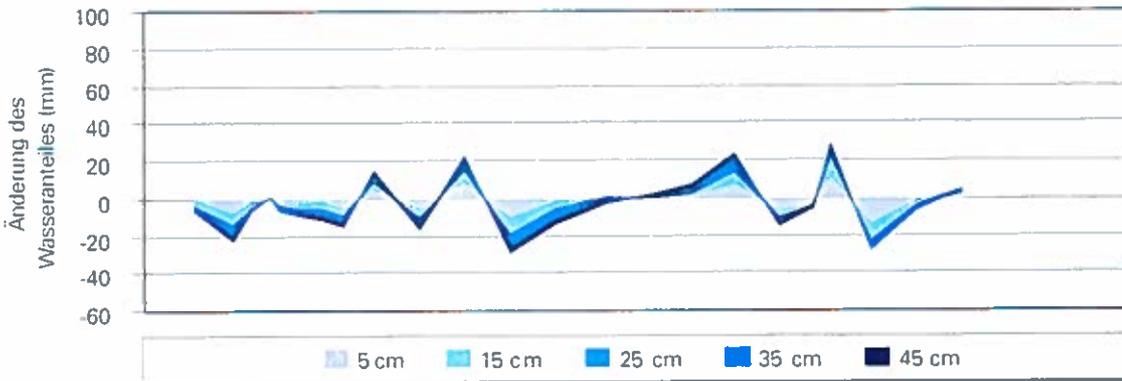


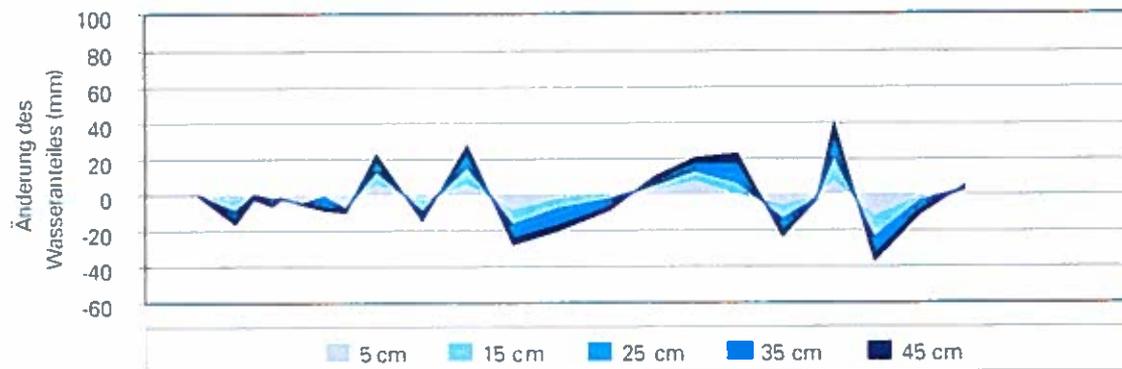
Abb. 5.6.2 c:
Niederschlagsverteilung im Bestand (oben) und Änderung des Wasseranteiles in den einzelnen Bodenschichten an den Standorten ZNF und LYST (unten) in der Meßperiode 1994.



ZNF



LYST



grasten *Calluna*-Heide (LYST) im Vergleich zum dichten Zirbenbestand ZNF bis Ende Juni geringer, während der Sommermonate Juli und August auf vergleichbarem Niveau und ab September etwas stärker.

5.6.3 Gemeinsame Ermittlung der Verdunstung und der Änderung des Bodenwasseranteiles nach der Wasserbilanzmethode

Für die Erstellung von Monatsbilanzen der Jahre 1992 bis 1994 stehen jeweils nur die Meßwerte der Monate Juli bis September vollständig zur Verfügung. Die Bilanzen des Niederschlagsumsatzes am Standort ZNF sind in Abb. 5.6.1 und Tab 5.6.1 dargestellt.

BRECHTEL (1975) bzw. BALAZS und BRECHTEL (1974) wandten ein einfaches Verfahren für die Erstellung der Wasserbilanz auf tiefgründigen grundwasserfernen Standorten ohne Zuschüsse durch laterale Sickerwasserbewegungen für Standorte mit Jahresniederschlägen von weniger als 400 mm an. Sie unterstellten, daß unter diesen Niederschlagsbedingungen sich unter dem Wurzelhorizont eine Wasserscheide ausbildet, oberhalb der ein weiteres Absinken nur noch über die Verdunstung von Bodenwasser erfolgen kann. Daher konnte die Evapotranspiration nach folgender Gleichung ermittelt werden:

$$ET = N - INT \pm \Delta B, (A_S = 0) \quad (8)$$

Es bedeuten:

- ET Evapotranspiration
- N Niederschlagssumme in der Meßperiode über dem Bestand
- INT Interzeption
- ΔB Unterschied der aktuellen Bodenfeuchte im wurzelbeeinflußten Profil am Anfang und zum Ende der Meßperiode
- A_S Versickerung

Im Untersuchungsgebiet regnet es durchschnittlich jeden zweiten Tag (KRONFUSS 1997). Aufgrund der vorherrschenden Niederschläge geringer Intensität und Dauer, es dominieren Niederschläge < 5 mm pro Ereignis, und der (schluffig bis lehmig) sandigen Textur, ist der Zustand einer effektiven Sättigung des Bodens nahezu auszuschließen (NEUWINGER et al. 1988). Nach den Ergebnissen der Tensiometermessungen (vgl. Kap. 5.5.2) sind aufsteigende Gradienten kaum zu erkennen. Auch die während der Starkregensimulationen (Kap. 5.2.2) gemachten Beobachtungen zeigen eine vorherrschende vertikale, in die Tiefe gerichtete Komponente des Bodenwassers, laterale Fließbewegungen wurden weder in der (uneinheitlich ausgebildeten) Auflage, an der

Bodenoberfläche, im oberflächennahen Bereich, noch in tieferen Schichten beobachtet. Im ungesättigten Boden erfolgt die Bewegung des Wassers vornehmlich in vertikaler Richtung, daher ist die eindimensionale Beschreibung der Wasserbewegung zulässig (MULL und BENECKE 1987).

Die Tensiometermessungen in 30 bis 50 cm Tiefe (unter dem Hauptwurzelhorizont) am Standort ZNF zeigen, daß zumindest ein geringfügiger Teil des Bodenwassers während der Sommermonate in tiefere Schichten versickert (vgl. Abb. 5.6.2 a-c). Daher können die Transpiration und die durch Sickerbewegungen verursachten Änderungen des Bodenwasseranteiles über die Bilanzmethode nur als gemeinsame Größe ermittelt werden:

$$ET + A_S = N - INT \pm \Delta B = N_B \pm DB \quad (9)$$

Tab 5.6.3:
Einfache Wasserbilanz für die Meßperioden 1992 bis 1994 (Juli - September) am Standort ZNF (Angaben in mm).

Jahr	N (mm)	INT (mm)	N _B (mm)	± ΔB (mm)	ET + A _S (mm)
1992	367,4	166,6	200,8	-57,2	257,9
1993	458,6	170,9	287,8	35,2	252,2
1994	372,8	147,7	225,1	-19,2	244,4

Wobei:

- A_S = im Boden gespeichertes Wasser + der über die Tensiometer- und TDR-Messungen nicht quantifizierbare Sickerwasseranteil.
- ΔB = Unterschied der aktuellen Bodenfeuchte im wurzelbeeinflußten Profil am Anfang und zum Ende der Meßperiode

Für die exakte Bilanzierung des Wasserumsatzes im Boden sind sehr kurze Zeitschritte notwendig. Bei dem von BENECKE (1984) für die Berechnung des Wasserumsatzes von Fi- und Bu-Beständen im Solling angewandten CSMP-Verfahren betrug die Zeitschrittlänge rund 0,5 Stunden. Wie die Abb. 5.6.2 a-c (saisonale Entwicklung des Druckpotentials im Boden) zeigen, können Niederschläge an Tagen ohne Messungen zu einer Durchfeuchtung des betrachteten Bodenkörpers und der Abgabe von Sickerwasser in tiefere Schichten führen, ohne daß diese Wasserpotential- bzw. Bodenfeuchteänderung durch eine der periodischen Messungen erfaßt wird. Man kann daher davon ausgehen, daß bei den grob texturierten, stark durchlässigen Böden des Untersuchungsgebietes die tatsächlichen Änderungen durch wöchentliche Meßkampagnen bzw. bei noch größeren Meßintervallen stark unterschätzt werden. Die Komponenten ET und A_S sind auf diese Weise nicht getrennt zu

erfassen. Die gemeinsame Komponente ET + A_s lag 1992 bis 1994 auf einem vergleichbaren Niveau (257,9, 252,2 bzw. 244,4 mm, vgl. Tab. 5.6.3).

Die über Labor-pF-Kurven und aus den in mehr-tägigen bzw. einwöchigen Abständen erhobenen Tensiometerdaten berechnete Änderung der Bodenfeuchte für den obersten, 50 cm mächtigen Bodenkörper ergab im Jahr 1992 ein Defizit von 57,9 mm, 1993 ein Plus von 35,2 mm und 1994 ein niedrigeres Defizit von 19,2 mm (Tab. 5.6.3).

5.6.4 Berechnung des Wasserumsatzes mit dem hydrologischen Modell BROOK90 (FEDERER 1995)

Im Rahmen des Versuchsprogrammes konnten weder Transpirationsmessungen noch Messungen des Saftstromes durchgeführt werden. Um dennoch einen Anhaltspunkt über die Evaporation und die Transpirationsleistung des Bestandes und die effektiv versickerte Bodenwassermenge zu bekommen, wurden die Bilanzen für die Sommermonate Juli–September der Jahre 1992 bis 1994 zusätzlich mit dem hydrologischen Modell BROOK90, entwickelt von C.A. FEDERER, gerechnet.

5.6.4.1 Eingangsdaten – Erstellung und Quellen

BROOK90 simuliert den Wasserumsatz von kleinen, uniformen Einzugsgebieten. Basierend auf den in Tab. 5.6.4.1 angeführten Eingangsgrößen (Tageswerte oder kürzere Intervalle) schätzt das Modell Interzeption und Transpiration einschichtiger Bestände, Bodenevaporation, die Bewegung des Bodenwassers (Stormflow, Pipe flow und verzögerten Abfluß). Die angeführten Eingangsgrößen basieren auf KRONFUSS (1997) und wurden z.T. gemeinsam mit KRONFUSS ermittelt.

Tab. 5.6.4.1:
Eingangsgrößen für das hydrologische Modell BROOK90 (Tageswerte oder kürzere Intervalle, Quelle: KRONFUSS 1997, 1998 b, eigene Auswertungen)

Eingangsgrößen - Tageswerte	Dimension
Mittlere Strahlung	MJ/d
Maximale Tagestemperatur	°C
Minimale Tagestemperatur	°C
Mittlerer Dampfdruck	kPa
Mittlere Windgeschwindigkeit	m/sec
Niederschlag	mm

Der Berechnung des Wasserumsatzes nach der Bilanzmethode (Kap. 5.6.3) liegen die mit dem Totalisator an der Station LYST (Höhe 1m) in mehr-tägigen oder wöchentlichen Abständen ermittelten

Niederschlagssummen zugrunde, da dieser Meßbehälter am nächsten zur Versuchsfläche ZNF positioniert ist, und seine Entleerung gekoppelt an die Messungen der Interzeption und des Stammablaufes am Standort ZNF war.

BROOK90 setzt jedoch Niederschlagswerte in zumindest täglicher Auflösung voraus. Daher waren die mit Wochensammlern ermittelten Werte nicht brauchbar, es mußte auf die Daten des automatischen Regenschreibers an der Station BASIS zurückgegriffen werden. Fehlende Werte wurden anhand der in Kap. 5.1.1 beschriebenen Regressionsbeziehung für das Jahr 1990 aus den Niederschlagsdaten der Station St. Sigmund der TIWAG hochgerechnet. Daher differieren die Monats- bzw. Quartalsummen des Niederschlages aus Bilanzmethode und BROOK90 geringfügig.

5.6.4.2 Benötigte Bestandeskenngrößen

Zur Charakterisierung des Bestandes und des Standortes werden eine Reihe weiterer Parameter (z.B. Standortverhältnisse, Angaben zum Kronendach, bodenphysikalische Kenngrößen, etc.) benötigt. „Die subjektive Anpassung der Parameter von hydrologischen Modellen ist eine Kunst, präzise Regeln dafür können nicht angegeben werden“ (Zitat FEDERER 1995). Im gegenständlichen Fall wurde das vorhandene Parameterfile CONIFER.par anhand von selbst erhobenen Geländedaten (vgl. Kap. 3 – Beschreibung des Untersuchungsgebietes), den im Labor ermittelten bodenphysikalischen Kenngrößen (siehe Kap 5.4) und Literaturdaten auf die Verhältnisse an der Versuchsfläche ZNF adaptiert. Die wichtigsten und gegenüber dem Ausgangsfile geänderten Eingangsgrößen sind in Tab. 5.6.4.2 angeführt.

5.6.4.3 Bilanzen Juli–September 1992 bis 1994 (Tab. 5.6.4.3.1 und Abb. 5.6.4.3)

Interzeption des Bestandes

Die monatlichen Interzeptionswerte liegen 1992 und 1993, unabhängig von den Niederschlagssummen, zwischen 40 und 52 mm. Auch 1994 ist keine Korrelation mit der Niederschlagsmenge zu beobachten. Im Juli werden von 141,9 mm Regen nur 48,9 mm (34,5%) in der Krone zurückgehalten, im August von 130,2 mm immerhin 60,6 mm (46,5%).

Evaporation von der Bodenoberfläche

Interzeption und Evaporation des Bodens bzw. der Streuschicht konnten im Zuge der Versuchsdurch-

Tab. 5.6.4.2: Die wichtigsten Eingangsparameter des hydrologischen Modells BROOK90 (FEDERER 1995).

Einzugsgebiet	Parameter	Erklärung	Dimension	Wert	Quelle
	NLAYER	Anzahl der Bodenschichten		5	gemessen
	ESLOPE	Neigung des Geländes	Grad (°)	35	Geländeerhebungen
	ASPECT	Exposition	Grad (°)	180	Geländeerhebungen
	ALB	Albedo - Oberflächenreflexion (Mittelwert Juli - September)		0,15	KRONFUSS (1998b)
	ALBSN	Albedo - Oberflächenreflexion bei schneebedeckter Bodenoberfläche		0	FEDERER (1995)
	ILAYER	Anzahl der Schichten über die die Infiltration im Boden erfolgt		1	Geländeerhebungen
	INTEXP	Dimensionsloser Koeffizient der die Verteilung des infiltrierten Wassers mit der Tiefe bestimmt		0,5	Geländeerhebungen
	IMPERV	Anteil der Oberfläche an der eine Infiltration in den Boden nicht möglich ist		0	Geländeerhebungen
	BYPAR	gibt den Anteil des Abflusses über bevorzugte Fließwege (Channels) an		1	Geländeerhebungen, FEDERER (1995)
	LENGTH	Hanglänge als Horizontaldistanz von der Wasserscheide bis zum Vorfluter	m	100	Geländeerhebungen
	OLAYER	Anzahl der Schichten, für die Bestimmung der Feuchte im Oberboden als Basis der Berechnung nachlieferbaren Wassers		0	Geländeerhebungen
	DURATION	Durchschnittliche Regendauer für die Monate Juli, August und September	h	2-4	Berechnungen basierend auf KRONFUSS (1987)
Kronendach	GLMAX	Maximale Blattleitfähigkeit bei voller Öffnung der Stomata	cm/sec	0,2	KÖRNER et al. (1979)
	MAXHT	Maximale Höhe des Kronendaches = durchschnittliche Höhe der größten Bäume	m	5	Geländeerhebungen
	MAXLAI	Maximaler projizierter Blattflächenindex (LAI)	m ² /m ²	10 - 12	Berechnungen basierend auf Geländeerhebungen und KRONFUSS (1987)
	PSICR	Kriechendes Blattwasserpotential, führt zum Schließen der Stomata	mPa	-1,5	HAVRANEK (1998 - mündl. Mitteil.)
	ZOG	Rauhigkeit der Bodenoberfläche unterhalb des Kronendaches	m	0,1	Geländeerhebungen
Boden	THICK	Vertikale Mächtigkeit der einzelnen Bodenschichten	mm	10	Geländeerhebungen
	STONEF	Volumensanteil der Grobfraction in den einzelnen Bodenschichten		0,1 - 0,3	Geländeerhebungen
	RELLEN	Relative Wurzelichte je Bodenschicht		1,0 - 0,1	Geländeerhebungen
	PSIM	Anfangs-Matrixpotential in den einzelnen Bodenschichten	kPa	-10,0	Geländeerhebungen
	PSIF	Wasserpotential bei Feldkapazität in den einzelnen Bodenschichten	kPa	-15,0	Berechnungen basierend auf bodenphysikalischen Analysen
	THETAF	Wasseranteil bei Feldkapazität in den einzelnen Bodenschichten		0,360 - 0,320	Berechnungen basierend auf bodenphysikalischen Analysen
	THSAT	Porosenvolumen in den einzelnen Bodenschichten		0,650 - 0,500	Berechnungen basierend auf bodenphysikalischen Analysen
	BEXP	Negative Steigung der pF-Kurve		4,4 - 4,1	Berechnungen basierend auf bodenphysikalischen Analysen
	KF	Hydraulische Leitfähigkeit bei Feldkapazität in den einzelnen Bodenschichten	mm/d	2,0	Berechnungen basierend auf bodenphysikalischen Analysen, FEDERER (1995)
	„Fixe“ Parameter	INTR	Anfangswert der Interzeption	mm	0 - 0,2
FRINTL		Im Kronendach zurückgehaltene Regenmenge pro Einheit projiziertem LAI		0,07	Berechnungen basierend auf Geländeerhebungen
FRINTS		Im Kronendach zurückgehaltene Regenmenge pro Einheit projiziertem SAI		0,07	Berechnungen basierend auf Geländeerhebungen
CINTRL		Maximal gespeicherte Regenmenge pro Einheit projiziertem LAI		0,15	Berechnungen basierend auf Geländeerhebungen
CINTRS		Maximal gespeicherte Regenmenge pro Einheit projiziertem SAI		0,15	Berechnungen basierend auf Geländeerhebungen
CVPD		Dampfdruckdefizit, ab welchem die Blattleitfähigkeit halbiert wird	kPa	1,5	FEDERER (1995)

führung experimentell nicht erfaßt werden. Der dichte Bestand (93 Bäume auf 100 m²), das bewegte Kleinrelief, die dichte Meßanordnung (Tensiometer, TDR-Profile, 18 Sammelrinnen für den Kronendurchlaß, die Ausleitungsstränge zu den Sammelbehältern) machten die Installation einer Meßeinrichtung zur Quantifizierung der Streuinterzeption bzw. der -evaporation unmöglich. Zudem war die räumliche Verteilung der Zi-Streu sehr uneinheitlich. Die Versuchsfläche ZNF war Teil einer größeren Versuchseinheit, welche für die Dokumentation des laufenden Zuwachses jährlich intensiv begangen werden mußte.

Überlegungen, in westlich oder östlich angrenzenden Parzellen (älteren bzw. jüngeren Teilen) der Aufforstung Plattenlysimeter, wie sie LUEF (1997) bzw. THAMM und WIDMOSER (1995) beschreiben, zum Auffangen des die Auflage durchsickernden Wassers zu installieren, konnten aus den in Kap. 1 angeführten Gründen nicht verfolgt werden.

HELVEY und PATRIC (1965) geben für die östliche Laubbaumholzregion der USA Interzeptionsverluste durch die Streuschicht in der Höhe von 2,5% des Niederschlages an. Überschlagsmäßige Berechnungen für den Standort ZNF nach den Angaben von HELVEY und PATRIC ergeben bei Niederschlagsmengen zwischen 353 und 462 mm im dritten Quartal der Jahre 1992 bis 1994 Streuinterzeptionsraten von lediglich 9 bis 12 mm. TIKTAK und BOUTEN (1994) berechneten mit dem SWIF-Modell die potentielle Bodenevaporation eines 29 Jahre alten, 18 m hohen Douglasienbestandes mit einem gegenüber dem Standort ZNF geringfügig niedri-

geren Blattflächenindex (8 bis 11 m²/m² gegenüber 10 bis 12 m²/m²) in Zentral-Holland. Bei einer mittleren Jahresniederschlagsmenge von 834 mm ergab sich für die Bodenevaporation der gegenüber HELVEY und PATRIC (1965) etwas höhere Wert von 32 mm p.A. Nach HAGER (1988) scheinen jedoch die Angaben von HELVEY und PATRIC für mitteleuropäische Verhältnisse zu niedrig zu sein.

Feldbeobachtungen bei der Durchführung der Starkregenexperimente zeigen, daß die extrem lockere, geringmächtige L-Schicht (0–5 cm, an einzelnen Stellen 10 cm) vom Niederschlag rasch durchdrungen wird.

Die rechnerisch ermittelten Werte der Bodenevaporation sind extrem niedrig (zwischen 1 bis 2,1 mm/Monat). Das Modell trägt der dichten Überschildung Rechnung. ELLING et al. (1990) berücksichtigten bei ihrer Schätzung der aktuell nutzbaren Wasserspeicherung des Wurzelraumes der von BENECKE (1984) untersuchten Waldbestände die Speicherwirkung des Auflagehumus durch einen Zuschlag von 3 mm je cm Mächtigkeit. Dieser Wert erscheint sehr hoch angesetzt. Bereits HOPPE (1896) stellte auf dichten, nicht durchforsteten Flächen geringere Bodenevaporation infolge stärkerer Beschattung und fehlender Bodenvegetation fest. HÄDRICH und HEUVELDOP (1978) belegten anhand von Lysimetermessungen, daß trotz zeitweise aufwärts gerichteter hydraulischer Gradienten der Verdunstungsbeitrag des Mineralbodens zu vernachlässigen ist. Die ermittelte Lysimeterverdunstung von 18% des Bestandesniederschlages in einem Lärchen-Buchenbestand resultierte ausschließlich

Tab. 5.6.4.3.1:

Wasserumsatz am Standort ZNF im dritten Quartal der Jahre 1992 bis 1994 berechnet mit dem hydrologischen Modell BROOK90 (FEDERER 1995), Angaben in mm

Jahr	Monat	N	INT	N _B	E _B	BW	T	BYFL	A _S	ET
1992	Juli	163.1	50.8	112.3	2.1	122.4	60.4	30.9	52.6	113.1
	Aug	99.6	49.3	50.3	2.5	82.9	78.3	5.1	3.9	130.4
	Sept	90.7	43.8	46.9	1.1	70.1	55.3	3.0	0.3	100.2
	S	353.4	143.9	209.5	5.7	275.4	194.0	39.1	56.8	343.6
1993	Juli	220.5	51.8	168.7	2.3	137.5	42.2	60.3	82.5	95.5
	Aug	145.2	49.4	95.9	1.7	143.0	49.8	18.8	20.1	99.9
	Sept	95.8	40.4	55.4	1.4	121.8	34.2	11.4	29.6	77.8
	S	461.5	141.6	319.9	5.5	402.3	126.2	90.5	132.2	273.2
1994	Juli	141.9	48.9	93.0	2.1	119.1	66.3	22.6	39.0	117.3
	Aug	130.2	60.6	69.6	1.8	118.4	58.7	7.9	1.9	119.8
	Sept	101.0	32.7	68.3	1.2	110.8	48.2	11.7	14.8	83.4
	S	373.1	142.3	230.8	5.0	348.3	173.1	42.3	55.8	320.4

N = Niederschlag

INT = Interzeption

N_B = Bestandesniederschlag

E_B = Bodenevaporation

BW = gesamtes Wasser im Boden

T = Transpiration

BYFL = Bypass flow (rascher Abfluß über sekundäre Fließwege)

A_S = Tiefensickerung

ET = Evapotranspiration (INT + T + EB)

aus Streu-Interzeptionsverdunstung. Dies bedeutet, daß die Wassersättigung des Mineralbodens für die Streu-Interzeptionsverdunstung nicht relevant ist. Der Verdunstungsverlust aus der Streudecke am Standort ZNF kann daher aufgrund der sehr lockeren und inhomogenen Streudecke, mit geringer Mächtigkeit (0 bis 5, selten 10 cm), bei dominanter L-Schicht als vernachlässigbar gering angesehen werden. Auch BRECHTEL und PAVLOV (1977) bauen die Berechnung des Bestandesniederschlags und der Interzeptionsverdunstung auf der Hypothese auf, daß keine signifikante Evaporation von Wasser aus dem Mineralboden erfolgt, da die Bodenstreu isolierend wirkt. MITSCHERLICH (1971) weist darauf hin, daß der Verdunstungsschutz der Streudecke den Interzeptionsverlust ausgleichen kann.

5.6.5 Vergleich Wasserbilanzmethode – BROOK90

5.6.5.1 Niederschlagsumsatz im Kronendach

Der in Tab. 5.6.4.3.2 angeführte Vergleich zwischen dem vor Ort gemessenen und mit dem Modell berechneten Umsatz des Niederschlags im Kronendach zeigt, daß BROOK90 die Interzeption des Bestandes durchschnittlich um fast 11% unterschätzt. Besonders stark fällt dieser Unterschied bei hohen monatlichen bzw. saisonalen Niederschlagssummen aus.

So wird für den regenreichen Sommer 1993 mit dem Modell eine wesentlich höherer Bestandesnie-

derschlag als der tatsächlich gemessene ermittelt (320 mm gegenüber 288 mm), auch wird die Interzeption z.B. im Juli 1993 trotz der geringfügig höheren Regenmenge (Differenz aus der Berechnung der Niederschlagssummen aus verschiedenen Sammlern, wie bereits angeführt) um 37,5% zu niedrig angesetzt. Das Modell rechnet mit der niedrigen durchschnittlichen Niederschlagsdauer von 2 bis maximal 4 Stunden pro Tag. Tatsächlich treten aber Starkregen hoher Intensität nur selten auf, i.d.R. sind auch die meisten Ereignisse mit hohen Niederschlagsmengen durch niedrige Intensitäten und mehrfache Unterbrechungen charakterisiert, die ein Abtrocknen des Kronendaches und damit höhere Interzeptionsraten ermöglichen (vgl. Tab. 5.2.1 und Tab. 8.4 im Anhang).

Ein für abhängige Stichproben durchgeführter F-Test ($\alpha = 5\%$) zeigt, daß sich gemessener und der durch das Modell geschätzte Bestandesniederschlag nicht signifikant unterscheiden (kritischer F-Wert bei 8 FG = 3,44; $P = 0,29$).

5.6.5.2 Evapotranspiration und Versickerung

Transpiration und Bodenevaporation konnten im Zuge der Feldexperimente meßtechnisch nicht separat erfaßt werden. Für den Term $ET + A_s$ (Evapotranspiration und Versickerung) ergeben die Bilanzmethode nach BRECHTEL (1975) bzw. BALAZS und BRECHTEL (1974) und das Modell BROOK 90 sehr gut vergleichbare Werte. Unter Berücksichtigung der Ergebnisse von KÄPPELI und SCHULIN

Tab. 5.6.4.3.2: Monatsbilanzen des Niederschlagsumsatzes im Kronendach - Vergleich der über das Modell BROOK90 berechneten Werte mit den im Gelände erhobenen Daten.

Jahr	Monat	N BROOK90	N gemessen	N Differenz (%)	INT BROOK90	INT gemessen	INT Differenz (%)	NB BROOK90	NB gemessen	NB Differenz (%)
1992	Juli	163.1	171.1	4.7	50.8	75.6	32.8	112.3	95.5	-17.6
	Aug	99.6	102.0	2.4	49.3	54.2	9.0	50.3	47.9	-5.1
	Sept	90.7	94.2	3.7	43.8	36.8	-19.0	46.9	57.4	18.3
1993	Juli	220.5	215.6	-2.3	51.8	82.9	37.5	168.7	132.7	-27.1
	Aug	145.2	143.7	-1.0	49.4	46.0	-7.3	95.9	97.7	1.8
	Sept	95.8	99.3	3.5	40.4	41.9	3.6	55.4	57.3	3.4
1994	Juli	141.9	143.9	1.4	48.9	35.4	-38.0	93.0	108.5	14.3
	Aug	130.2	128.3	-1.5	60.6	81.8	25.9	69.6	46.5	-49.7
	Sept	101	100.6	-0.4	32.7	30.4	-7.5	68.3	70.2	2.6
	\bar{x}	132.0	133.2	0.9	47.5	53.9	11.8	84.5	79.3	-6.6
	s	42.0	40.6	2.5	7.8	20.9	25.0	38.7	30.4	21.6

Differenz (%) = Unterschied zwischen den mit BROOK90 ermittelten und den im Gelände gemessenen Werten bezogen auf die gemessenen Werte

N = Freiland-Niederschlag

INT = Interzeption

NB = Bestandesniederschlag

\bar{x} = arithmetisches Mittel

s = Standardabweichung

(1989) kann man davon ausgehen, daß die effektive Tiefensickerung durch das Modell zu hoch angesetzt wird, da während der Vegetationsperiode auf sandigen Standorten bei diesen Niederschlagssummen (< 1100 mm p.a.) nicht mit hohen Versickerungsraten zu rechnen ist.

Tab. 5.6.4.3.3:
Potentielle Verdunstung am Standort LYST, ermittelt mit dem Piché-Evaporimeter in mm (nach KRONFUSS 1997).

Jahr	Juni	Juli	August	Σ
1992	86,7	112,4	112,1	311,2
1993	93,2	74,9	89,8	257,9
1994	120,8	146,7	110	377,5

LYR et al. (1992) geben für die meisten Baumarten der gemäßigten Zone maximale Transpirationsraten in der Größenordnung von 4 bis 5 mm/d an, nur vereinzelt kommen Transpirationsraten bis 8 mm/d vor. CARTELLIERI (1935) beobachtete an 2 m hohen Zirben am Patscherkofel bei Innsbruck im Hochwinter einen extrem geringen Wasserverbrauch (1–4 mg/g/h), dieser nahm im Laufe des Frühjahrs nur ganz allmählich zu. Im Sommer zeigten zwei verschiedene, ca. 2 m hohe Probestämme von *Pinus cembra* ein vollkommen unterschiedliches Transpirationsverhalten, bei gleichen Bedingungen verbrauchte der eine Baum viel weniger Wasser als der andere, das Transpirationsverhalten wurde von den Bäumen um die Mittagszeit unterschiedlich stark eingeschränkt. Nach CARTELLIERI kann man (nur) bei Pflanzen, deren Transpiration während des ganzen Tages der Verdunstung proportional bleibt, aus der potentiellen Verdunstung auf die Wasserabgabe der Pflanze schließen.

Die Extraktionsrate der Wurzeln hängt nach SLICHTER et al. (1979) von der Dichte der Feinwurzeln, dem Grad der Austrocknung des Bodens, den atmosphärischen Bedingungen und der Phänologie des Bestandes ab. Die meisten Koniferenbestände transpirieren in den Sommermonaten zwischen 1 und 6 mm/d. Diese Angaben sind ein Hinweis auf die starke Variation der saisonalen Transpiration in Abhängigkeit von Baumart und der Wasserversorgung des Bodens (CERMAK 1995). KRONFUSS (1997) hat die potentielle Verdunstung für den Standort LYST an grünen Filterscheiben mittels Piché-Evaporimeter ermittelt (Tab. 5.6.4.3.3). Es zeigt sich, daß Epot z.B. im Sommer 1992 mehr als 50% (258 mm im Zeitraum Juli bis September) über dem mit dem Modell berechneten Wert (126 mm) liegt (vgl. Tab.

5.6.4.3.2 und Abb. 5.6.4.3). BENECKE (1975) führt an, daß manche Pflanzen so stark transpirieren, daß sie selbst bei Feldkapazität ihren Wasserverbrauch durch Spaltenschluß einschränken. Dies führt häufig zu einer Mittagsdepression der Transpiration. Auch die Untersuchungen von TRANQUILLINI (1963) weisen darauf hin, daß gerade Bäume in den Hochlagen auch bei reichlicher Wasserversorgung die CO₂-Assimilation mit zunehmendem Sättigungsdefizit der Luft deutlich einschränken.

Man kann also davon ausgehen, daß die mit dem Modell berechneten Werte eher der tatsächlichen Transpiration des Zirbenbestandes am Standort ZNF entsprechen.

Im Prinzip werden die Erkenntnisse von KENNEL (1998) aus dem forsthydrologischen Einzugsgebiet Krofdorf (Einzugsgebiet der großen Ohe) bestätigt: Es ergeben sich bezüglich der wichtigsten Parameter (Verdunstung, Interzeption, Bodenwasserumsatz) gute Übereinstimmungen zwischen den berechneten Daten mit dem Modell BROOK90 und den direkt vor Ort ermittelten Meßwerten. Die vorhandenen Abweichungen sind vermutlich Folgen der in Kap. 5 beschriebenen eingeschränkten Genauigkeit der angewandten Meßmethoden zur Bestimmung des Bestandesniederschlages, der Interzeption und des saisonalen Wasserangebotes im Boden, und nicht auf Mängel des Modells zurückzuführen.

5.7 Zusammenhang zwischen Stammzahlhaltung, Interzeptionsleistung, Bestandesstabilität und Bewirtschaftungsaufwand

Die Hochlagenaufforstung Haggen ist durch eine extrem hohe Stammzahlhaltung gekennzeichnet. Insbesondere die hohe winterliche Belastung durch Schneeschub machte nach HENSLER (1970) maximale Pflanzenzahlen von 16.000 Individuen/ha und mehr notwendig. KRONFUSS (1999) hat die Stammzahl einer undurchforsteten Fläche mit Zirbe am Standort ZNF (Zirben-Nullfläche, siehe Kap. 4.1) mit einer benachbarten Referenzfläche verglichen, die zweimal durchforstet wurde (vgl. Abb. 5.7). Kennzeichen der hohen Stammzahlhaltung am Standort ZNF ist ein deutlich höherer Ausfall, 1030 Individuen bzw. 7% von insgesamt 15.000 Bäumen sind im Zeitraum 1970 bis 1995 ausgefallen. Dagegen wurden im Vergleichsbestand nach zwei Durchforstungseingriffen (jeweils Herbst 1983 und 1995) die Ausgangsstammzahl von 18.220 auf 3.866, d.h. 21% der anfänglichen Individuenzahl reduziert, die

Abb. 5.6.4.3: Wasserumsatz am Standort ZNF im dritten Quartal der Jahre 1992 bis 1994. Vergleich der nach der Wasserbilanzmethode (linkes Bild) und mit dem hydrologischen Modell BROOK90 (FEDERER 1995) ermittelten Werte, Angaben in mm (rot = 1992, schwarz = 1993, blau = 1994).

N = Niederschlag, INT = Interzeption, N_B = Bestandesniederschlag, N_{St} = Stammablauf, T = Transpiration, ET = Evapotranspiration, A_s = Tiefensickerung

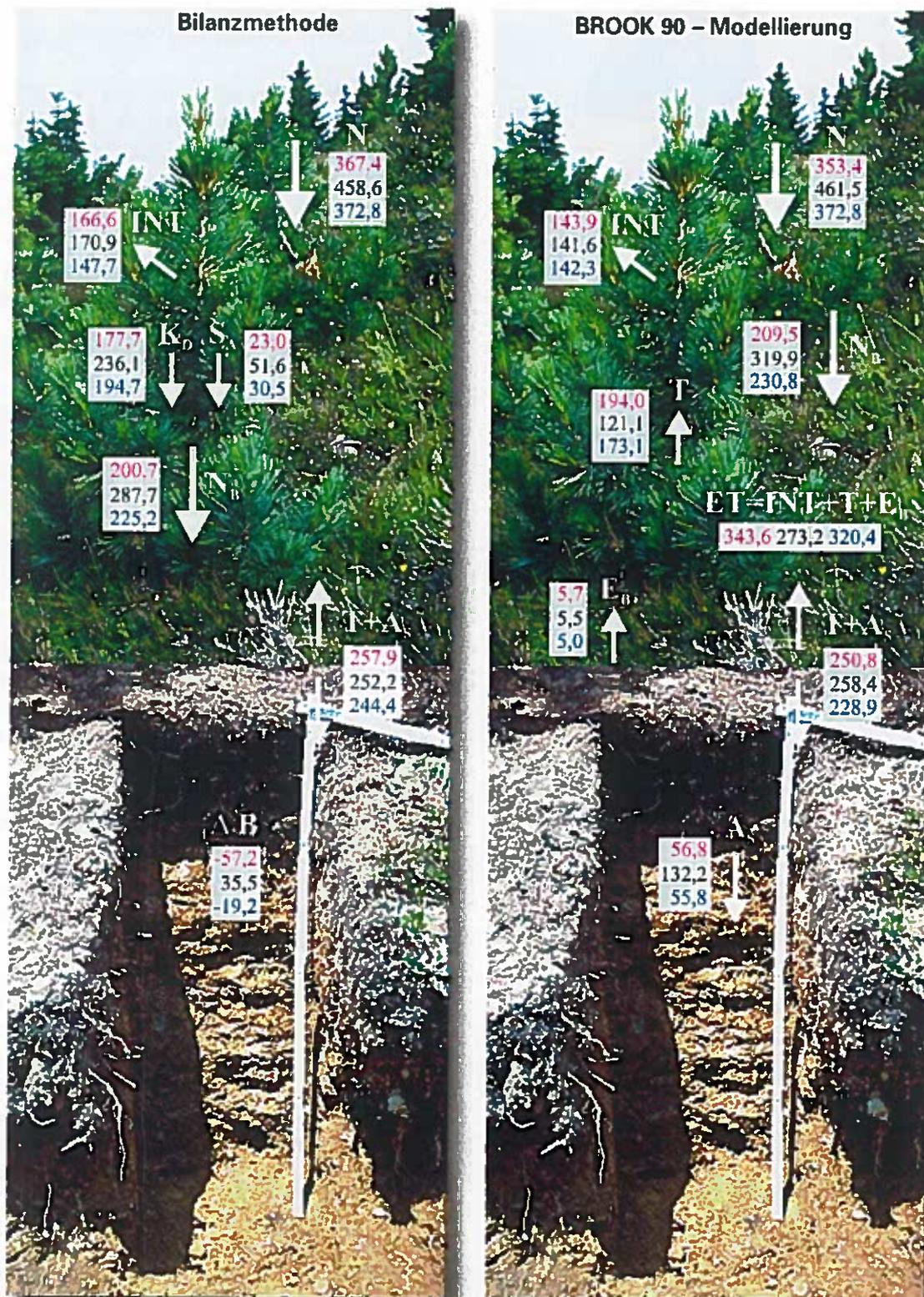
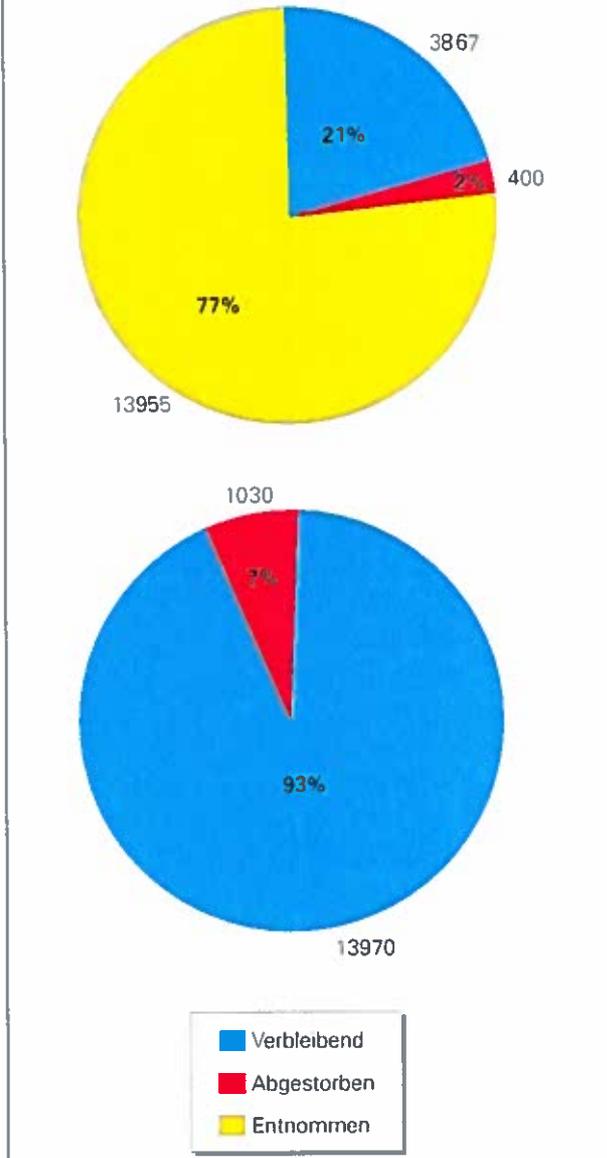


Abb. 5.7:
Stammzahl im Bereich zweier 25-jähriger Versuchsflächen mit Zirbe. Links: Eine zweimal durchforstete Vergleichsfläche (1983 und 1995); rechts: nicht durchforstete Fläche am Standort ZNF (nach KRONFUSS 1999).



Mortalität war mit 400 Individuen (2%) deutlich geringer als auf der Nullfläche.

Aufgrund der hohen Zahl der gesetzten Pflanzen wurde im Untersuchungsgebiet bereits wenige Jahre nach Aufforstungsbeginn ein hoher Überschirmungsgrad erreicht. Die westlich an das Versuchsfeld angrenzende Ersatzaufforstungsfläche der TIWAG wurde 1983 mit deutlich geringeren Stammzahlen begründet (ca. 6100/ha, detaillierte Aufzeichnungen über die pro Flächeneinheit ausgebrachten Baumarten liegen nicht vor), hier ist ca. 20 Jahre nach der Aufforstung ein annähernder Bestandes-

schluß zu erwarten (vgl. Abb. 4.1.2, grüne Fläche oberhalb der Versuchsfläche HEUM). Am Standort ZNF wurde der Kronenschluß in 10 Jahren nach der Aufforstung erreicht (KRONFUSS 1999, mündliche Mitteilung). Die volle Überschirmung und die flächendeckende Interzeptionswirksamkeit durch den Bestand wird bei der stammzahlärmeren Variante im Bereich des Standortes HEUM also mit einer zeitlichen Verzögerung von 5 bis 10 Jahren erreicht.

Ein in den Anfangsjahren höherer Beschirmungsgrad bringt jedoch nur kurzzeitig geringe Vorteile und wird mit einer Reihe von Nachteilen erkauft:

► Wie bereits in Kap. 5.3.1 angeführt, geben BAUMGARTNER et al. (1983) 20 m² oberirdische Nadeloberfläche als Größenordnung für Koniferenbestände an. DROSTE zu HULSHOFF (1969) ermittelte für einen 76-jährigen Fichtenbestand im Ebersberger Forst bei München einen mittleren Nadeloberflächenindex von 21,6 m². Trotz der hohen Anfangsstammzahl von ca. 14.000/ha liegt die rechnerisch für den Standort ZNF ermittelte Nadeloberfläche zwischen 19,1 m² (1992) und 23,1 m² (1994, vgl. Tab. 5.3.1). Diese rechnerisch ermittelte Zunahme der Nadeloberfläche äußert sich jedoch nur in einem geringen Anstieg der Kronenspeicherkapazität um 0,8 mm, von 5,4 auf 6,2 mm innerhalb dreier Beobachtungsperioden von 1992 bis 1994 (vgl. Kap. 5.2.5.2, Tab 5.2.5.2). Bei jeder im Untersuchungsgebiet durchgeführten Durchforstung war wieder ein vollständiger Kronenschluß, und damit eine homogene Überschirmung erreicht. Es wird daher ersichtlich, daß bei extrem hoher Stammzahlhaltung die Nadelmasse bzw. die Nadelfläche gegenüber durchforsteten Beständen und damit auch das Interzeptionsprozent auf Dauer nur in geringem Maße gesteigert werden kann. In diese Richtung weisen auch die Ergebnisse einer Reihe von Untersuchungen an anderen Baumarten, u.a. von NIEDERHOF und WILM (1943) in Douglasienbeständen. Sie stellten fest, daß eine namhafte Erhöhung des Kronendurchlasses bzw. eine deutliche Verminderung des Interzeptionsprozentes nur über sehr starke Eingriffe erzielt werden kann. Die Entnahme von 1/3 des stockenden Bestandes hatte lediglich eine Steigerung des K_D bzw. eine Verminderung des Interzeptionsprozentes um 11% des Freilandniederschlages zur Folge. GOODELL (1953) erzielte bei einer Reduktion des Beschirmungsgrades ebenfalls in einem Douglasienbestand um 0,4 bis 0,5 eine bescheidene (vor-

übergehende) Steigerung des Niederschlages im Bestand von 13 bis 23%. Diese Ergebnisse decken sich mit den Resultaten von Durchforstungen an 29- und 35-jährigen Douglasienbeständen, durchgeführt von MITSCHERLICH und MOLL (1970), wobei als Folge starker Durchforstungseingriffe verstärkt durch die Abnahme des Stammablaufes die Reduktion der Interzeption mit 6 bis 8% des Freilandniederschlages gering ausfiel.

► In überbestockten dichten Beständen bilden sich kurze Kronen mit relativ großen spindeligen Bäumen (hohes H/D-Verhältnis) aus. Im Alter 25 im Jahr 1995 ergeben sich für den arithmetischen Mittelstamm am nicht durchforsteten Standort ZNF eine Höhe von 4,50 m und ein H/D-Verhältnis von 0,70 bei einem Vorrat von 162 Vfm/ha, als Folge der hohen Stammzahl. Auf der zweimal durchforsteten Vergleichsfläche gleichen Alters weist der arithmetische Mittelstamm eine Höhe von 5,30 m, einen H/D-Wert von 0,51 und einen Vorrat von 99 Vfm/ha auf (KRONFUSS 1999). Der dichte Bestand ist also durch deutlich höhere H/D-Werte und langsames Wachstum des Einzelbaumes gekennzeichnet. Die vorliegenden Ergebnisse werden auch durch die Beobachtungen von KAMMERLANDER (1985), der im Oberhauser Zirbenwald in Osttirol eine deutliche Verzögerung des Höhenwachstums der Zirbe unter Druckstand feststellte, bestätigt. AMMER (1996) beschreibt ähnliche Effekte als Folge von Lichtkonkurrenz in Naturverjüngungen von Bergahorn, Tanne und Fichte in den Chiemgauer Alpen. Während die jeweils höchsten Pflanzen von der Kronenkonkurrenz praktisch nicht betroffen waren, wurden die kleinsten am stärksten konkurrenziert. Nach HASENAUER und MONSERUD (1996) stellt das H/D-Verhältnis bei den meisten Baumarten, so auch bei der Zirbe, die am leichtesten beeinflussbare Kenngröße, also jene mit der höchsten Variabilität dar. Die zunehmende Bedrängung durch den Nachbarn äußert sich in einer verminderten mechanischen Stabilität des Einzelbaumes gegen Wind- und Schneebruch (KRAMER und KÄTSCH 1994). In der Aufforstung in Haggen wurde Schneebruch primär in Bereichen mit langer Schneebedeckung, hoher Schneemächtigkeit und Stammzahlen > 10.000/ha beobachtet (STERN 1978).

► Noch bevor es in der Aufforstung mit 6000 Zirben je ha nach 20 Jahren zum Kronenschluß kommt, wird in der Dichtfläche die erste Durchforstung notwendig. In diesem Fall wurde der erste Eingriff 1983 durchgeführt, zwei weitere Eingriffe erfolgten

in den Jahren 1989 und 1997. Nach MUNDT (1999 - mündliche Mitteilung) mußten allein beim dritten Eingriff im Jahr 1997 im alten Teil der Aufforstung jeweils 50 bis 70% des stockenden Bestandes entnommen werden; je nach Eingriffstärke, Struktur und Bestandesdichte entstanden Durchforstkosten von ATS 70.000,- bis ATS 170.000,-/ha.

Für die Praxis bedeutet dies:

Beim gegebenen standörtlichen Wuchspotential (vgl. KRONFUSS 1985, NEUWINGER 1972) könnten mit Pflanzzahlen zwischen 5.000 und 6.000/ha gegenüber stammzahlreichen Aufforstungen (15.000/ha) zumindest zwei Durchforstungseingriffe eingespart werden. Zudem ist die Dickungspflege in lichterem Beständen leichter und aufgrund der geringeren Individuenzahl kostengünstiger durchzuführen.

6 Zusammenfassung - Danksagung

Die hydrologische Wirkung des Waldes in den Hochlagen durch Verminderung des Gebietsabflusses bei Starkregen ist in der Literatur vielfach beschrieben. Unter dem Blickwinkel des Hochwasser- und Lawinenschutzes wurden in vielen hochgelegene Bereichen des Alpenraumes Aufforstungsprojekte durchgeführt. Doch gibt es kaum quantitative Angaben über den tatsächlichen Wasserrumsatz von Hochlagenaufforstungen.

In der von KRONFUSS (1997) meteorologisch und biometrisch umfassend dokumentierten Hochlagenaufforstung Haggen im Sellrain bot sich die Möglichkeit zur Durchführung solcher Untersuchungen. Von 1989 bis 1994 wurden daher an unterschiedlich bestockten Versuchsflächen der saisonale Verlauf der Wasserspannung im Boden über Tensiometer beobachtet. Als Vergleichsflächen dienten eine vollbestockte Zirbenfläche (ZNF, aufgeforstet im Herbst 1970, 12400 Individuen/ha), eine durchforstete Fläche gleichen Alters (UH), eine 1983 durchforstete Zirbenfläche (BASIS, ca. 6300/ha), eine vollbestockte Lärchengruppe im jüngsten Teil der Aufforstung (1982 begonnen, ca. 6100 Bäume/ha) und eine vergraste Vergleichsfläche mit *Calluna vulgaris*. In der Versuchsfläche ZNF wurden zusätzlich von 1992 bis 1994 der Kronendurchsatz (K_D) in 18 Regenrinnen mit je 750 cm² Fläche aufgefangen, dies entspricht einer gesamten Auffangfläche von 1,35 m² bei einer

Größe der Probefläche von 75 m², und der Stammablauf (N_{St}) an 10 Bäumen bei natürlichen Niederschlagsereignissen bestimmt. Das Rückhaltevermögen des Kronendaches und die Bereitschaft zur Bildung von Oberflächen- und Zwischenabfluß bei hohen Niederschlagsmengen wurde 1991 durch Simulation von Starkregen mit einer Großregenanlage bei Intensitäten zwischen 35 und 96 mm/h experimentell überprüft. Beregnungsdauer: 0,5 bzw. 1,0 h. Trotz der methodischen Schwächen der Beregnungen (vgl. Kap. 4.2) steht die Wichtigkeit dieser Versuche außer Zweifel, während der Interzeptionsmessungen in den Jahren 1992 bis 1994 wurde bei keinem natürlichen Ereignis eine den simulierten Regen vergleichbare hohe stündliche Intensität erreicht (vgl. Tab. 5.2.1 – Spitzenintensität 1993: 7,2 mm in 25 min, 1994: 11,8 mm in 5 min). Im Untersuchungsgebiet dominieren Niederschläge geringer Intensität (< 5 mm/h).

Weiters umfaßte die Versuchsanordnung die Bestimmung der wichtigsten bodenphysikalischen Parameter auf den vier Versuchsflächen (Textur, pF-Kurven, K_r -Werte, Feststoff- und Lagerungsdichte, etc.).

Es standen (mit Unterbrechungen) Niederschlagsdaten von bis zu sechs Regensammlern aus dem Arbeitsgebiet zu Verfügung. Aufgrund mangelnder zeitlicher Auflösung (Mehrtages- bzw. Wochensummen) und teilw. fehlender Meßwerte wurden umfangreiche Korrekturberechnungen notwendig. Die besten Korrekturergebnisse ergaben sich über eine für das Jahr 1990 aus Niederschlagsdaten der Station St. Sigmund der TIWAG ermittelten Regressionsbeziehung.

Bei natürlichen Regenereignissen wurden am vollbestockten Standort ZNF im 3. Quartal der Jahre 1992 bis 1994 zwischen 37 und 45% des Niederschlages im Kronenraum zurückgehalten. Im Zuge der 8 simulierten Starkregen lag die Interzeption zwischen 14 und 45%. Vielfach wurden bei Niederschlägen gleicher Dauer vollkommen unterschiedlicher Niederschlagsabsatz im Bestand beobachtet. So differierten Interzeption (INT), Stammablauf (N_{St}) und Kronendurchlaß (K_D) trotz vergleichbarer Niederschlagsmengen in den Septembermonaten 1992 bis 1994 beträchtlich. Dies kann als Effekt unterschiedlicher Intensitäten und des Windes als maßgeblicher Faktor für die räumliche Verteilung des Niederschlages angesehen werden. Aufgrund der hohen Individuenzahl auf der Versuchsfläche (93 Bäume auf 75 m²) und der glatten Rinde der jungen Zirben wurden im Mittel 8,2% des Niederschlages als N_{St} quantifiziert.

Der geringfügige Anstieg der Kronenspeicherkapazität (K_o) von 5,4 mm (1992) auf 6,2 mm (1994) kann auch auf den Anstieg der Nadeloberfläche von 19,1 auf 23,1 m²/m² im gleichen Zeitraum zurückgeführt werden. K_o liegt mit 4,2 mm (simulierte Starkregen) und max. 6,2 mm bei natürlichen Ereignissen im oberen Bereich der in der Literatur für Koniferen angeführten Werte.

Für die lehmig sandig bis schluffig sandig texturierten, mittel bis stark skelettreichen Braunerden unterschiedlichen Podsolierungsgrades sind hohe Gesamtporenvolumina kennzeichnend (zwischen 65 und 77% in der obersten Tiefenstufe).

Regressionsanalysen zwischen den mit Tensiometern in den Jahren 1989 und 1990 ermittelten Bodenwasserspannungen und dem parallel dazu gravimetrisch über Bohrstockproben quantifizierten Wasseranteil ergaben keinen statistisch signifikanten Zusammenhang. Auch die Berechnung von Freiland-pF-Kurven für den Standort ZNF aus Tensiometerdaten und der parallel dazu über TDR-Sonden gemessenen Bodenfeuchte ergab keine statistisch gesicherten Ergebnisse. Die Ursache dafür ist primär in der großen örtlichen Variabilität des über die Bohrstockproben und die TDR-Sonden ermittelten Wasseranteiles gegenüber den Tensiometern zu sehen. Die Porencharakteristik wurde daher über kombinierte Entwässerungskurven ungestörter Zylinderproben (200 cm² Volumen) am Unterdruckkapillarimeter nach NEUWINGER und an der Druckplattenapparatur nach RICHARDS ermittelt. Aus den experimentell bestimmten Punkten der Entwässerungskurven wurden Ausgleichsfunktionen 5-ter Ordnung gerechnet, die dem im Labor ermittelten Desorptionsverhalten am nächsten kommen ($R = 0,95$ bis $0,97$).

Jede der Versuchsflächen zeigt in den Meßperioden 1989 bis 1994 einen typischen Gang der Bodenfeuchte, der sich über unterschiedliche Bestockung, Bestandesalter und -dichte erklären läßt. Die mit Zirbe bestockten Flächen reagierten auf abnehmendes Wasserangebot wesentlich rascher als die mit *Calluna vulgaris* bestockte Freifläche. Je älter die Bäume und je intensiver der Dichtstand, umso rascher erfolgt der Anstieg der Bodenwasserspannungen. Je lockerer, umso langsamer und weniger tiefgreifend geht der Wasserentzug aus dem Bodenprofil vor sich. Die Austrocknung des Mineralbodens beginnt in der Aufforstung im Hauptwurzelraum, auf der Freifläche dagegen von der obersten Tiefenstufe nach unten. Die lockere Streu in der Aufforstung verhindert aufgrund ihrer isolierenden

Wirkung die Wasserabgabe vom Mineralboden an die Atmosphäre. Während längerer Trockenperioden bzw. in Phasen extrem niedriger Tagesniederschläge (< 3 bis 5 mm) verwischen die Unterschiede im Aufsättigungs- und Desorptionsverhalten der einzelnen Versuchsflächen. Homogene Durchfeuchtung des Bodens ist primär nach ergiebigen Einzelergebnissen bzw. bei mehrtägigen Niederschlägen höherer Intensität zu beobachten.

Die anhand der Labor-pF-Kurven in Kombination mit den in mehrtägigen bzw. einwöchigen Abständen berechnete Änderung der Bodenfeuchte von 1. Juli bis 30. September für den betrachteten, 500 mm mächtigen Bodenkörper ergab im Jahr 1992 ein Defizit von 57,9 mm, 1993 ein Plus von 35,2 mm und 1994 ein niedrigeres Defizit von 19,2 mm.

Um einen Anhaltspunkt über die Transpirationsleistung des Bestandes ZNF zu bekommen, wurden die Bilanzen für die Sommermonate Juli - September 1992 bis 1994 mit dem hydrologischen Modell BROOK90, entwickelt von C.A. FEDERER, gerechnet. Es zeigt sich, daß Epot mit 258 mm (aus KRONFUSS 1997) im 3. Quartal 1992 um mehr als 50% über dem mit dem Modell berechneten Wert (126 mm) liegt. Eine Reihe von Untersuchungen weist darauf hin, daß besonders Bäume in den Hochlagen auch bei ausreichender Wasserversorgung die CO₂-Assimilation mit zunehmendem Sättigungsdefizit der Luft deutlich einschränken. Es scheint also der Schluß zulässig, daß die mit dem Modell berechneten Werte der tatsächlichen Transpiration des Bestandes nahe kommen.

Es zeigt sich, daß die Begründung der Hochlagenaufforstung in Haggen mit hohen Stammzahlen aus hydrologischer Sicht nur in den ersten Jahren Vorteile bietet. Allerdings wird dieser positive Einfluß auf den Gebietsabfluß bereits nach wenigen Jahren durch verstärkte Konkurrenz, ungünstige Stammformen (hohe H/D-Werte) und hohen Pflegeaufwand erkaufte.

Danksagung

Die Idee zur vorliegenden Arbeit hatte Dipl.Ing. Dr. Roland STERN, bis 1994 Leiter der Außenstelle für Subalpine Waldforschung der FBVA. Er hat die Arbeit mit großem Einsatz unterstützt und stand stets beratend zur Verfügung. HR Dipl.Ing. Friedrich RUHM, Direktor der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, hat die Durchführung von Geländearbeiten und Teilauswertungen im Rahmen des Projektes XII/13 bzw. 8.13 der FBVA ermöglicht. Vizerektor a.Univ.Prof. Dipl.Ing. Dr. Herbert HAGER, Institut für Waldökologie der Universität für Bodenkultur, sowie a.o.Univ.Prof. Dr. Gernot PATZELT, Vorstand des Institutes für Hochgebirgsforschung, alpine Land- und Forstwirtschaft der Universität Innsbruck, haben den Fortgang der Arbeit in einer Reihe von Gesprächen und Anregungen gefördert.

Mein Abteilungsleiter, HR Dipl.Ing. H. KRONFUSS, Leiter der Abteilung für Bewirtschaftung von Wildbach- und Lawineneinzugsgebieten, des Institutes für Lawinen- und Wildbachforschung der FBVA, stellte umfangreiche klimatologische und biometrische Datengrundlagen über die Aufforstung Haggen zur Verfügung, er hat auch die Messungen vor Ort mitbetreut. Oskar STRIGL führte bis zu seiner Pensionierung im Juli 1990 mehrmals täglich die Ablesungen der Tensiometer und deren Wartung durch. Kollegen Mag. Bernhard KOHL danke ich die Hilfestellung im Gelände, umfangreiche Unterstützung bei der Auswertung und Erstellung diverser Graphiken, sowie gemeinsam mit Wolfgang BAUER die Entlastung von Routinearbeiten in der finalen Phase der Arbeit. Auch Ing. Peter ZWERGER stand im Fall meiner Verhinderung für den Meßdienst zur Verfügung. Mag. Roland LUZIAN unterzog sich der Mühe des Korrekturlesens.

Frau Mag. Anja KLEBELSBERG von der Tiroler Wasserkraftwerke AG (TIWAG), hat auf unbürokratische Art die Bereitstellung von Klimadaten der Station St. Sigmund im Sellrain ermöglicht. Informationsmaterial über die Aufforstung Haggen stellten auch die Gebietsbauleitung Mittleres Inntal des Forstechnischen Dienstes für Wildbach- und Lawinenverbauung, namentlich OR Dipl.Ing. Manfred PITTRACHER und ORev Ing. Hermann MUNDT, sowie die Gebietsbauleitung Oberes Inntal, Herr Ing. Matthias HUBER, zur Verfügung.

Mit einer Vielzahl von Anfragen zur Literaturrecherche sah sich das Team der Bibliothek der FBVA in Wien um Frau Gudrun SCHMIDBERGER konfrontiert.

Univ.Ass. Dipl.Ing. Dr. Helmut SCHUME, Institut für Waldökologie der Universität für Bodenkultur Wien, unterstützte mich in der ersten Phase der Anwendung des Modells BROOK90.

Dr. Helmut FEICHTER übernahm den Part des Lektors. Die umfangreichen Druckvorbereitungen (Überspielen in das Layout Programm, Einpassen der Abbildungen, Tabellen und Bilder, Erstellung der Korrekturfahne ...) erfolgten durch Frau KOHL.

Mein herzlicher Dank gilt den oben angeführten Personen und Institutionen. Ohne Ihre Mitwirkung und Unterstützung wäre die Verwirklichung der vorliegenden Arbeit nicht möglich gewesen.

7 Literaturverzeichnis

- ADAMS, W.A. (1973): *The effect of organic matter on the bulk and true densities of some uncultivated podsolc soils*. J. Soil. Sci. 24, 10-17.
- AGASSI, M. and G.J. LEVY (1991): *Stone-cover and rain intensity: Effects on Infiltration, Erosion and Water Splash*. Aust. J. Soil Res., 29, 565-575.
- ALBERT, W., A. BRAMM und P. GONSWSKI (1987): *Employment of tensiometers for irrigation control*. XIII. International Commission on Irrigation and Drainage, (ICID), Q.40, R.60, Casablanca (Marokko) 1987, 1061-1080.
- ALBERT, W. und P. GONSWSKI (1987): *Einsatz von Tensiometern zur Steuerung der Beregnung*. Wasser und Boden, Heft 12, 637-642.
- AMMER, C. (1996): *Konkurrenz um Licht - zur Entwicklung der Naturverjüngung im Bergmischwald*. Forstliche Forschungsberichte, Nr. 158.
- AULITZKY, H. (1961): *Die Bodentemperaturen in der Kampfzone oberhalb der Waldgrenze und im subalpinen Zirben-Lärchenwald*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Maria-brunn 59, 153-208.
- (1988): *Sommerhochwässer 1987 in Tirol - Naturkatastrophen oder fehlende Vorbeugung?* Österr. Wasserw. 40, H. 5/6, 122-128.
- (1996): *Präventivaufforstungen in den Alpen zugunsten bedrohter Ballungsräume*. Internationales Symposium Interpraevent 1996 - Garmisch Partenkirchen, Tagungspublikation, Bd. 1, 189 - 201.
- AULITZKY, H. und H. TURNER (1982): *Bioklimatische Grundlagen einer standortgemäßen Bewirtschaftung des subalpinen Lärchen-Arvenwaldes*. Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versw., Bd. 58, 325-580.
- BALAZS, A. und H.M. BRECHTEL (1974): *Wieviel Wasser kommt aus dem Wald?* AFZ, 1083-1090.
- BAUMGARTNER, A., E. REICHEL und G. WEBER (1983): *Der Wasserhaushalt der Alpen - Niederschlag, Verdunstung, Abfluß und Gletscherspende im Gesamtgebiet der Alpen im Jahresdurchschnitt für die Normalperiode 1931 - 1960*. R. Oldenburg Verlag, München - Wien.
- BAYERISCHE STAATSFORSTVERWALTUNG (Hsg. 1997): *Handbuch zur Sanierung von Schutzwäldern im bayerischen Alpenraum*. München.
- BEESE, F. und P.J. WIERENGA (1979): *Zur Bedeutung der q-y-Beziehung in bodenhydrologischen Modellen*. Mittlg. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., Bd. 29, 101-110.
- BENECKE, P., F. BEESE und R.R. van der PLOEG (1976): *Bodenhydrologische Methoden zur Untersuchung ungestörter, skelettreicher Böden*. Z. Pflanzenern. Bodenk., 139, Bd., Heft 3, 361-371.
- BENECKE, P. und R.R. VAN DER PLOEG (1978a): *Wald und Wasser, I: Komponenten des Wasserhaushaltes von Waldökosystemen*. Forstarchiv, 49, Jg., 1-7.
- (1978b): *Wald und Wasser, II: Quantifizierung des Wasserumsatzes am Beispiel eines Buchen- und Fichtenaltbestandes im Solling*. Forstarchiv, 50, Jg., 26-32.
- BENECKE, P. (1984): *Der Wasserumsatz eines Buchen- und eines Fichtenwaldökosystems im Hochsolling*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 77, 160 Seiten.
- (1975): *Physiologische Untersuchungen zur Eignung verschiedener Baumarten bei der Aufforstung in Hochlagen*. Forschungsbericht der Forstlichen Versuchsanstalt München Nr. 5.
- BENNETT, D.R. and T. ENTZ (1989): *Moisture-retention parameters for coarse-textured Soils in Southern Alberta*. Can. J. Soil Sci. 69, 263-272.
- BORER, F. (1978): *Überlegungen zum Einfluß der bodenphysikalischen Parameter k(s) und i auf die Berechnung der Tiefensickerung und auf die Wasserbilanz*. Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 26, 132-142.
- BRANDT, C.J. (1989): *The size distribution of throughfall drops under vegetation canopies*. Catena, Vol. 16, 507-524.
- BRECHTEL, H.M. (1965): *Methodische Beiträge zur Erfassung der Wechselwirkung zwischen Wald und Wasser*. Forstarchiv, 35. Jg., Nr. 11, 229-241.
- (1969): *Gravimetrische Messungen mit der Schneesonde „Vogelsberg“*. Die Wasserwirtschaft, 59. Jg., Heft 11, 323-327.
- (1970): *Wald und Retention - Einfache Methoden zur Bestimmung der lokalen Bedeutung des Waldes zur Hochwasserdämpfung*. Dt. Gewässerkundl. Mitt. 14 (4), 91-103.
- (1975): *Ermittlung der Gesamtverdunstung und der Absickerung zum Grundwasser anhand der Wasserbilanzmethode*. Manuskript Hessische Forstliche Versuchsanstalt Hann.-Münden, Institut für Forsthydrologie.
- (1981): *Bestimmung der Menge und Tiefe des Bodenwasser-Aufbrauches von Waldbeständen auf Lockersediment-Standorten mit abgesenktem Grundwasser*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 140, 127-148.
- (1982): *Quantifizierung des Niederschlagsinputs von bewaldeten Einzugsgebieten*. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e.V., 14. DVWK - Fortbildungslehrgang Hydrometrie in Andernach - Koblenz, 1-25.
- BRECHTEL, H.M. und M.B. PAVLOV (1977): *Arbeitspapier - Niederschlagsbilanz von Waldbeständen verschiedener Baumarten und Altersklassen in der Rhein-Main-Ebene; Vorläufige Schätztabelle zur Ermittlung des Nettoniederschlags und der Interzeptions-Verdunstung des Waldes, auf der Basis örtlich gemessener Monatssummenwerte des Freilandniederschlags*. Kuratorium für Wasser und Kulturbauwesen (KWK), Hessische Forstliche Versuchsanstalt, Institut für Forsthydrologie.
- BREITSAMETER, J. (1996): *Untersuchungen zum Feststoffaustrag aus unterschiedlich dicht bewaldeten Kleincinzugsgebieten im Fylsch und in den Kalkalpen der Tegernseer Berge*. Forstliche Forschungsberichte München, Bd. 154.
- BRÜHLHART, A. (1969): *Jahreszeitliche Veränderungen der Wasserbindung und der Wasserbewegung in Waldböden des Schweizer Mittellandes*. Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw., Bd. 45, Heft 2.

- BUNZA, G. (1984): *Oberflächenabfluß und Bodenabtrag in alpinen Graslandökosystemen*. Verhandlungen der Gesellschaft für Ökologie (Bern 1982), Bd. XII, 101-109.
- BUNZA, G., H.E. DEISENHOFER, J. KARL, M. PORZELT und J. RIEDL (1985): *Beiträge zu Oberflächenabfluß und Stoffabtrag bei künstlichen Starkniederschlägen. I.: Der künstliche Starkniederschlag der transportablen Beregnungsanlage nach Karl und Toldrian*. DVWK-Schriften, Bd. 71., 1-35.
- BUNZA, G. und T. SCHAUER (1989): *Der Einfluß der Vegetation, Geologie und Nutzung auf den Oberflächenabfluß bei künstlichen Starkregen in Wildbachgebieten der Bayerischen Alpen*. Manuskript - Bayerisches Landesamt f. Wasserwirtschaft München, 1-27.
- BUNZA, G., P. JÖRGING, R. LOHMANNSRÖBEN, T. SCHAUER und R. ZIEGLER (1996): *Abfluß- und Abtragsprozesse in Wildbacheinzugsgebieten - Grundlagen zum integralen Wildbachschutz*. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Wasserwirtschaft, Heft 27, 25-36.
- BURGER, H. (1922): *Physikalische Eigenschaften von Wald- und Freilandböden*. Mitt. Eidgen. Forschungsanst. Forstl. Versuchsw., 13 (1), 1-221.
- BURTT, A.H. (1899): *Über den Habitus der Coniferen*. Inaugural-Dissertation, Eberhard-Karls-Universität Tübingen.
- CARPENTER, C.D. (1972): *Note: Installation of Soil Moisture Access Tubes in Gravels and Cobbles*. Soil Science, Vol. 113, No. 6, 453-455.
- CARTELLIERI, E. (1935): *Jahresgang von osmotischem Wert, Transpiration und Assimilation einiger Ericaceen der alpinen Zwergstrauchheide und von Pinus cembra*. Jahrbuch f. wiss. Botanik, LXXXI, 460-506.
- ÇEPEL, N. (1967): *Interzeption (= Niederschlagsverdunstung im Kronenraum) in einem Buchen-, einem Eichen und einem Kieferbestand des Belgrader Waldes bei Istanbul*. Forstwissenschaftl. Zentralblatt, 300-315.
- CERMAK, J. (1995): *Transpiration of trees - variability, relation to structures, water balance and defence*. „Interazioni albero ambiente: metodi e strumenti di misura“ a cura di T. ANFODILLO & S. RENTO, Atti des XXXII Corso di Cultura in Ecologia, University degli Studi di padova. Dipartimento territorio e sistemi agroforestali, 83-107.
- CURTIS, R.O. and B.W. POST (1964): *Estimating bulk density from organic matter content in some Vermont forest soils*. Soil. Sci. Soc. Am. J., 28: 285-286.
- CZELI, A. (1964): *Die Maßnahmenkarte als Grundlage für Aufforstungsprojekte oberhalb des Wirtschaftswaldes*. Cbl. ges. Forstwesen, 81/3, 158-187.
- (1972). *Wasserhaushaltsmessungen in subalpinen Böden*. Mitt. Forst. Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 98, 109 Seiten.
- DAHIYA, I.S., J. RICHTER and R.S. MALIK (1984): *Soil spatial variability: A review*. Intern. J. Trop. Agri., Vol. II, No. 1, March 1984, 1-102.
- DELFS, J. (1955): *Die Niederschlagszurückhaltung in den Beständen (Interzeption)*. In: Der Einfluß des Waldes und des Kahlschlages auf den Abflußvorgang, den Wasserhaushalt und den Bodenabtrag. Aus dem Walde - Mitteilungen aus der Niedersächsischen Landesforstverwaltung, 76-107.
- DEUTSCHER WETTERDIENST (1955): *Aspirations-Psychrometer-Tafeln*. Dritte erweiterte Auflage, Verlag Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig.
- DROSTE zu HÖLSHOFF, B. (1969): *Struktur und Biomasse eines Fichtenbestandes aufgrund einer Dimensionsanalyse an oberirdischen Baumorganen*. Inauguraldissertation - Ludwig-Maximilians-Universität München.
- DRUNGIL, C.E.C., K. ABT and T.J. GISH (1989): *Soil Moisture Determination in Gravelly Soils with Time Domain Reflectometry*. Transactions of the ASAE, Vol. 32, No. 1, 177-180.
- DVWK (1986): *Merkblätter zur Wasserwirtschaft: Ermittlung des Interzeptionsverlustes in Waldbeständen bei Regen*, 211/1986. Verlag Paul Parey, Hamburg - Berlin, 1-11.
- EHLERS, W. (1978): *Wassergehalts- und Wasserspannungsmessungen im Felde zur Bilanzierung des Bodenwasserhaushaltes*. Mitt. Dtsch. Bodenkundl. Gesellsch., 26, 115-132.
- VAN ELEWICK, L. (1989): *Influence of Leaf and Branch Slope on Stemflow Amount*. Catena, Vol. 16, 525-533.
- ELLENBERG, H., R. MAYER und J. SCHAUERMANN (1986): *Umsatz und Verfügbarkeit des Wassers im Buchen- und Fichtenbestand*. In: Ökosystemforschung - Ergebnisse des Solling-Projektes (1966 - 1986), Ulmer Verlag, 356-374.
- ELLING, W., H. HÄCKEL und G. OHMAYER (1990): *Schätzung der aktuell nutzbaren Wasserspeicherung (ANWS) des Wurzelraumes von Waldbeständen mit Hilfe eines Simulationsmodells*. Forstw. Cbl. 109, 210-219.
- ENGELITS, G., I. DIRMHIRN und E. MURSCH-RADLGRUBER (1984): *Precipitation Throughfall and Interception in the Forest Canopy*. International Symposium in Memoriam of Dr. Franz Sauber, 23. - 25. October 1984, University of agriculture, Vienna.
- ENGLER, A. (1919): *Untersuchungen über den Einfluß des Waldes auf den Stand der Gewässer*. Mitteilg. der schweiz. Zentralanst. f. d. forstl. Versuchsw., Bd. 12.
- ERTELT, W. (1979): *Über die Beziehungen zwischen Schaftdurchmesser und Kronenschirmfläche in Kieferbeständen*. Forstw. Cbl. 98, 270-277.
- FAEII, A. (1997): *Understanding the Processes of Discharge Formation under Extreme Precipitation - A study based on the numerical simulation of hillslope experiments*. VAW-Mitteilungen, ETH-Zürich, Heft 150, 197 Seiten.
- FAO-UNESCO (1988): *Guidelines for Distinguishing Soil Subunits in the FAO/UNESCO/ISRIC Revised Legend*. World Soil Resources Report 60, 3. Draft, Rom.
- FARDJAH, M. et G. LEMEE (1980): *Dynamique comparée de l'eau sous hêtre et dans des coupes nues ou à Calamagrostis epigeios en forêt de Fontainebleau*. Bull. Ecol., t.11, 1, 11-31.
- FEDERER, C.A. (1982): *Subjectivity in the separation of organic horizons of the forest floor*. Soil Sci. Soc. Am. J., 46: 1090-1093.
- FEDERER, C.A. (1995): *BROOK 90: A simulation model for evaporation, soil water and stream flow, Version 3.2. Computer freeware and documentation*. USDA Forest Service, PO Box 640, Durham NH, 03824.
- FINK, J. (1967): *Nomenklatur und Systematik der Bodentypen Österreichs*. Österr. Bodenkundl. Gesellsch., Heft 13, 95 S.

- FLIRI, F. (1975): *Das Klima der Alpen im Raume von Tirol. Monographien zur Landeskunde Tirols.* Universitätsverlag Wagner, Innsbruck – München.
- (1992): *Der Schnee in Nord- und Osttirol 1895–1991, ein Graphik-Atlas.* Bd. 1, Universitätsverlag Wagner Innsbruck.
- FLOHLER, H., P. GERMANN, F. RICHARD und J. LEUENBERGER (1976): *Bestimmung von hydraulischen Parametern für die Wasserhaushaltsuntersuchungen im natürlich gelagerten Boden. Ein Vergleich von Feld- und Laboratoriumsmethoden.* Z. Pflanzenernähr. BodenK_D, Heft 3, 329–342.
- FOLLAND, C.K. (1985): *A simple numerical model of the loss of rainfall due to wind from a conically-shaped collector and a suggested new collector type.* In B. SEVRUK (ed.): *Correction of Precipitation Measurements, Zürcher Geographische Schriften, No. 23, 233–238.*
- FÖHRER, H.W. (1990): *Einflüsse des Waldes und waldbaulicher Maßnahmen auf Höhe, zeitliche Verteilung und Qualität des Abflusses aus kleinen Einzugsgebieten – Projektstudie im Krosdorfer Buchenforst.* Forstliche Forschungsberichte München, 106.
- FURRER, E. (1955): *Probleme um den Rückgang der Arve (Pinus cembra) in den Schweizer Alpen.* Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchsw., Bd. XXXI, p. 669.
- GAMS, H. (1937): *Aus der Geschichte der Alpenwälder.* Z. d. D. u. Österr. A.V., Bd. 68, 157–170.
- GARTNER, K. (1998): *Die Bodenfeuchtemessungen in Achenkirch in den Jahren 1992–1996.* Unveröffentlichter Bericht der Forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien.
- GASSNER, M. (1925): *Beiträge zur Siedlungs- und Wirtschaftsgeschichte des inneren Sellraintales.* Veröffentlichungen des Museum Ferdinandeum in Innsbruck, Heft 4, 79 Seiten.
- GASH, J.H.C., I.R. WRIGHT and C.R. LLOYD (1980): *Comparative estimates of interception loss from three coniferous forests in Great Britain.* Journal of Hydrology, 48 (1980), 89–105.
- GATTERMAYR, W. (1976): *Vergleichende Messungen und Berechnungen der Verdunstung, der Evapotranspiration und der Interzeption zur Abschätzung des Wasserhaushaltes der Karsthochfläche Dachstein-Oberfeld und Erstellung der Wasserbilanz für den inneralpinen Piburgersee.* Dissertation, Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck.
- (1998 – mündliche Mitteilung): *Lokale Variabilität im Niederschlagsabsatz bei konvektiven Niederschlägen.* Abteilung Hydrographie der Landesbaudirektion, Amt der Tiroler Landesregierung.
- GEIGER, R. (1961): *Das Klima der bodennahen Luftschicht.* Friedrich Vieweg & Sohn, Braunschweig.
- GERMANN, P. (1976): *Wasserhaushalt und Elektrolytverlagerung in einem Wald und einem mit Wiese bestockten Boden in ebener Lage.* Mitt. Eidg. Anst. Forstl. Versuchsw., Bd. 52, Heft 3, Birmensdorf.
- (1994): *Do forests control run-off? Hydrologie kleiner Einzugsgebiete – Gedenkschrift Hans M. Keller.* Beiträge zur Hydrologie der Schweiz Nr. 35, 105–109.
- GÖBL, F. (1972): *Mykorrhizaversuche für das Aufforstungsgebiet im Sellrain.* Allgemeine Forstzeitung, Wien, 81. Jg, Folge 12, 324–326.
- GONSOWSKI, P. (1987): *Der Einfluß der Bodenluftkompression auf die vertikale Infiltration von Wasser in Sanden.* Dissertation Technische Hochschule Darmstadt – Fachbereich 13 – Wasser und Verkehr.
- GOODELL, B.C. (1953): *Watershed management aspects of thinned young lodgepole pine stands.* J. For., 50. Jg., 374–378.
- GREMINGER, P. (1982): *Physikalisch – ökologische Standortserkundung über den Wasserhaushalt im offenen Sickersystem Boden unter Vegetation am Hang.* Diss. ETH-Zürich, Nr. 7023.
- GRIMMEISEN, W. (1997): *Bodenfeuchtemonitoring – ein kontinuierlicher Prozeß von Messen, Kalibrieren, Kontrollieren, Visualisieren und Archivieren.* in: *Methoden zur Bodenfeuchte-Erfassung,* Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 166, 6–15.
- GSCHNITZER, A. und H. ELLER (1994): *Entwicklung eines feldtauglichen kapazitiven Meßgerätes zur Bestimmung der Bodenfeuchte.* Diplomarbeit am Institut für Experimentalphysik der Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.
- GRUNOW, J. (1955): *Der Niederschlag im Bergwald, Niederschlagszurückhaltung und Nebelzuslag.* Forstwiss. Centralbl. 74, 21–36
- (1957): *Die Erfassung des winterlichen Niederschlages im Gebirge.* La Meteorologie IV, No. 45 – 46, 117–126.
- (1960): *Ergebnisse mehrjähriger Messungen von Niederschlägen am Hang und im Gebirge.* Extrait de la publication no. 53 de l' A.I.H.S., Commission d'Erosion Continentale, 300–316.
- (1964): *Weltweite Messungen des Nebelniederschlags nach der Hohenpeißberger Methode.* Internationale Hydrologische Konferenz, Publ. UGGI, AIHS No. 65, 324–342.
- GUGGENBERGER, H. (1980): *Untersuchungen zum Wasserhaushalt der alpinen Zwergstrauchheide Patscherkofel.* Dissertation, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.
- GUNSCH, J. (1972): *Vergleichende ökologische Untersuchungen von Kleinstandorten im Bereich der subalpinen Zirben-Waldgrenze.* Dissertation Universität Innsbruck.
- GUNZELMANN, M. und R. HORN (1987): *Wasserhaushaltsuntersuchungen an natürlich gelagerten Bodenaggregaten.* Mitteilgn. Dtsch. Bodenkundl. Gesellschaft., 53, 395 – 401.
- GUTMANN, J. (1948): *Beobachtungs- und Meßmethoden des Wetterdienstes (Anleitung zur Ausführung und Verwertung meteorologischer Beobachtungen).* Zentralanstalt f. Meteorologie und Geodynamik - Wien, Publikation Nr. 158: 87–88.
- HADLEY, J.L. and W.K. SMITH (1986): *Wind effects on needles of timberline conifers: Seasonal influence on mortality.* Ecology 67, 12–19.
- HÄDRICH, F. und J. HEUVELDOP (1978): *Untersuchungen zur Bodenverdunstung in einem Waldbestand.* Allg. Forst- u. J. Zeitg., 149. Jg., Heft 1, 1–18.
- HAGER, H. (1988): *Stammzahlreduktion – Die Auswirkungen auf Wasser-, Energie- und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen.* Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, 189 Seiten.
- (1990 - mündliche Mitteilung): *Vermeidung von Schäden an Tensiometern durch Frosteinwirkung.* Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur, 1190 Wien.

- HAGER, H. (1998 - schriftliche Mitteilung): *Lokale Variabilität im Niederschlagsabsatz bei konvektiven Niederschlägen*. Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur, 1190 Wien.
- (1999 - schriftliche Mitteilung): *Anmerkungen zur Genese von Podsolen*. Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur, 1190 Wien.
- HAGER, H. und H. STERBA (1985): *Specific leaf area and needle weight of Norway Spruce (Picea abies) in stands of different densities*. Can. J. For. Res. 15, 389-392.
- HAGER, H. und H. HOLZMANN (1997): *Hydrologische Funktionen ausgewählter naturnaher Waldökosysteme in einem alpinen Flußeinzugsgebiet*. Projektendbericht an die Österr. Akademie der Wissenschaften, Beitrag zum International Hydrological Programme (IHP), 197 Seiten.
- HANCOCK, N.H. und J.M. CROWTHER (1979): *A technique for the direct measurement of water storage on a forest canopy*. Journal of Hydrology, 41, 105-122.
- HANKS, R.J., and G.L. ASHCROFT (1980): *Applied Soil Physics – Soil Water and Temperature Applications*. Springer Verlag Berlin, Heidelberg, New York.
- HARTGE, K.H. (1978): *Einführung in die Bodenphysik*. Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart, 364 Seiten.
- HARTGE, K.H. und R. HORN (1991): *Einführung in die Bodenphysik*. 2. Aufl., Enke, Stuttgart.
- HARTMANN, H. (1992): *Terrestrisch – Ökologische Wiederholungsuntersuchung in einer Hochlagenaufforstung zur Wiederbesiedlung durch Insekten nach 15 Jahren bei Haggen im Selltraintal (Tirol)*. Diplomarbeit aus Zoologie, Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck.
- HASENAUER, H. and R.A. MONSERUD (1996): *A crown ratio model for Austrian forests*. Forest Ecology and Management 84, 49-60.
- HAVRANEK, W.M. (1998 – mündliche Mitteilung): *Bestimmung der Nadelfläche von Zirben über die Splintholzfläche*. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Institut für Luftchemie und Immissionsforschung, Innsbruck.
- HAVRANEK, W.M. und U. BENECKE (1978): *The influence of soil moisture on water potential, transpiration and photosynthesis of conifer seedlings*. Plant and Soil, 49. Jg., 91-103.
- HELVEY, J.D. and J.H. PATRIC (1965): *Canopy and litter interception of rainfall by hardwood of eastern United States*. Water Resources Research, Vol.11, 193-206.
- HENSLER, W. (1970): *Bisherige Erfahrungen bei der Hochlagenaufforstung am Beispiel Haggen*. Allgem. Forstzeitg., 81. Jg., Folge 12, 328-330.
- (1972): *Erfahrungen bei der Hochlagenaufforstung Haggen*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, 96. Heft, 209-219.
- HEUMADER, J. (1993): *Gedanken über die Schutzwirkung des Gebirgswaldes*. Der Alm- und Bergbauer, 43. Jg., Folge 2, 76-86.
- HEUVELDOP, J. (1973): *Die Größe der Interzeptionsverdunstung in Fichtenkronen abhängig von einzelnen klimatischen Faktoren*. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 144. Jg., Heft 2, 35-41.
- HILLEL, D. (1971): *Soil and water: Physical principles and processes*. Academic press, New York.
- HOFFMANN, H.D. (1982): *Die Interzeption einer Fichtenstreu-decke im Freiland und im Bestand*. Beiträge zur Hydrologie, Sonderheft 4, Kirchzarten 1982, 103-116.
- HOPPE (1896): *Regenmessungen unter Baumkronen*. Mitteilungen aus dem Forstlichen Versuchswesen Österreichs, 21. Heft, 75 Seiten.
- HOLZER, R. (1982): *Wasserhaushaltsuntersuchungen der Streu- und obersten Bodenschicht eines Fichtenbestandes unter Verwendung von Modellrechnungen*. Beiträge zur Hydrologie, Sonderheft 4, Kirchzarten, 117-144.
- HUG, M. (1991): *Vergleichende Untersuchungen an Fluginsekten mit Malaise-Fallen in drei verschiedenen Höhenlagen (Thaur - Rinn - Haggen) in Nordtirol*. Diplomarbeit aus Zoologie, Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck.
- HUTCHINGS, N.J., R. MILNE and J.M. CROWTHER (1988): *Canopy storage capacity and its vertical distribution in a sitka spruce canopy*. Journal of Hydrology, 104, 161-171.
- HYDROGRAPHISCHER DIENST (1994 – Hsg.): *Die Häufigkeiten der Niederschläge, Schneehöhen, Lufttemperaturen und Trockenperioden in Österreich im Zeitraum 1981 – 1990*. Hydrographischer Dienst in Österreich, Beiträge zur Hydrographie Österreichs, Heft Nr. 53.
- IMBECK, H. und E. OTT (1987): *Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneeablagerung und der Lawinenbildung*. Mitt. Eidg. Inst. Schnee- und Lawinenforschung Davos, April 1987, Nr. 42.
- IN DER GAND, H. (1978): *Verteilung und Struktur der Schneedecke unter Waldbäumen und im Hochwald*. International Seminar „Mountain Forests and Avalanches“, September 25-28, Davos, Switzerland, 97-119.
- JAEGER, L. (1984): *Zehn Jahre Niederschlagsmessungen über einem Kiefernbestand im angehenden Stangenholzalder*. Wetter und Leben, Jg. 36, 149-158.
- JURY, W.A., W.R. GARDNER and W.H. GARDNER (1991): *Soil Physics*. Fifth edition, John Wiley & Sons, New York.
- KAMMERLANDER, H. (1985): *Waldbauliche Analyse des Oberhauser Zirbenschutzwaldes*. Dissertation, Universität für Bodenkultur, Wien, Bd. 25, VWGÖ.
- KÄNDLER, G. (1986): *Die Ermittlung von Bestandesparametern als Eingangsgrößen für Interzeptionsmodelle mit Hilfe aerophotogrammetrischer Verfahren*. Mitteilg. Forstl. Versuchs- u. Forschungsanst. Baden-Württemberg, Freiburg i. Breisgau, Heft 127.
- KÄPPEL, T. und R. SCHULIN (1989). *Lysimeteruntersuchungen zur Wasserbilanz von Pappel, Weißerle, Fichte und Gras auf einem sandigen Boden über Schotter*. Schweiz. Z. Forstwes., 138, 2, 129-143.
- KARL, J. und H. TOLDRIAN (1973): *Eine transportable Beregnungsanlage für die Messung von Oberflächenabfluß und Bodenabtrag*. Wasser und Boden, 25. Jg., Heft 3; 63-65.
- KATZENSTEINER, K. (1987): *Deposition und Umsatz atmosphärischer Spurenstoffe in einem Fichtenwaldökosystem im nord-westlichen Mühlviertel*. Diplomarbeit Universität für Bodenkultur, Wien.

- KAZDA, M. (1986): *Untersuchung von Schwermetalldepositions-vorgängen aus Analysen fraktionell gesammelter Stammab-flußproben und Jahresgang der Schwermetalldeposition in einem Buchenwaldökosystem des stadtnahen Wienerwaldes*. Dissertationen der Universität für Bodenkultur in Wien, Bd. 27.
- KELLER, H.M. (1968): *Zur Frage des Einflusses von Wald auf das Niedrigwasser*. Schweizer Zeitschrift f. das Forstwesen, 119. Jg., Heft 10, 750–751.
- KELLIHER, F.M., D. WHITEHEAD and D.S. POLLOCK (1992): *Rainfall interception by trees and slash in a young Pinus radiata D. Don stand*. Journal of Hydrology, 131, 187–204.
- KENNEL, M. (1998): *Modellierung des Wasser- und Stoffhaus-haltes von Waldökosystemen*. Forstliche Forschungsbe-richte München, Nr. 168.
- KIRNBAUER, R. (1993 - mündliche Mitteilung): *Mögliche Verdunstungsverluste bei Starkregensimulationen*. Institut für Hydraulik, Gewässerkunde und Wasserwirtschaft der TU Wien, Karlsplatz 13, A-1040 Wien.
- KLAGHOFER, E. (1994 - mündliche Mitteilung): *Bestimmung des Druckpotentials im Bodenwasser*. Arbeitsgruppe Boden-physik der Land- und Forstwirtschaftlichen Versuchs-anstalten Österreichs. Institut für Kulturtechnik, Polln-bergstr. 1, A-3252 Petzenkirchen.
- KÖRNER, C., J.A. SCHEEL and H. BAUER (1979): *Maximum leaf diffusive conductance in vascular plants*. Photosynthetica 13, 45–82.
- KOFALK, S. und R. PLAGGE (1997): *Kalibrierung von TDR-Messungen zur Erfassung der Bodenfeuchte unter Feldbedin-gungen*. Methoden zur Bodenfeuchte-Erfassung, Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 166, 104–112.
- KRAMER, H. und C. KÄTSCH (1994): *Individuelles Wachstum von Waldbäumen in Abhängigkeit von natürlichen und anthro-pogenen Einflüssen*. Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächsischen Forstlichen Versuchsanstalt, Band 117.
- KRONFUSS, H. (1970): *Das Kleinklima an einem entwaldeten Südhang im Sellraintal*. Allgemeine Forstzeitung, Wien, 81. Jg., Folge 12, 324–326.
- (1972): *Kleinklimatische Vergleichsmessungen an zwei subalpinen Standorten*. Mitt. Forstl. Bundesversuchs-anstalt Wien, 96. Heft, 159–176.
- (1980): *Das Bestandesklima einer Hochlagenaufforstung auf einem Sonnhang*. Mitteilungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt, Wien, 129. Heft, 81–103.
- (1985): *Die Zuwachsleistung einer Hochlagenaufforstung mit Zirbe (Pinus cembra L.) auf einem Südhang in Abhän-gigkeit von der Seehöhe*. IUFRO Meeting and Study Tour – Mountain Forests, Snow and Avalanches. September 16–21, Switzerland, Italy, Austria, 47–71.
- (1987): *Nadelflächenanalysen an Zirben aus der Hochla-genaufforstung Haggen im Sellrain*. Forstliche Bundesver-suchsanstalt, Institut für Lawinen- und Wildbachfor-schung, Innsbruck, unveröffentlicht.
- (1995): *Der Einfluß der Lufttemperatur auf das Höhenwachstum der Zirbe*. Cbl. Ges. Forstw., 111. Jg., Heft 3, 165–181.
- KRONFUSS, H. (1997): *Das Klima einer Hochlagenaufforstung in der subalpinen Höhenstufe, Haggen im Sellraintal bei St. Sigmund, Tirol*. FBVA-Bericht, Nr. 100.
- (1998a): *Zuwachsleistung einer Hochlagenaufforstung mit Zirbe – Neue Ergebnisse*. Forstliche Bundesversuchs-anstalt, Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Inns-bruck, unveröffentlicht.
- (1998b): *Strahlungsbilanz von Baumkronen der Zirbe und der Lärche*. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Institut für Lawinen- und Wildbachforschung, Innsbruck, unveröf-fentlicht.
- (1999 - mündliche Mitteilung): *Mögliche Verdunstungs-verluste bei Starkregensimulationen, Angaben zur Entwick-lung der Hochlagenaufforstung in Haggen*. Forstliche Bundesversuchsanstalt, Institut für Lawinen- und Wildb-achforschung, Innsbruck.
- (1999): *Ergebnisse der 1995 durchgeführten Durchfor-stungen auf Versuchsflächen in der Hochlagenaufforstung Haggen*. Unveröffentlichtes Konzept, Forstliche Bundes-versuchsanstalt, Institut für Lawinen- und Wildbachfor-schung, Innsbruck.
- KRONFUSS, H. und R. STERN (1978): *Strahlung und Vegetation. Angewandte Pflanzensoziologie – Veröffentlichungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Österr. Agrar-verlag, Heft 23*.
- KRONFUSS, H. and W.M. HAVRANEK (1999): *Effects of Elevation and Wind on the Growth of Pinus cembra L. in a Subalpine Afforestation*. Phytion (Austria) Special Issue: „Eurosilva“, Vol. 39, Fasc. 4, 99–106.
- KUBIENA, W. (1950): *Bestimmungsbuch und Systematik der Böden Europas*. Ferdinand Enke Verlag Stuttgart.
- KUNTZE, H., J. NIEMANN, G. ROESCHMANN und G. SCHWERDT-FEGER (1983): *Bodenkunde*, 3. Auflage, Ulmer, Stuttgart.
- (1994): *Bodenkunde*, 5. Auflage, Ulmer, Stuttgart.
- LABORATOIRE DES ECOSYSTEMES ALPINS (1995): *Bibliographie de Documents pour la Carte de la Vegetation des Alpes (Volumes I à X) et Documents de la Cartographie Ecologique (Volumes XI à XXXI)*, Université de Grenoble, 1–83.
- LANG, E. (1995): *Starkregensimulation - ein Beitrag zur Erfor-schung von Hochwasserereignissen*. FBVA - Bericht Nr. 90, 70 Seiten.
- LARCHER, W. (1957): *Frostrocknis an der alpinen Waldgrenze und in der alpinen Zwergstrauchheide*. Veröff. Museum Ferdinandeam Innsbruck, 37, 49–81.
- (1994): *Ökophysiologie der Pflanzen*, 5. Auflage, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- LASCANO, R.J., and VAN BAVEL, C.H.M. (1984): *Root water uptake and soil water distribution: Test on an availability concept*. Soil. Sci. Soc. Am. J., 48; 233–237.
- LEYTON, L., E.R.C. REYNOLDS and F.B. THOMPSON (1967): *Rain-fall interception in forest and moorland*. In: SOPPER, W.E. and H.W. LULL (Hsg.): *Int. Symp. On For. Hydr.* Penn. State Univ., Aug. 29 – Sept. 10 1965, Pergamon Press, N.Y., 163–178.

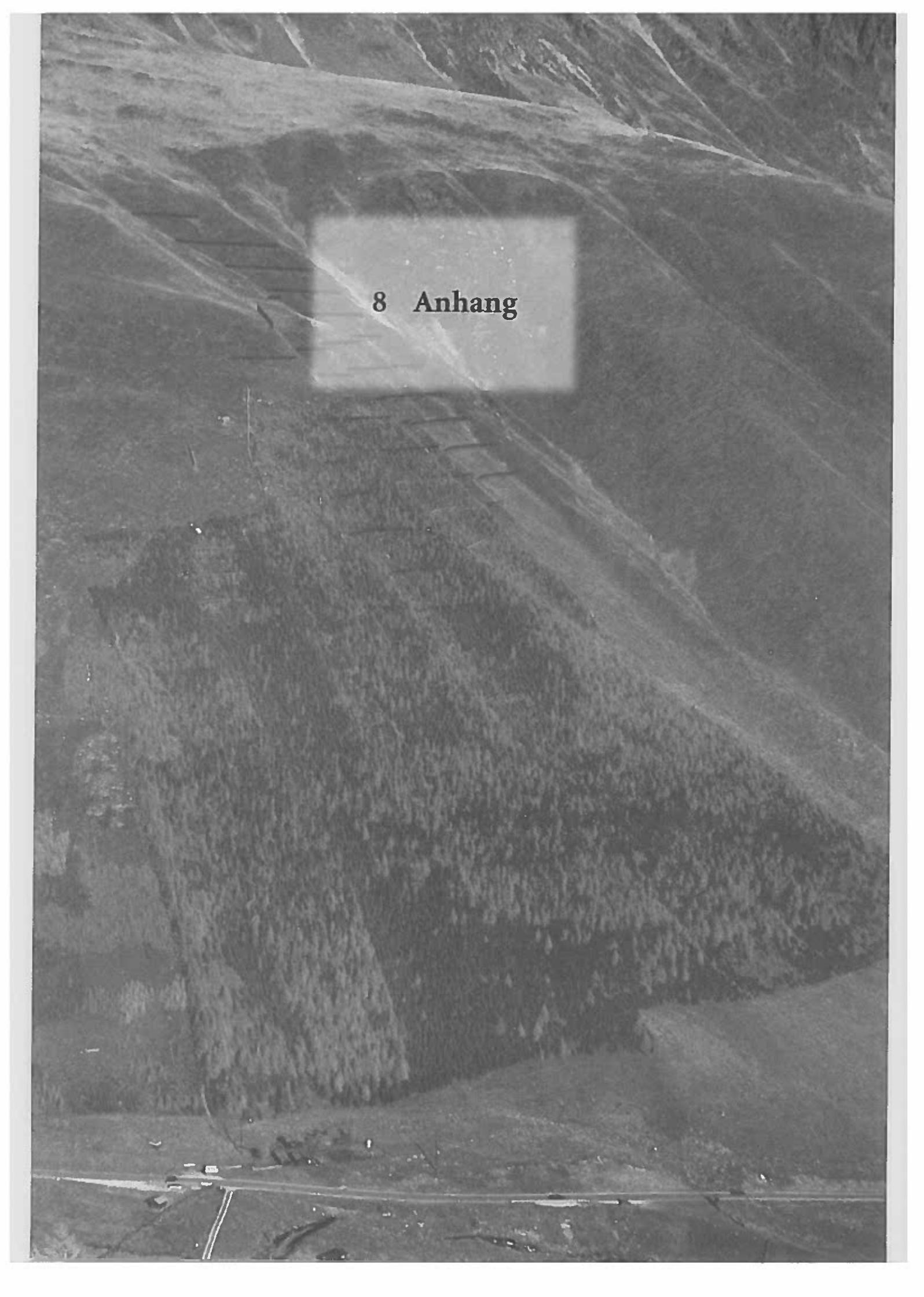
- LIEBSCHEER, H.J. (1975): *20 Jahre Wasserhaushaltsuntersuchungen im Oberharz – Beitrag zur Internationalen Hydrologischen Dekade der UNESCO. Besondere Mitteilungen zum Deutschen Gewässerkundlichen Jahrbuch, Nr. 39, Bundesanstalt für Gewässerkunde – Koblenz.*
- LOPUSHINSKY, W. and G.O. KLOCK (1974): *Transpiration of Conifer Seedlings in Relation to Soil Water Potential.* Forest Science, Vol. 20, No. 2, 181–186.
- LOUSTAU, D., P. BERBIGIER, A. GRANIER and F. EL HADJ MOUSSA (1992): *Interception loss, throughfall and stemflow in a maritime pine stand. I. Variability of throughfall and stemflow beneath the pine canopy.* Journal of Hydrology, 138, 449–467.
- LUEF, S. (1997): *Interzeption der Streuschicht von Fichte und Buche.* Diplomarbeit, Universität für Bodenkultur, Wien.
- LYR, H., H.J. FIEDLER und W. TRANQUILLINI (Hsg. 1992): *Physiologie und Ökologie der Gehölze.* Gustav Fischer Verlag, Jena - Stuttgart.
- MARKART, G. und B. KOHL (1995): *Starkregensimulation und bodenphysikalische Kennwerte als Grundlage der Abschätzung von Abfluß- und Infiltrationseigenschaften alpiner Boden-/Vegetationseinheiten. Ergebnisse der Beregnungsversuche im Mustereinzugsgebiet Löhnersbach bei Saalbach in Salzburg.* FBVA-Bericht Nr. 89, 38 Seiten.
- MARKART, G., B. KOHL und P. ZANETTI (1996a): *Einfluß von Bewirtschaftung, Vegetation und Boden auf das Abflußverhalten von Wildbacheinzugsgebieten - Ergebnisse von Abflußmessungen in ausgewählten Teileinzugsgebieten des Finsingtales (Zillertal/Tirol).* Beitrag Symposium Interpretation. Garmisch-Partenkirchen, Juni 1996, Tagungsband 1, 135-144.
- MARKART, G., B. KOHL, K. KOHL und P. ZANETTI (1996b): *Integralmelioration „Vorderes Zillertal“ – Einfluß von Boden, Vegetation und rezenter Bewirtschaftung auf den Abfluß bei Starkregen.* Unveröffentlichter Bericht Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien.
- MARKART, G., P. ZANETTI und B. KOHL (1996c): *Die Abflußdisposition alpwirtschaftlich genutzter Bereiche im oberen Einzugsgebiet der Schesa - Ergebnisse der Beregnungsversuche, der Bodenfeuchtemessungen, der bodenphysikalischen Analysen und der Untersuchungen der Bestandesbiomasse auf Weideflächen im Rahmen des Pilotprojektes Schesastudie.* Unveröffentlichter Bericht, Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien.
- MARKART, G., B. KOHL und P. ZANETTI (1997): *Oberflächenabfluß bei Starkregen - Abflußbildung auf Wald-, Weide- und Feuchtsflächen (am Beispiel des oberen Einzugsgebietes der Schesa - Bürserberg, Vorarlberg).* Cbl. ges. Forstwesen, 114. Jg., Heft 2/3, 123-144.
- MAYER, H. (1976): *Gebirgswaldbau – Schutzwaldpflege.* Fischer Verlag, Stuttgart, New York.
- MILLBACHER, E. (1992): *Der Einfluß einer Vergrasung auf den Wasserhaushalt von Fichtenkulturen.* Forstliche Schriftenreihe Universität für Bodenkultur, Wien, 142 Seiten.
- MITSCHERLICH, G. (1971): *Wald, Wachstum und Umwelt.* Bd. 2: *Waldklima und Wasserhaushalt.* J.D. Sauerländer, Frankfurt a. M.
- MITSCHERLICH, G. (1981): *Wald, Wachstum und Umwelt.* J.D. Sauerländer's Verlag, Frankfurt a. M.
- MITSCHERLICH, G. und W. MOLL (1970): *Untersuchungen über die Niederschlags- und Bodenfeuchtigkeitsverhältnisse in einigen Nadel- und Laubholzbeständen in der Nähe von Freiburg i. Br., Teil I: Niederschlagsverhältnisse.* Allg. Forst- und Jagdzeitg., 141 49–60.
- MOESCHKE, H. (1998): *Abflußgeschehen im Bergwald – Untersuchungen in drei bewaldeten Kleineinzugsgebieten im Flysch der Tegernseer Berge.* Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 169.
- MOLCHIANOV (1960): *The hydrological role of forests.* Isrl. Prgr. Of Sci. Translation, Jerusalem, 1963.
- MOSANDL, R. (1991): *Die Steuerung von Waldökosystemen mit waldbaulichen Mitteln - dargestellt am Beispiel des Bergmischwaldes.* Mitt. Staatsforstverwaltung Bayerns, 46. Heft, 35 - 46.
- MOSS, A.J. (1989): *Impact Droplets and the Protection of Soils by Plant Covers.* Aust. J. Soil. Res., 27, 1–16.
- MÖLLER, von, A. (1956): *Über die Bodenwasser-Bewegung unter einigen Grünland-Gesellschaften des mittleren Wesertales und seiner Randgebiete.* Angewandte Pflanzensoziologie (Hsg. R. TÜXEN), Bd. 12.
- MULL, R. und P. BENECKE (1987 – Hsg.): *Anthropogene Einflüsse auf den Bodenwasserhaushalt. Ergebnisse aus dem Schwerpunktprogramm „Anthropogene Einflüsse auf hydrologische Prozesse“.* DFG - Deutsche Forschungsgemeinschaft – Forschungsbericht, VCH Verlagsgesellschaft, D-6940 Weinheim.
- MUNDT, H. (1999 – mündliche Mitteilung): *Aufwendungen für Durchforstungen in der Hochlagenaufforstung Haggen.* Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung, Gebietsbauleitung mittleres Inntal, Innsbruck.
- NÄGELI, W. (1971): *Der Wind als Standortfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe.* Mitt. Schweiz. Anst. Forstl. Versuchsw., Bd. 47, Heft 2.
- NEUWINGER, I. (1970 a): *Einfluß von Entwaldung und Wind auf die Bodenbildung am Paider- und Haggener Sonnberg.* Allgem. Forstzeitg., 81. Jg., Folge 12, 326–328.
- (1970 b): *Böden der subalpinen und alpinen Stufe in den Tiroler Alpen.* Mittl. Ostalp.-din. Ges. f. Vegetkde., Bd. 11, Obergurgl – Innsbruck, Juli 1970, 135–150.
- (1972): *Standortsuntersuchungen am Sonnberg im Sellrainer Obertal, Tirol.* Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 129, 133–144.
- (1980): *Erwärmung, Wasserrückhalt und Erosionsbereitschaft subalpiner Böden.* Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien 129, 113–144.
- NEUWINGER, I. und A. CZELL (1959): *Standortsuntersuchungen in subalpinen Aufforstungsgebieten.* Forstwiss. Centralbl., 78. Jg., Heft 11/12, 327 – 372.
- NEUWINGER - RASCHENDORFER, I. und A. CZELL (1965): *Böden in den Tiroler Zentralalpen.* Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Ökologische Untersuchungen in der Subalpinen Stufe, Teil 1, 2. Auflage: 371-411.
- NEUWINGER, I. und J. GUNSCH (1980): *Über Jahresrhythmik im Nährstoffspiegel subalpiner Pflanzen und ihre Bedeutung beim Versetzen und Düngen von Jungzirben.* Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 129, 145–170.

- NEUWINGER, I., G. WIESER, W. WINKLEHNER und G. HEISS (1988): *Bodenwasseruntersuchungen in einer Hochlagenaufforstung bei Haggen im Sellrain, Tirol*. Österreichische Wasserwirtschaft, 40. Jg., Heft 3-4, 57-61.
- NIEDERHOF, C.H. and H.G. WILM (1943): *Effect of cutting mature lodgepole pine stands on rainfall interception*. Journal of Forestry, 41. Jg., 57-61.
- ÖBERHAUSER, R. (1980): *Der Geologische Aufbau Österreichs*. (Hsg.: Geologische Bundesanstalt), Springer Verlag Wien, New York.
- ÖBG (1999): *Systematik der Böden Österreichs*. Österreichische Bodenkundliche Gesellschaft, in Vorbereitung.
- Ö-NORM L1061 (1988): *Bestimmung der Korngrößenverteilung des mineralischen Feinbodens*. Österreichisches Normungsinstitut, Heinestr. 38, A-1021 Wien.
- Ö-NORM L1063 (1988): *Bestimmung der Druckpotential - Wasseranteilsbeziehung von ungestörten Bodenproben*. Österreichisches Normungsinstitut, Heinestr. 38, A-1021 Wien.
- Ö-NORM L1068 (1988): *Bestimmung der Dichte von Böden*. Österreichisches Normungsinstitut, Heinestr. 38, A-1021 Wien.
- Ö-NORM L1069 (1988): *Bestimmung der Feldkapazität von Böden*. Österreichisches Normungsinstitut, Heinestr. 38, A-1021 Wien.
- OSWALD, H. (1963): *Verteilung und Zuwachs der Zirbe an einem zentralalpiner Standort*. Ökologische Untersuchungen in der Subalpinen Stufe. II. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Heft 60, 437-500.
- (1998): *Evolution des peuplements forestiers dans l'étage subalpin: Les forêts à base de Pin cembro (Pinus cembra L.)*. Ecologie, 29 (1-2) 1998: 239-246.
- PEARCE, O'LOUGHLIN, JACKSON, ZANG (1987): *Reforestation: On-site effects on hydrology and erosion, eastern Raukumara Range, New Zealand*. Forest Hydrology and Watershed Management. Proceedings of the Vancouver Symposium, IAHS-Publication no. 167, 489-497.
- PECK, A. und H. MAYER (1996): *Einfluß von Bestandesparametern auf die Verdunstung von Wäldern*. Forstw. Centralbl. 115, 1-9.
- PESCHKE, G., M. ROTHE, J. SCHOLZ, C. SEIDLER, M. VOGEL und W. ZENTSCH (1995): *Experimentelle Untersuchungen zum Wasserhaushalt von Fichten [Picea abies (L.) Karst]*. Forstw. Cbl. 114, 326-339.
- PERTERER, J. und Ch. KÖRNER (1990): *Das Problem der Bezugsgröße bei physiologisch-ökologischen Untersuchungen an Koniferenadeln*. Forstw. Cbl. 109, 220-241.
- PITSCHMANN, H., H. REISSIGL, H.M. SCHIECHTL und R. STERN (1969): *Karte der aktuellen Vegetation von Tirol 1/100000. I. Teil: Blatt 6, Innsbruck - Stubai Alpen*.
- PUTUHENA, W.M. and I. CORDERY (1996): *Estimation of interception capacity of the forest floor*. Journal of Hydrology, 180, 28-299.
- RACHOY, W. (1976): *Waldbauliche Strukturanalysen in subalpinen Zirbenwäldern - Analyse eines urwaldnahen Zirbenwaldes in den Seetaler Alpen/Bundesland Steiermark*. XVI IUFRO World-Congress, Oslo, Norway, June 20-July 2, Division I Forest Environment and Silviculture, Congress group 1, 183-202.
- RAKEI, A.K., M. RENGER und G. WESSOLEK (1992): *Wasserhaushalt eines Alt- und Jungkiefernbestandes im Grunewald (Berlin)*. Allg. Forst- u. J. Ztg., 163. Jg., Heft 9, 169-172.
- REITER, W. (1975): *Die Wiederbesiedlung einer Hochlagenaufforstung durch phytophage Insekten (Haggen - Sellrain, 2000 m ü. d. M.)*. Hausarbeit aus Zoologie, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck.
- RENGER, M., O. STREBEL, G. WESSOLEK and W.H.M. DUYNISVELD (1986): *Evapotranspiration and Groundwater Recharge - A case study for different climate, crop patterns, soil properties and groundwater depth conditions*. Z. Pflanzenernähr. Bodenkd., 149, 371-381.
- RIEK, W. und M. RENGER (1994): *Der Wasserhaushalt der Kiefer als Funktion von Boden- und Klimaparametern in den Berliner Forsten*. Forstarchiv, 65, 167-171.
- RIVERS, E.D., and R.F. SHIPP (1972): *Available water capacity of sandy and gravelly North Dakota soils*. Soil Sci. 113, 74-80.
- ROGERS, R.D. and S.A. SCHUMM (1991): *The effect of sparse vegetative cover on erosion and sediment yield*. Journal of Hydrology, 123, 19-24.
- ROTH, K., R. SCHULIN, H. FLÜHLER und W. ATTINGER (1990): *Calibration of time domain reflectometry for water content measurement using a composite dielectric approach*. Water Resour. Res., 26, 2267-2273.
- ROTHER, A. (1997): *Einfluß des Baumartenanteils auf Durchwurzelung, Wasserhaushalt, Stoffhaushalt und Zuwachsleistung eines Fichten-Buchen-Mischbestandes am Standort Höglwald*. Forstliche Forschungsberichte München, Nr. 163.
- ROWE, P.B. (1955): *Effects of the Forest Floor on Deposition of Rainfall in Pine Stands*. Journal of Forestry, 53. Jg., 342-355.
- SCHAFFHAUSER, H. (1982): *Untersuchungen über das Abflußverhalten verschieden bewirtschafteter Versuchsflächen*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 144, 85-101.
- SCHAFFHAUSER, H. (1988): *Beregnungsversuche im Einzugsgebiet des Dürnbaches*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 161, 147-159.
- SCHEFFER, F. und P. SCHACHTSCHABEL (1992): *Lehrbuch der Bodenkunde*. 13. durchgesehene Aufl. von P. SCHACHTSCHABEL, H.P. BLUME, G. BRÜMMER, K.H. HARTGE und U. SCHWERTMANN, Enke-Verlag, Stuttgart.
- SCHERRER, S. (1997): *Abflußbildung bei Starkniederschlägen - Identifikation von Abflußprozessen mittels künstlicher Niederschläge*. VAW-Mitteilungen, ETH-Zürich, Heft 147, 188 Seiten.
- SCHIECHTL, H.M. (1954): *Die Folgen der Entwaldung am Beispiel des Finsingtales (Nordtirol) als Grundlage für Abflußuntersuchungen und Hochlagenaufforstungen*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Beiträge zur subalpinen Waldforschung, 66, 53-89.
- (1970): *Zur Frage der Wiederaufforstung von Sonnhängen in den Hochlagen der Inneralpen*. Allgem. Forstzeitg. Wien, 81. Jg., Folge 12, 312-314.
- (1972): *Grundsätzliches zur Wiederbewaldung inneralpiner Sonnhänge*. Mitt. Forstl. Bundesversuchsanstalt Wien, Bd. 129, 5-22.

- SCHIECHTL, H.M. und R. STERN (1974): *Vegetationskartierung - Durchführung und Anwendung in Forschung und Praxis*. Festschrift 100 Jahre Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien, 273-308.
- (1983): *Die Zirbe (Pinus cembra L.) in den Ostalpen - III. Teil*. Angewandte Pflanzensoziologie - Veröffentlichungen der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien, Österr. Agrarverlag, Heft 27.
- SCHINDLER, U. (1989): *Einfluß von Trockenrohdichte und Humusgehalt auf die Porengrößenverteilung und hydraulische Leitfähigkeit von Sandsubstraten*. Arch. Acker- Pflanzenbau Bodenk., Berlin 33 (1989) 1, 3-9.
- SCHLICHTING, E. und H.P. BLUME (1966): *Bodenkundliches Praktikum*. Verlag Paul Parey, - Hamburg, Berlin.
- SCHMALTZ, J. (1969): *Die Bedeutung des Waldes für den Wasserkreislauf*. Forstarchiv, 40.Jg, 132-147.
- SEVRUK, B. (1985): *Effect of Wind and Intensity of Rain on the Rain Catch*. In: B. SEVRUK (ed.): *Correction of Precipitation Measurements*, Zürcher Geographische Schriften, No. 23.
- SLICHTER, T.M., R.R. VAN DER PLOEG and P. BENECKE (1979): *A Lumped-Parameter Water Budget Model for a Forest Stand*. In: *Progress in Ecological Engineering and management by Mathematical Modelling*, Proceedings of the Second International Conference on the State-of-the-Art in Ecological Modelling, 865-881
- STADLER, D., M. BRÜNDLI, M. SCHNEEBELI, M. MEYER-GRASS und H. FLOHLER (1998): *Hydrologische Prozesse im subalpinen Wald im Winter*. Schlußbericht NFP 31 „Klimaänderungen und Naturkatastrophen“, VDF - Hochschulverlag AG, ETH-Zürich.
- STAUDER, S. (1963): *Messungen von Niederschlag und Interzeption unter Zirbe im Bereich Neuhütten, Vorbeugung mittleres Zillertal*. Forsttechnischer Dienst für Wildbach- und Lawinerverbauung, Gebietsbauleitung westliches Untertal, unveröffentlicht.
- STERN, R. (1956): *Untersuchungen über die Eignung der Zirbe für Hochlagenaufforstungen*. Dissertation, Hochschule f. Bodenkultur, Wien.
- (1964): *Anlage und Ergebnisse von Versuchspflanzungen in der subalpinen Entwaldungszone Nordtirols*. Mittl. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Heft 66, 215-240.
- (1966): *Der Waldrückgang im Wipptal*. Mittl. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Heft 70.
- (1978): *Distribution of snow and damages by snow in an afforestation area in the subalpine zone at the „Sonnenberg“ near Haggen/Tyrol*. Proceedings IUFRO Sem. Mountain Forests and Avalanches - Davos, 145-154.
- STERN, R. und J. HOPF (1988): *Hochlagenaufforstung und Lawinerverbauung am Haggener Sonnenberg im Sellrain*. Österr. Forstztg., Wien, 99. Jg., S. 50.
- STREBEL, O. (1970): *Messung der Bodenwasserspannung mit Hg-Tensiometern bei Lufttemperaturen unter 0°C*. Z. Pflanzenern. Bodenk., 126. Band, Heft 2, 111-116.
- STREBEL, O., W. GIESEL, M. RENGER und S. LORCH (1970): *Automatische Registrierung der Bodenwasserspannung im Gelände mit dem Druckaufnehmer-Tensiometer*. Z. Pflanzenern. Bodenk., 126. Band, Heft 1, 6-15.
- STROBEL, T. (1978): *Schneeinterzeption in Fichtenbeständen in den Voralpen des Kantons Schwyz*. International Seminar „Mountain Forests and Avalanches“, September 25-28, Davos, Switzerland, 63-79.
- TALLAKSEN, L.M., S. SCHUNSELAAR and R. VAN VEEN (1996): *Comparative model estimates of interception loss in a coniferous forest stand*. Nordic Hydrology, 27 (3), 143-160.
- TANIGUCHI, M., M. TSUJIMURA and T. TANAKA (1996): *Significance of stemflow in groundwater recharge. 1: Evaluation of the stemflow contribution to recharge using a mass balance approach*. Hydrological Processes, Vol. 10, 77-80.
- TEKLEHAIMANOT, Z., P.G. JARVIS and D.C. LEDGER (1991): *Rainfall interception and boundary layer conductance in relation to tree spacing*. Journal of Hydrology, 123, 261-278.
- THIAMM, F. und P. WIDMOSER (1995): *Zur hydrologischen Bedeutung der organischen Auflage im Wald: Untersuchungsmethoden und erste Ergebnisse*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 158, 287-292.
- THOMPSON, F.B. and L. LEYTON (1971): *Method for measuring the leaf surface area of complex shoots*. Nature 299, 572.
- TIKTAK, A. and W. BOUTEN (1994): *Soil water dynamics and long-term water balances of a Douglas fir stand in the Netherlands*. Journal of Hydrology, 156, 265-283.
- TOPP, G.C., J.L. DAVIES and A.P. ANNAN (1980): *Electromagnetic determination of soil water content: measurements in coaxial transmission lines*. Water Resources Research, 16 (3), 574-582.
- TOPP, G.C. and DAVIES, J.L. (1985): *Measurement of soil water content using Time-Domain-Reflectometry (TDR): A field evaluation*. Soil. Sci. Soc. Am. J., 49, 19-24.
- TRANQUILLINI, W. (1959): *Die Stoffproduktion der Zirbe an der Waldgrenze während eines Jahres*. Planta, 54, 107 - 129.
- TRANQUILLINI, W. (1963): *Die Abhängigkeit der Kohlensäure-Assimilation junger Lärchen, Fichten und Zirben von der Luft und Bodenfeuchte*. Planta 60, 70-94.
- TRANQUILLINI, W. (1979): *Physiological Ecology of the Alpine Timberline - Tree Existence at High Altitudes with Special Reference to the European Alps*. Ecological Studies 31, Springer Verlag.
- TURNER, H. (1958): *Maximaltemperaturen oberflächennaher Bodenschichten an der alpinen Waldgrenze*. Wetter und Leben, 10. Jg., Heft 1-2, 1-12.
- (1961a): *Jahresgang und biologische Wirkungen der Sonnen- und Himmelstrahlung an der Waldgrenze der Ötztaler Alpen*. Wetter und Leben 13, 93-113.
- (1961b): *Standortsuntersuchungen in der subalpinen Stufe: Die Niederschlags- und Schneeverhältnisse*. Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt Mariabrunn, Heft 59, 265-315.
- (1985): *Der Niederschlag in der Schweiz*. Beitr. Geol. Schweiz - Hydrol. Nr. 31.
- UHLIG, S. (1955): *Bestimmung des Verdunstungsanspruchs der Luft mit Piché-Evaporimetern*. Mitt. Dtsch. Wetterdienst Nr. 13.
- VIVILLE, D., P. BIRON, A. GRANIER, E. DAMBRINE and A. PROBST (1993): *Interception in a mountainous declining spruce stand in the Strengbach catchment (Vosges, France)*. Journal of Hydrology, 144, 273-282.

- WARING, R.H., P.E. SCHROEDER and R. OREN (1982): *Application of the pipe model theory to predict canopy leaf area*. Can. J. For. Res. 12, 556–560.
- WARING, R.H. and W.H. SCHLESINGER (1985): *Forest Ecosystems. Concepts and Management*. Academic Press, Orlando.
- WEGEHENKEL, M. (1998): *Zum Einsatz von TRIME-TDR zur Messung der Bodenfeuchte auf leichten Sandböden*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 161, 577–582.
- WEIHE, (1968): *Niederschlagszurückhaltung durch den Wald*. Allg. Forstzeitung, 522–525.
- (1974): *Benetzung und Interzeption von Buchen- und Fichtenbeständen in Nordrhein-Westfalen. Die Regenmessungen im Freiland mit Regenschreibern und Windschutz*. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 145. Jg., Heft 2, 30–40.
 - (1976): *Benetzung und Interzeption von Buchen- und Fichtenbeständen in NW. III. Die Regenmessung im Wald*. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 147. Jg., Heft 12, 235–240.
 - (1982): *Die Ermittlung des Regenverlustes durch die Interzeption des Waldes. Beiträge zur Hydrologie, Sonderheft 4, Kirchzarten*, 49–78.
 - (1984): *Benetzung und Interzeption von Buchen- und Fichtenbeständen. IV. Die Verteilung des Regens unter Fichtenkronen*. Allg. Forst- u. J.-Ztg., 155. Jg., Heft 10/11, 241–252.
- WHITEHEAD, D. (1978): *The estimation of foliage area from sapwood basal area in Scots pine*. Forestry 51, 35–47.
- WIESER, G. (1983): *Bodenwasserhaushalt alpiner Ökosysteme*. Dissertation, Leopold-Franzens-Universität, Innsbruck.
- WILPERT, K. v., U. NELL, M. LUKES und H. SCHACK-KIRCHNER (1998): *Genauigkeit von Bodenfeuchtemessungen mit „Time Domain-Reflektometrie“ und „Frequency Domain-Sensoren“ in heterogenen Waldböden*. Z. Pflanzenernähr. Bodenk., 161, 179–185.
- WILSON, G.V. and R.J. LUXMORE (1988): *Infiltration, Macroporosity and Mesoporosity Distributions on Two Forested Watersheds*. Soil Sci. Soc. Am. J., 52, 329–335.
- WOPFNER, H. (1951): *Bergbauernbuch I*. Tyrolia Verlag, Innsbruck.
- ZALITIS, P. und I. SPALVIA (1975): *Der Stammabfluß bei den Birken und Kiefern und seine ökologische Bedeutung*. Zaunakais nezsaimrieuba, 17, 39–46.
- ZANETTI, P. (1996): *Einfluß physikalischer Bodencharakteristika, der Bestandesphytomasse und der Nutzungsart auf die Infiltrationseigenschaften verschiedener Boden-/Vegetationseinheiten des Finsingtales (Zillertal/Tirol)*. Diplomarbeit, Leopold-Franzens-Universität Innsbruck, 86 Seiten.
- ZELLER, J. (1974): *Starkniederschläge und ihr Einfluß auf Hochwasserereignisse – Elemente zur Abschätzung der Hochwasserabflüsse kleiner Einzugsgebiete*. Berichte der Eidgen. Anstalt f. das Forstl. Versuchswesen, CH-8903 Birmensdorf, Nr. 126.
- ZIMMERMANN, L., K.H. FEGER und G. BRAHMER (1992): *Variabilität bodenphysikalischer Eigenschaften als Grundlage für Wasser- und Stoffbilanzen in Wassereinzugsgebieten im Kristallin-Schwarzwald*. Allg. Forst- u. J.-Zeitg., 163. Jg., Heft 10, 187–195.

Verfasser: Dipl.-Ing. Gerhard Markart
 Forstliche Bundesversuchsanstalt
 Institut für Lawinen- und Wildbachforschung
 Rennweg 1 - Hofburg
 A-6020 Innsbruck
 E-mail: fbva.soil@uibk.ac.at

An aerial photograph of a mountainous landscape. The upper portion of the image shows a steep, rocky slope with visible geological strata. Below this, a large, dense forest covers a significant portion of the mountain. At the bottom of the image, a road or railway line runs horizontally across the frame. The text "8 Anhang" is overlaid on a semi-transparent white box in the upper-middle section of the image.

8 Anhang

Tab. 8.1 a:

Die wichtigsten biometrischen Kennwerte des Bestandes auf der Berechnungsfläche (Standort ZNF) -
Ergebnisse der Vollaufnahme 1992.

Baum Nr.	Höhe (cm)	WHD (cm)	BHD (cm)	Krro (m)	Krri (m)	Krri (m)	Krri (m)	Mittl. Krd (m)	Vh. Ki/Höhe	Kronenproj. (m ²)	St-Oberfl. (in m ²)	Nadelfläche (m ²)
1	255	9,4	3,9	0,28	0,72	0,33	0,67	1,23	0,75	1,18	0,38	10,55
2	307	10,4	5,4	0,33	0,67	0,43	0,57	1,45	0,68	1,65	0,50	12,97
3	466	8,8	6,5	0,48	0,52	0,56	0,44	1,63	1,00	2,07	0,64	24,84
4	610	15,8	10,7	0,48	0,52	0,52	0,48	3,15	0,80	7,79	1,51	47,90
5	326	10	5,15	0,33	0,67	0,41	0,59	1,13	0,53	0,99	0,51	10,40
6	411	12,9	8,6	0,35	0,65	0,39	0,61	1,13	0,72	0,99	0,83	23,57
7	486	10,8	7,4	0,38	0,62	0,43	0,57	1,45	0,61	1,65	0,82	19,58
8	382	10,2	5,85	0,42	0,58	0,41	0,59	1,28	0,58	1,28	0,61	13,70
9	410	9,5	6,2	0,52	0,48	0,26	0,74	1,10	0,61	0,95	0,61	14,37
10	390	10,4	6,25	0,53	0,47	0,32	0,68	0,85	0,49	0,57	0,63	11,94
11	460	10,8	6,75	0,52	0,48	0,30	0,70	1,08	0,54	0,91	0,78	16,55
12	499	12,4	7,9	0,41	0,59	0,43	0,57	1,38	0,58	1,48	0,97	22,19
13	348	7	4,2	0,56	0,44	0,50	0,50	0,80	0,38	0,50	0,38	5,49
14	298	5,55	2,4	0,55	0,45	0,00	1,00	0,55	0,00	0,24	0,26	0,00
15	206	4,75	1,35	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,15	0,00
16	410	8,35	4,55	0,46	0,54	0,44	0,56	1,05	0,46	0,87	0,54	9,56
17	175	7,4		0,38	0,63	0,50	0,50	0,90	0,77	0,64	0,20	5,33
18	477	13,8	9,1	0,41	0,59	0,52	0,48	1,80	0,89	2,54	1,03	36,06
19	535	12,5	9,3	0,39	0,61	0,41	0,59	1,88	0,81	2,76	1,05	33,42
20	408	13,3	8,3	0,29	0,71	0,37	0,63	1,45	0,71	1,65	0,85	23,71
21	307	8,45	4,8	0,57	0,43	0,33	0,67	0,88	0,43	0,60	0,41	6,56
22	483	12,1	8,15	0,47	0,53	0,35	0,65	1,60	0,60	2,01	0,92	21,72
23	152	4,15		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,10	0,00
24	156	3,2		0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
25	484	11,2	7,95	0,45	0,55	0,35	0,65	1,15	0,51	1,04	0,85	16,87
26	420	8,7	5,35	0,42	0,58	0,38	0,62	1,13	0,43	0,99	0,57	9,39
27	460	12,6	8	0,48	0,52	0,39	0,61	1,15	0,47	1,04	0,91	16,68
28	313	5,7	2,5	0,60	0,40	0,23	0,77	0,58	0,00	0,26	0,28	0,00
29	505	11,1	7,5	0,52	0,48	0,38	0,62	1,23	0,52	1,18	0,88	17,88
30	485	10,5	7,55	0,52	0,48	0,36	0,64	1,25	0,38	1,23	0,80	11,72
31	445	11,6	6,95	0,58	0,42	0,40	0,60	1,10	0,53	0,95	0,81	16,95
32	350	7,4	4,4	0,45	0,55	0,23	0,77	0,60	0,31	0,28	0,41	4,74
33	532	13,5	8,45	0,58	0,42	0,38	0,62	1,38	0,79	1,48	1,13	35,28
34	406	7,55	4,75	0,44	0,56	0,20	0,80	0,60	0,57	0,28	0,48	10,51
35	492	12,5	9,6	0,42	0,58	0,41	0,59	1,28	0,51	1,28	0,96	19,39
36	575	14,5	10,2	0,48	0,52	0,31	0,69	1,55	0,76	1,89	1,31	39,42
37	305	6,25	2,95	0,30	0,70	0,55	0,45	0,53	0,25	0,22	0,30	2,72
38	560	13,2	10,1	0,39	0,61	0,41	0,59	1,75	0,75	2,41	1,16	34,35
39	307	9,1	4,3	0,17	0,83	0,46	0,54	0,78	0,78	0,47	0,44	12,97
40	470	10,9	7,6	0,27	0,73	0,29	0,71	1,50	0,76	1,77	0,80	23,83
41	290	9,2	5,3	0,38	0,62	0,48	0,52	1,38	0,82	1,48	0,42	12,89
42	130	3,15		0,42	0,58	0,22	0,78	0,53	0,10	0,22	0,06	0,13
43	263	8,75	3,5	0,44	0,56	0,32	0,68	0,93	0,62	0,67	0,36	8,27
44	397	7	4,15	0,50	0,50	0,18	0,82	0,73	0,43	0,41	0,44	7,09
45	498	11,5	7,65	0,44	0,56	0,40	0,60	1,78	0,74	2,47	0,90	26,04
46	480	12,2	9,1	0,59	0,41	0,32	0,68	1,30	0,74	1,33	0,92	26,48
47	318	9,1	3,95	0,60	0,40	0,27	0,73	1,05	0,67	0,87	0,45	11,44
48	358	13	6,8	0,58	0,42	0,46	0,54	1,25	0,58	1,23	0,73	16,51

Baum Nr.	Höhe (cm)	WHD (cm)	BHD (cm)	Krr o (m)	Krr l (m)	Krr u (m)	Krr r (m)	Mittl. Krd (m)	Vh. Kl/Höhe	Kronenproj. (m ²)	St-Oberfl. (in m ²)	Nadel-fläche (m ²)
49	428	10,9	7,6	0,52	0,48	0,48	0,52	1,15	0,52	1,04	0,73	14,85
50	225	5,75		0,40	0,60	0,64	0,36	0,53	0,00	0,22	0,20	0,00
51	395	8,65	4,85	0,43	0,57	0,58	0,42	1,05	0,59	0,87	0,54	12,13
52	480	13,8	9	0,41	0,59	0,46	0,54	1,38	0,68	1,48	1,04	28,13
53	360	7,2	3,75	0,38	0,62	0,35	0,65	0,75	0,45	0,44	0,41	6,79
54	438	13,5	9,35	0,42	0,58	0,34	0,66	1,55	0,75	1,89	0,93	27,43
55	348	9,9	5,4	0,26	0,74	0,36	0,64	1,03	0,72	0,83	0,54	14,97
56	466	12	8,9	0,38	0,62	0,48	0,52	1,28	0,77	1,28	0,88	26,39
57	465	11,1	7,75	0,52	0,48	0,42	0,58	1,33	0,61	1,38	0,81	19,45
58	305	8,5	5,1	0,47	0,53	0,36	0,64	0,73	0,35	0,41	0,41	5,36
59	485	12,1	8,2	0,41	0,59	0,27	0,73	1,33	0,64	1,38	0,92	23,14
60	375	9,3	4,95	0,50	0,50	0,33	0,67	0,78	0,51	0,47	0,55	10,78
61	330	9,95	6,5	0,63	0,37	0,25	0,75	0,88	0,35	0,60	0,52	6,95
62	440	10,2	6,2	0,53	0,47	0,27	0,73	0,98	0,65	0,75	0,70	17,72
63	290	4,6	2,8	0,47	0,53	0,30	0,70	0,98	0,45	0,75	0,21	3,27
64	300	5,6	3,3	0,42	0,58	0,32	0,68	1,23	0,52	1,18	0,26	4,86
65	453	11,5	7,9	0,60	0,40	0,40	0,60	1,25	0,58	1,23	0,81	18,53
66	363	10,4	7,25	0,45	0,55	0,37	0,63	1,03	0,51	0,83	0,59	11,64
67	378	10,8	6,65	0,62	0,38	0,26	0,74	1,20	0,59	1,13	0,64	14,65
68	370	7,85	4,7	0,53	0,47	0,47	0,53	0,75	0,45	0,44	0,46	7,73
69	502	11,2	7,5	0,41	0,59	0,36	0,64	1,18	0,60	1,08	0,88	20,96
70	370	8,9	5,5	0,52	0,48	0,52	0,48	1,10	0,53	0,95	0,52	10,44
71	435	9,45	6,2	0,45	0,55	0,41	0,59	1,18	0,56	1,08	0,65	13,99
72	365	8,85	4,5	0,47	0,53	0,42	0,58	0,85	0,54	0,57	0,51	10,41
73	400	11,3	7,25	0,48	0,52	0,36	0,64	1,20	0,54	1,13	0,71	14,91
74	408	13,4	7,9	0,41	0,59	0,43	0,57	1,38	0,89	1,48	0,86	29,84
75	171	3,35		0,30	0,70	0,25	0,75	0,55	0,64	0,24	0,09	1,50
76	404	13,4	8,15	0,41	0,59	0,36	0,64	1,48	0,87	1,71	0,85	29,05
77	231	3,55		0,20	0,80	0,27	0,73	0,53	0,53	0,22	0,13	2,08
78	185	2,9		0,70	0,30	0,00	1,00	0,43	0,30	0,14	0,08	0,62
79	247	5,85		0,43	0,57	0,42	0,58	0,65	0,51	0,33	0,23	4,05
80	425	11,5	7,65	0,52	0,48	0,29	0,71	1,43	0,64	1,59	0,77	19,10
81	305	7,8	4,2	0,22	0,78	0,41	0,59	0,88	0,39	0,60	0,37	5,47
82	475	11,4	7,15	0,40	0,60	0,33	0,67	1,23	0,59	1,18	0,85	19,55
83	478	11,5	8,15	0,59	0,41	0,41	0,59	1,40	0,64	1,54	0,86	21,63
84	505	13	9,7	0,52	0,48	0,26	0,74	2,10	0,79	3,46	1,03	32,11
85	390	9,4	5,6	0,32	0,68	0,32	0,68	1,18	0,79	1,08	0,58	17,42
87	455	10,6	7,25	0,44	0,56	0,33	0,67	1,05	0,65	0,87	0,76	19,33
88	415	12,6	8,65	0,46	0,54	0,38	0,62	1,90	0,79	2,84	0,82	25,39
89	400	10,1	6,35	0,43	0,57	0,24	0,76	1,50	0,85	1,77	0,63	20,78
90	139	3,55		0,50	0,50	0,43	0,57	0,33	0,00	0,08	0,08	0,00
91	470	11,3	7,75	0,48	0,52	0,46	0,54	1,28	0,57	1,28	0,83	18,57
92	178	4,1		0,55	0,45	0,29	0,71	0,45	0,00	0,16	0,11	0,00
93	170	4,3		0,17	0,83	0,18	0,82	0,58	0,00	0,26	0,11	0,00

Erklärung der Abkürzungen:

- WHD = Wurzelhalsdurchmesser
 BHD = Brusthöhendurchmesser
 Krr = Kronenradius
 o = oberhalb des Stammes
 l = links des Stammes (von der Oberseite des Baumes gesehen)
 u = unterhalb des Stammes
 r = rechts des Stammes (von der Oberseite des Baumes gesehen)
 Mittl. Krd. = Mittlerer Kronendurchmesser
 Vh. Kl/Höhe = Verhältnis Kronenlänge zu Baumhöhe
 Kronenproj. = Kronenprojektion
 St-Oberfl. = Stammoberfläche

Baum Nr.	Höhe (cm)	WHD (cm)	BHD (cm)	Krr o (m)	Krr l (m)	Krr u (m)	Krr r (m)	Mittl. Krd (m)	Vh. Kl/Höhe	Kronenproj. (m ²)	St-Oberfl. (in m ²)	Nadel-fläche (m ²)
50	446	9,87	5,41	0,69	0,52	0,51	0,68	1,20	0,59	1,13	0,69	15,92
58	523	16	10,2	0,88	0,51	1,02	0,74	1,58	0,68	1,95	1,31	36,05
59	374	7,72	4	0,41	0,27	0,74	0,43	0,93	0,45	0,67	0,45	7,63
92	501	14,9	9,7	0,53	0,70	1,02	0,95	1,60	0,75	2,01	1,18	35,30
61	405	10,9	5,96	0,42	0,30	0,73	0,85	1,15	0,72	1,04	0,69	19,49
60	522	14	9,51	2,14	0,60	2,31	0,95	3,00	0,77	7,07	1,15	35,15
62	536	12,9	9,02	0,56	0,93	0,79	0,87	1,58	0,61	1,95	1,09	26,59
63	339	8,65	4,83	0,18	0,42	0,32	0,48	0,70	0,35	0,38	0,46	6,12
64	536	13,4	9,19	0,70	0,59	1,90	0,86	2,03	0,64	3,22	1,13	28,83
68	396	9,75	5,26	0,33	0,53	0,67	0,53	1,03	0,51	0,83	0,61	12,04
65	344	11,3	6,7	0,21	0,57	0,64	0,33	0,88	0,35	0,60	0,61	8,34
56	486	11,3	6,91	0,35	0,58	0,95	0,52	1,20	0,65	1,13	0,86	22,17
55	307	5,09	2,98	0,30	0,19	0,70	0,21	0,70	0,45	0,38	0,25	3,88
54	320	5,9	3,55	0,40	0,46	0,85	0,64	1,18	0,52	1,08	0,30	5,50
93	519	13,9	8,69	0,68	0,78	1,02	0,52	1,50	0,58	1,77	1,13	26,24
66	400	12	7,71	0,37	0,59	0,63	0,71	1,15	0,51	1,04	0,75	15,11
82	437	11,7	7,58	0,34	0,93	0,96	0,57	1,40	0,59	1,54	0,80	18,79
70	408	9,05	5,01	0,49	0,43	0,56	0,37	0,93	0,45	0,67	0,58	10,01
71	537	12,7	8,48	0,36	0,57	0,64	0,83	1,20	0,60	1,13	1,07	25,86
67	414	9,14	5,88	0,68	0,52	0,62	0,48	1,15	0,53	1,04	0,59	12,13
72	483	10,7	7,06	0,45	0,56	0,65	0,69	1,18	0,56	1,08	0,81	17,83
73	379	7,88	4,77	0,32	0,35	0,43	0,40	0,75	0,54	0,44	0,47	9,57
74	435	11,8	7,83	0,47	0,65	0,83	0,70	1,33	0,54	1,38	0,80	17,06
75	452	14,4	9,17	0,66	0,57	0,89	0,83	1,48	0,89	1,71	1,02	36,08
76	175	3,57	1,01	0,15	0,15	0,45	0,35	0,55	0,64	0,24	0,10	1,57
90	479	15,2	9,35	0,58	0,82	1,02	1,18	1,80	0,87	2,54	1,15	40,03
77	240	3,62	1,52	0,12	0,11	0,33	0,44	0,50	0,53	0,20	0,14	2,14
78	174	2,87	0,83	0,00	0,42	0,40	0,18	0,50	0,30	0,20	0,08	0,48
79	256	5,68	2,98	0,29	0,43	0,41	0,57	0,85	0,51	0,57	0,23	4,01
79	483	13,1	8,68	0,58	0,40	0,82	1,40	1,60	0,64	2,01	0,99	25,08
85	334	8,58	4,37	0,27	0,34	0,53	0,51	0,83	0,39	0,53	0,45	6,69
80	529	13,4	8,14	0,53	0,73	0,77	0,52	1,28	0,59	1,28	1,11	26,17
81	546	12,4	9,04	0,36	0,83	0,99	0,77	1,48	0,64	1,71	1,06	27,03
84	576	15,3	10,7	0,74	0,72	1,56	1,53	2,28	0,79	4,06	1,38	43,99
83	434	10,6	6,73	0,53	0,69	1,07	0,86	1,58	0,79	1,95	0,72	22,27
87	463	12	7,95	0,57	0,62	0,93	0,73	1,43	0,65	1,59	0,87	22,58
88	459	15,7	10,1	0,47	0,75	1,48	1,00	1,85	0,79	2,69	1,13	35,81
91	457	11,1	7,91	0,44	0,96	1,11	0,89	1,70	0,85	2,27	0,79	26,40
28	142	3,51	0,52	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,08	0,00
57	495	13,1	8,74	0,72	0,67	0,83	0,73	1,48	0,57	1,71	1,02	23,09
69	172	4,3	1,24	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,12	0,00
44	163	4,26	1,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,11	0,00

Erklärung der Abkürzungen:

- WHD = Wurzelhalsdurchmesser
 BHD = Brusthöhendurchmesser
 Krr = Kronenradius
 o = oberhalb des Stammes
 l = links des Stammes (von der Oberseite des Baumes gesehen)
 u = unterhalb des Stammes
 r = rechts des Stammes (von der Oberseite des Baumes gesehen)
 Mittl. Krd. = Mittlerer Kronendurchmesser
 Vh. Kl/Höhe = Verhältnis Kronenlänge zu Baumhöhe
 Kronenproj. = Kronenprojektion
 St-Oberfl. = Stammoberfläche

Tab. 8.2:
Höhenentwicklung des Zirbenbestandes am Standort ZNF von 1992 bis Frühjahr 1995.

Baum Nr.	Höhenklassen	1992	1995	1993	1992-1995	1992	1995	1993	1992-1995
		Höhe	Höhe	Höhe	Zuwachs Höhe	Durchschnittliche Höhe in den Höhenklassen			Zuwachs Höhe
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
42	<150	130	134	132	4				
90		139	142	140,5	3	134,5	138	136,25	3,5
23	151-200	152	150	151	-2				
24		156	150	153	-6				
93		170	163	166,5	-7				
75		171	175	173	4				
17		175	192	183,5	17				
92		178	172	175	-6				
78		185	174	179,5	-11	169,6	168,0	168,8	-1,6
15	201-250	206	201	203,5	-5				
50		225	227	226	2				
77		231	240	235,5	9				
79		247	256	251,5	9	227,3	231,0	229,1	3,8
1	251-300	255	263	259	8				
43		263	307	285	44				
41		290	330	310	40				
63		290	307	298,5	17				
14		298	296	297	-2				
64		300	320	310	20	282,7	303,8	293,3	21,2
37	301-350	305	300	302,5	-5				
58		305	339	322	33,9				
81		305	334	319,5	29				
2		307	358	332,5	51				
21		307	355	331	48				
39		307	358	332,5	50,9				
28		313	322	317,5	9				
47		318	336	327	17,9				
5		326	310	318	-16				
61		330	344	337	13,9				
13		348	374	361	25,9				
55		348	405	376,3	56,6				
32		350	370	360	19,9	320,7	346,5	333,6	25,8
48	351-400	358	381	369,5	22,9				
53		360	374	367	13,9				
66		363	400	381,3	36,6				
72		365	379	372	13,9				
68		370	408	388,8	37,6				
70		370	414	391,8	43,6				
60		375	396	385,3	20,6				
67		378	437	407,3	58,6				
8		382	444	412,8	61,6				
10		390	405	397,3	14,6				
85		390	434	412	44				
51		395	446	420,3	50,6				
44		397	422	409,3	24,6				

Baum Nr.	Höhenklassen	1992	1995	1993	1992-1995	1992	1995	1993	1992-1995
		Höhe	Höhe	Höhe	Zuwachs Höhe	Durchschnittliche Höhe in den Höhenklassen			Zuwachs Höhe
		(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)	(cm)
73		400	435	417,3	34,6				
89		400	457	428,5	57	379,5	415,2	397,4	35,6
76	401-450	404	479	441,3	74,6				
34		406	447	426,3	40,6				
20		408	400	403,8	-8,4				
74		408	452	429,8	43,6				
9		410	511	460,7	101				
16		410	453	431,3	42,6				
6		411	465	437,8	53,6				
88		415	459	437	44				
26		420	466	442,8	45,6				
80		425	483	454	58				
49		428	459	443,3	30,6				
71		435	483	458,8	47,6				
54		438	501	469,7	63,3				
62		440	486	462,8	45,6				
31		445	499	472,2	54,3	399,7	445,9	422,8	49,1
65	451-500	453	519	486,2	66,3				
87		455	463	459	8				
11		460	503	481,7	43,3				
27		460	510	485,2	50,3				
57		465	536	500,7	71,3				
3		466	521	493,7	55,3				
56		466	522	494,2	56,3				
40		470	545	507,7	75,3				
91		470	495	482,7	25,3				
82		475	529	502	54				
18		477	519	498,2	42,3				
83		478	546	512	68				
46		480	557	518,7	77,3				
52		480	523	501,7	43,3				
22		483	571	527,2	88,3				
25		484	528	506,2	44,3				
30		485	521	503,2	36,3				
59		485	536	510,7	51,3				
7		486	563	524,7	77,3				
35		492	573	532,7	81,3				
45		498	548	523,2	50,3				
12		499	594	546,7	95,4	475,8	533,1	504,4	57,3
69	501-550	502	537	519,7	35,3				
29		505	559	532,2	54,3				
84		505	576	540,5	71				
33		532	571	551,7	39,3				
19		535	614	574,7	79,4	515,8	571,7	543,7	55,9
38	551-600	560	631	595,7	71,4				
36		575	679	627,2	104	567,5	655,4	611,5	87,9
4	>601	610	685	647,7	75,4	610	685,4	647,7	75,4

Tab. 8.3.a:
Kronendurchlaß am Standort ZNF, 8 simulierte Starkregenereignisse 1991

in mm des aufgebrauchten Niederschlages

Datum	N	Dauer (h)	Bh1	Bh2	Bh3	Bh4	Bh5	Bh6	Bh7	Bh8	Bh9	Bh10	Bh11	Bh12	Bh13	Bh14	Bh15	Bh16	Bh17	Bh18	Minimum	Maximum	Mittel	s	s ²
19.07.	26,9	0,5	8,7	14,4	14,7	11,9	8,5	14,1	22,5	10,8	17,3	9,1	34,8	16,0	11,6	7,7	16,4	35,6	13,0	24,0	7,7	35,6	16,2	8,2	67,8
19.07.	28,1	0,5	11,3	12,5	8,9	12,7	7,6	13,9	20,8	8,4	17,2	10,3	43,3	21,7	14,5	9,7	19,3	45,3	17,6	26,0	7,6	45,3	17,8	10,9	118,8
23.07.	22,2	0,5	8,5	12,1	10,1	11,6	11,0	12,3	17,7	9,7	10,7	5,3	28,8	7,7	4,7	0,3	1,9				0,3	28,8	10,2	6,8	46,0
23.07.	49,3	1,0		36,0	10,9	22,4	21,5	26,0	36,1		26,7	11,6	56,0	31,7	13,6	12,0	24,4	73,3	20,8	52,5	10,9	73,3	29,7	17,7	313,7
24.07.	48,2	0,5	73,3	56,0	39,6	8,1	49,7	9,7	13,7	11,8	39,4	18,5	54,4	38,8	24,5	14,5	26,5	46,3	9,2	40,7	8,1	73,3	31,9	19,5	379,2
06.08.	47,0	0,5	73,3	64,8	39,6	11,1	0,0	13,6	10,7	11,9	20,7	21,1	53,5	20,7	19,5	14,4	21,5	35,7	4,2	34,5	4,2	73,3	27,7	20,4	417,2
06.08.	42,9	0,5	73,3	60,3	36,1	11,1	48,7	13,7	8,7	10,8	30,0	16,5	47,3	40,9	19,1	18,5	21,5	37,6	5,8	33,6	5,8	73,3	29,6	19,1	364,9
07.08.	35,4	1,0	54,9	66,9	18,8	12,9	21,3	13,3	9,3	48,7	22,0	26,4	35,5	23,7	26,9	23,5	19,9	24,7	3,9	24,7	3,9	66,9	26,5	16,0	256,1
Summe			303,5	323,0	178,7	101,7	168,3	116,7	139,5	112,1	183,9	118,8	353,5	201,3	134,4	100,7	151,3	298,6	74,5	236,0	48,5	470,0	189,7		

in % der aufgebrauchten Niederschlagsmenge

Datum	NS (mm)	Dauer (h)	Bh1	Bh2	Bh3	Bh4	Bh5	Bh6	Bh7	Bh8	Bh9	Bh10	Bh11	Bh12	Bh13	Bh14	Bh15	Bh16	Bh17	Bh18	Minimum	Maximum	Mittel	s	s ²
19.07.	26,9	0,5	32,2	53,5	54,5	44,1	31,7	52,5	83,8	40,1	64,4	33,7	129,4	59,5	43,1	28,7	61,0	132,3	48,4	89,2	28,7	132,3	60,1	8,2	67,8
19.07.	28,1	0,5	40,3	44,6	31,8	45,1	27,0	49,3	74,0	29,9	61,2	36,5	154,2	77,3	51,7	34,6	68,8	161,3	62,6	92,5	27,0	161,3	63,5	10,9	118,8
23.07.	22,2	0,5	38,4	54,4	45,3	52,3	49,5	55,3	79,9	43,8	48,0	24,0	129,7	34,5	21,3	1,2	8,4				1,2	129,7	45,7	6,8	46,0
23.07.	49,3	1,0		73,0	22,2	45,4	43,5	52,7	73,3		54,1	23,5	113,6	64,4	27,6	24,3	49,5	148,7	42,2	106,6	22,2	148,7	60,3	17,7	313,7
24.07.	48,2	0,5	152,1	116,2	82,2	16,7	103,2	20,2	28,4	24,5	81,7	38,5	112,9	80,5	50,8	30,2	54,9	96,1	19,1	84,4	16,7	152,1	66,2	19,5	379,2
06.08.	47,0	0,5	156,0	137,9	84,3	23,5	0,0	28,9	22,7	25,4	44,0	44,8	113,8	44,0	41,4	30,6	45,7	76,0	8,9	73,5	8,9	156,0	58,9	20,4	417,2
06.08.	42,9	0,5	170,9	140,5	84,2	25,8	113,4	32,0	20,2	25,2	69,9	38,5	110,2	95,4	44,4	43,2	50,2	87,6	13,5	78,3	13,5	170,9	69,1	19,1	364,9
07.08.	35,4	1,0	155,2	189,1	53,1	36,5	60,3	37,7	26,4	137,5	62,1	74,6	100,2	67,0	76,1	66,5	56,1	69,7	10,9	69,7	10,9	189,1	74,9	16,0	256,1
			Mittel	106,5	101,1	57,2	36,2	53,6	41,1	51,1	46,6	60,7	120,5	65,3	44,6	32,4	49,3	110,3	29,4	84,9	16,2	155,0	62,4		

Tab. 8.3 b:
Kronendurchlaß am Standort ZNF, Beobachtungsperiode 1992.

Datum	N (mm)	Bh1	Bh2	Bh3	Bh4	Bh5	Bh6	Bh7	Bh8	Bh9	Bh10	Bh11	Bh12	Bh13	Bh14	Bh15	Bh16	Bh17	Bh18	Min (mm)	Max (mm)	Mittel (mm)	Min %	Max %	Mittel %	s ² Bh1-Bh18	s ² Bh18
06.07.	57,3	34,5	22,0	56,3	52,3	64,4	48,7	40,5	22,8	37,2	35,9	49,2	24,5	41,2	32,3	37,9	38,5	45,1	22,0	64,4	41,1	32,6	95,4	60,9	12,02	144,41	
13.07.	58,3	31,5	17,1	25,3	39,1	36,9	31,5	28,3	23,1	21,3	28,4	22,9	43,1	17,2	25,7	23,5	31,5	24,9	29,5	1,7	43,1	26,2	3,0	73,9	45,0	9,67	93,56
20.07.	7,2	0,3	0,4	2,6	1,8	1,9	0,7	0,4	0,9	1,2	0,5	3,0	2,1	0,8	1,1	1,9	0,9	1,3	0,3	3,0	1,2	3,7	41,7	17,0	0,81	0,65	
27.07.	33,2	22,5	9,3	22,8	23,4	12,0	20,9	10,7	11,7	19,1	12,7	23,0	24,1	18,3	15,6	13,8	17,2	15,0	9,3	24,1	16,7	27,9	72,5	50,4	5,19	26,93	
03.08.	32,0	22,5	9,3	22,8	23,4	12,0	20,9	10,7	11,7	19,1	12,7	23,0	24,1	18,3	15,6	13,8	17,2	15,0	9,3	24,1	16,7	27,9	72,5	50,4	5,19	26,93	
10.08.	23,7	8,7	5,5	3,2	13,1	9,3	11,9	9,1	5,5	5,7	6,9	6,1	13,6	12,9	7,3	6,7	8,7	8,0	3,2	13,6	12,9	18,3	63,5	38,1	4,27	18,25	
17.08.	28,9	12,7	9,8	5,9	18,4	15,1	19,7	16,0	11,1	11,1	12,7	11,2	23,6	18,7	13,0	13,5	15,8	11,1	13,5	5,9	23,6	14,0	20,3	81,7	48,5	4,18	17,49
24.08.	22,0	13,2	5,1	4,0	18,8	16,0	17,5	11,1	11,1	7,6	12,3	7,5	14,3	11,9	15,1	11,1	9,3	8,7	6,7	11,1	18,8	10,7	4,9	85,6	48,5	4,02	23,21
31.08.	9,2	0,7	0,3	1,2	3,9	2,7	3,5	1,2	0,5	0,4	1,9	0,8	2,6	1,4	1,5	0,7	1,3	1,7	1,1	0,3	3,9	1,5	3,6	42,8	16,4	1,05	1,09
07.09.	61,3	27,2	21,1	26,4	52,5	50,3	40,0	33,2	31,9	45,5	31,3	61,1	40,1	43,9	38,4	38,8	30,3	29,9	22,1	61,5	39,1	36,1	100,4	63,9	11,52	132,66	
14.09.	9,6	3,2	3,7	1,5	6,1	3,6	7,1	4,4	2,8	6,3	3,1	4,7	8,9	6,4	3,7	5,1	6,3	3,2	5,7	1,5	8,9	4,8	15,3	93,1	49,6	1,66	3,47
21.09.	13,7	0,7	1,3	1,7	5,7	4,4	6,3	3,6	1,7	2,4	3,3	2,3	0,5	5,7	3,7	4,8	4,1	3,7	0,5	6,3	3,3	3,9	45,9	24,4	1,73	2,98	
28.09.	4,2	1,3	1,5	1,2	2,4	1,1	2,3	1,5	0,9	1,7	1,6	2,3	9,2	2,4	1,5	2,3	3,6	1,5	2,7	0,9	9,2	2,3	22,2	219,0	54,1	1,86	3,44
05.10.	19,3	12,4	2,9	8,0	11,5	9,3	12,8	6,9	3,3	3,6	7,3	4,0	10,9	6,0	7,5	5,7	6,1	6,3	4,3	2,9	12,8	7,2	15,2	66,5	37,2	3,13	9,79
12.10.	20,8	8,7	8,5	6,5	11,6	9,6	12,1	12,4	7,7	12,4	8,5	11,7	20,0	13,9	10,3	12,4	13,2	12,3	13,2	6,5	20,0	11,4	31,4	96,2	54,8	3,03	9,20
Summe	410,7	217,8	130,3	109,7	281,3	248,4	214,9	160,5	146,5	198,5	163,4	301,5	188,9	204,1	172,6	204,6	182,8	192,1	84,1	333,5	200,1	16,9	92,4	42,9	Mittelwerte		

Tab. 8.3 c:
Kronendurchlaß am Standort ZNF, Beobachtungsperiode 1993.

Datum	N (mm)	Sammelbehälter (Angaben in mm)																		Min (mm)	Max (mm)	Mittel (mm)	Min %	Max %	Mittel %	s ² Bh1-Bh18	s ² Bh18
		Bh1	Bh2	Bh3	Bh4	Bh5	Bh6	Bh7	Bh8	Bh9	Bh10	Bh11	Bh12	Bh13	Bh14	Bh15	Bh16	Bh17	Bh18								
21.06.	50,4	22,2	7,9	8,4	34,9	32,9	41,7	24,7	10,9	12,5	21,4	12,0	33,1	22,4	19,9	17,7	17,6	20,4	12,6	7,9	41,7	20,7	15,6	82,8	41,1	9,72	94,46
28.06.	43,3	20,7	9,8	7,1	28,4	27,7	35,7	23,9	13,7	15,3	18,5	16,0	30,1	21,5	21,1	18,8	18,7	17,3	15,7	7,1	35,7	20,0	16,3	82,5	46,2	7,19	51,72
05.07.	26,8	22,2	18,3	7,9	24,3	19,2	23,7	26,0	18,3	18,3	14,8	20,5	25,2	23,3	8,1	17,7	19,5	17,7	20,0	7,9	26,0	19,2	29,4	97,0	71,5	5,06	25,65
12.07.	59,9	42,5	30,5	16,2	49,1	45,9	67,4	48,0	28,7	31,6	32,1	35,6	63,3	41,8	40,9	38,9	44,5	31,8	37,5	16,2	67,4	40,4	40,4	112,5	67,4	12,15	147,71
16.07.	34,6	16,7	12,5	4,7	2,9	21,5	27,9	28,4	12,8	15,7	14,3	15,1	30,3	22,4	18,1	16,8	21,8	16,8	19,4	2,9	30,3	17,7	8,5	87,8	51,1	7,36	52,73
23.07.	28,0	11,3	14,4	3,7	0,8	15,9	19,2	22,8	12,7	15,3	10,3	15,7	27,3	17,9	14,3	16,7	14,3	12,4	8,7	0,7	22,4	12,7	2,2	72,4	41,1	5,91	34,88
26.07.	20,8	12,7	6,5	5,3	0,7	14,8	20,0	13,5	7,9	8,5	10,1	8,4	18,0	11,1	12,7	11,8	12,1	10,8	8,9	0,7	20,0	10,8	3,5	96,2	51,8	4,49	20,15
30.07.	19,4	5,6	2,9	1,7	0,8	9,7	11,5	9,2	3,3	2,9	5,9	4,7	12,3	7,5	6,8	6,1	7,1	6,8	6,1	0,6	12,3	6,2	3,1	63,6	31,7	3,19	10,19
02.08.	5,1	0,3	0,1	0,2	0,2	1,9	1,7	0,7	0,2	0,3	1,3	0,3	2,4	0,8	1,3	1,2	0,9	0,7	0,3	0,1	2,4	0,8	1,3	47,5	16,2	0,88	0,46
06.08.	13,7	2,4	1,1	0,6	0,4	3,2	3,6	3,3	1,0	1,3	2,7	1,9	5,4	5,6	1,9	2,3	3,7	4,7	3,3	0,4	5,6	2,7	2,9	40,9	19,6	1,56	2,43
09.08.	3,6	0,5	0,3	0,3	0,1	1,2	1,1	0,3	0,3	0,2	0,5	0,1	0,9	0,5	0,4	0,4	0,3	0,4	0,2	0,1	1,2	0,5	3,7	33,3	12,7	0,32	0,10
12.08.	15,2	5,1	2,6	2,0	0,4	8,3	10,5	8,2	5,0	5,3	8,0	5,1	13,3	7,5	6,6	8,3	9,1	6,3	7,1	0,4	13,3	5,6	2,6	88,0	43,5	3,09	9,55
16.08.	28,4	21,6	6,1	9,1	37,7	22,1	26,5	17,3	11,9	20,7	17,1	8,9	18,1	16,1	15,3	14,8	26,4	17,7	10,4	6,1	37,7	17,7	20,9	128,3	60,2	7,51	57,98
23.08.	29,7	26,3	12,5	9,4	23,1	23,7	28,5	25,1	14,8	15,9	21,6	14,3	25,1	20,3	21,2	20,3	20,1	20,1	16,0	9,4	28,5	19,8	31,6	89,1	66,6	4,97	24,72
25.08.	26,1	22,3	13,1	5,5	31,3	19,6	30,2	27,9	16,3	17,5	17,4	16,2	26,4	20,1	17,1	19,9	23,3	15,9	20,9	5,5	31,3	20,2	21,2	120,3	77,4	6,76	39,15
27.08.	4,2	2,8	3,1	1,3	3,7	3,5	4,8	5,4	2,7	2,9	3,6	4,7	3,3	2,7	3,1	3,8	2,3	2,3	3,3	1,3	5,4	3,3	30,2	128,6	79,2	0,96	0,93
30.08.	16,2	14,2	4,5	1,8	10,3	10,4	12,2	13,3	6,1	7,9	8,9	9,1	14,8	9,9	7,9	8,1	10,2	8,0	8,6	1,8	14,8	9,2	11,1	91,6	57,2	3,25	10,56
02.09.	7,3	3,8	0,3	1,3	3,8	4,7	4,9	1,7	0,5	0,8	2,2	0,5	2,8	1,6	1,3	1,2	1,3	2,7	0,6	0,3	4,9	2,0	4,6	66,7	27,4	1,45	2,10
10.09.	31,8	39,3	9,9	5,2	24,5	22,5	28,6	22,7	12,1	13,5	18,5	14,9	30,1	19,5	15,2	15,9	17,8	17,4	16,3	5,2	39,3	19,1	16,4	123,7	66,2	7,99	63,89
13.09.	34,0	20,7	8,7	4,0	14,3	14,4	19,8	17,7	10,9	11,6	12,5	12,7	11,8	14,0	11,7	14,1	18,6	12,1	14,2	4,0	22,7	14,2	11,8	66,9	41,7	4,50	20,21
20.09.	12,6	14,8	7,8	3,8	15,9	13,0	17,7	16,5	10,9	11,6	10,1	12,6	26,1	15,8	8,9	15,3	18,7	11,5	16,1	3,8	26,1	13,7	30,3	208,1	109,4	4,91	24,11
27.09.	11,2	4,3	1,2	1,5	7,2	7,1	6,3	5,0	3,3	2,4	5,5	2,5	7,9	5,0	3,5	3,4	4,6	4,4	3,3	1,2	8,3	4,5	10,7	73,8	39,9	2,08	4,34
30.09.	4,4	0,7	0,3	0,2	1,5	1,6	1,9	1,4	1,5	1,7	1,8	1,1	5,4	2,7	1,0	1,3	2,7	1,5	1,7	0,2	5,4	1,7	4,5	122,7	37,8	1,14	1,30
04.10.	14,4	13,7	6,1	3,2	10,7	7,1	11,3	11,5	8,1	8,4	8,7	9,1	16,3	11,9	8,0	9,6	12,4	8,3	12,0	3,2	16,3	9,9	22,3	113,4	69,0	2,92	8,54
11.10.	6,6	1,7	0,5	0,7	3,7	4,9	3,7	2,3	1,3	1,0	2,2	1,3	4,1	2,3	1,8	1,9	2,7	2,2	1,3	0,5	4,9	2,2	7,4	33,6	1,72	1,49	
Summe	579,1	362,0	188,3	111,3	331,4	376,5	482,8	389,7	224,1	263,3	281,9	252,5	488,1	343,4													

Tab. 8.3 d:
Kronendurchlaß am Standort ZNF, Beobachtungsperiode 1994.

Datum	N (mm)	Sammelbehälter (Angaben in mm)																		Min (mm)	Max (mm)	Mittel (mm)	Min %	Max %	Mittel %	σ Bh1- Bh18	σ^2 Bh1- Bh18	
		Bh1	Bh2	Bh3	Bh4	Bh5	Bh6	Bh7	Bh8	Bh9	Bh10	Bh11	Bh12	Bh13	Bh14	Bh15	Bh16	Bh17	Bh18									
06.06.	365	24,4	17,1	8,3	24,5	24,7	34,7	26,3	17,7	23,6	23,1	21,2	36,7	26,3	21,9	23,2	29,6	21,6	22,8	8,3	36,7	23,7	22,7	100,6	65,2	6,29	39,52	
13.06.	573	39,1	21,2	9,6	34,9	36,4	50,3	39,9	19,6	36,0	30,8	27,7	44,7	35,2	29,3	30,1	36,8	27,6	29,2	9,6	50,3	32,1	16,8	87,7	56,1	9,43	88,97	
20.06.	73	3,9	0,9	1,3	5,2	5,6	5,4	3,4	1,3	3,8	1,2	0,7	3,4	3,3	2,7	1,4	1,8	3,3	1,0	0,7	5,6	2,8	9,1	76,7	37,7	1,62	2,64	
22.06.	68	1,6	3,3	0,4	3,8	3,4	3,5	2,9	1,9	5,2	3,3	2,9	6,7	5,2	3,9	3,6	4,1	3,5	0,0	0,0	6,7	3,3	0,0	98,8	48,7	1,62	2,61	
27.06.	93	14,9	9,7	4,6	18,9	8,5	7,3	8,5	8,6	6,2	7,1	8,2	6,6	14,0	8,7	5,3	7,5	11,6	9,9	4,6	14,9	8,8	49,5	159,9	94,5	2,73	7,45	
01.07.	91	4,2	1,7	0,7	6,4	5,5	8,4	6,7	3,5	5,9	4,4	4,4	7,9	6,5	4,8	4,5	5,6	4,5	4,7	0,7	8,4	5,0	7,3	92,3	55,1	1,91	3,65	
04.07.	38	1,3	0,4	0,4	2,8	2,2	1,5	1,2	0,9	1,6	0,3	0,7	2,1	0,3	1,6	1,2	1,3	1,7	1,3	0,3	2,8	1,3	7,1	74,7	34,0	0,71	0,50	
11.07.	41,4	30,5	26,9	7,2	26,0	25,6	33,7	25,5	16,5	17,3	24,0	18,8	30,9	26,4	20,9	20,8	23,7	21,6	27,9	7,2	33,7	23,6	17,4	81,5	57,0	6,21	38,54	
18.07.	292	21,2	9,3	10,1	17,2	22,0	20,7	12,1	10,9	11,7	10,5	7,9	15,6	16,3	16,0	12,9	11,3	14,1	9,5	7,9	22,0	13,9	27,0	75,5	47,5	4,31	18,55	
25.07.	596	82,8	18,0	12,9	65,3	68,2	68,3	60,1	37,1	58,7	52,2	44,7	78,4	60,3	55,8	48,2	46,7	52,7	47,5	12,9	82,8	53,2	21,7	138,9	89,3	18,05	375,86	
01.08.	7,5	6,1	0,4	0,7	6,6	6,5	17,9	4,8	3,5	4,5	0,5	2,7	7,3	7,2	4,7	4,4	11,2	5,9	3,3	0,4	17,9	5,5	5,3	239,1	72,8	4,13	17,08	
08.08.	14,8	4,7	0,8	0,9	6,0	4,3	3,7	2,8	1,4	3,5	1,8	1,8	7,5	6,4	2,7	3,2	5,0	5,5	3,6	0,8	7,5	3,6	5,4	50,5	24,6	1,94	3,76	
16.08.	20,5	7,9	2,1	1,5	10,4	10,6	10,5	8,4	3,6	7,7	4,7	3,8	13,3	9,8	7,4	6,4	7,9	7,7	6,5	1,5	13,3	7,2	7,5	65,0	35,3	3,16	10,02	
29.08.	86,4	33,9	12,7	7,7	32,0	30,4	34,1	29,4	15,7	24,4	18,8	20,9	34,5	29,9	25,7	19,8	24,3	27,2	21,2	7,7	34,5	24,6	9,0	39,9	28,5	7,70	59,25	
05.09.	38,8	27,9	16,1	4,3		25,2	31,5	26,0	21,3	21,7	20,5	20,0	38,7	26,4	25,7	24,5	27,2	17,3	25,2	4,3	38,7	23,5	11,0	99,8	60,7	7,26	52,74	
12.09.	17,8	15,6	9,0		12,7	12,4	14,5	10,5	7,3	9,4	9,1	8,9	13,0	11,2	10,5	9,8	10,1	11,2	10,0	7,3	15,6	10,9	41,3	87,9	61,4	2,15	4,61	
19.09.	41,6	34,1	19,2	13,5	31,3	31,8	38,0	32,5	17,7	25,6	23,3	23,7	42,5	28,9	28,0	25,6	29,3	23,7	29,9	13,5	42,5	27,8	32,4	102,2	66,7	7,13	50,83	
26.09.	1,7	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	8,1	8,1	8,1	0,00	0,00	
03.10.	11,2	2,0	1,0	0,5	4,7	3,6	3,7	3,7	1,9	4,0	2,5	2,5	8,0	4,7	3,5	3,7	4,9	3,2	4,7	0,5	8,0	3,5	4,8	71,7	31,4	1,69	2,86	
10.10.	14,2	6,5	3,0	3,5	9,2	9,5	10,0	7,8	6,0	9,4	6,6	4,4	16,3	9,2	7,9	7,5	9,7	7,4	7,6	3,0	16,3	7,9	21,2	115,4	55,6	2,98	8,87	
Summe	514,0	362,5	173,0	88,2	310,1	336,6	397,8	312,7	196,8	280,3	244,9	226,0	414,2	327,5	282,7	256,4	298,3	271,6	265,8	91,3	458,3	282,2	Mittelwerte	16,2	93,3	54,9		

Tab. 8.4:
Niederschlagsereignisse, deren zeitliche Dauer und Intensitäten, am Standort ZNF im Beobachtungszeitraum 1994.

Datum	Beginn	Ende	Dauer (Zeit)	Dauer (min)	Dauer (h)	Niederschlag (mm)	Intensität (mm/h)	Periode Niederschlag Dauer (min)	Durchschnittliche Intensität (mm/h)	Windgeschwindigkeit (km/h)	Windrichtung	Windgeschwindigkeit (Klasse)
2.6.	22:20	22:25	00:05	05	0,08	11,8	141,6			2,9	8	
	22:25	00:00	01:35	95	1,58	1,6	1,01			2,9	8	
3.6.	00:00	00:35	00:35	35	0,58	0,15	0,26			7,7	8	
	02:35	03:35	01:00	60	1,00	0,15	0,15			7,9	4	
	08:55	14:00	05:05	305	5,08	10,5	2,07			1,2	4	
	16:30	20:35	04:05	245	4,08	1,65	0,40			4	4	
	22:25	23:55	01:30	90	1,50	0,85	0,57			17,2	8	
6.6.	00:00	02:55	02:55	175	2,92	5,85	2,01	1010	1,93	21,8	8	1
	18:35	00:00	05:25	325	5,42	3,95	0,73			18	8	
7.6.	00:01	08:05	08:04	484	8,07	1,8	0,22			9,7	8	
9.6.	02:35	17:30	14:55	895	14,92	27,1	1,82			14,8	8	
10.6.	00:05	12:00	11:55	715	11,92	7,3	0,61	2419	1,00	2,4	4	3
16.6.	00:01	01:55	01:54	114	1,90	1,4	0,74			20	8	
19.6.	19:30	23:30	04:00	240	4,00	7,3	1,83	354	1,47	8,1	8	
20.6.	10:40	23:25	12:45	765	12,75	5,7	0,45			1,9	4	
21.6.	01:25	10:20	08:55	535	8,92	1,05	0,12			1,6	8	
24.6.	18:15	20:00	01:45	105	1,75	9,2	5,26	1405	0,68	3,7	4	1
29.6.	15:00	15:20	00:20	20	0,33	0,2	0,60			10,8	8	
	18:35	00:00	05:25	325	5,42	4,6	0,85			5,5	8	
30.6.	00:01	02:10	02:09	129	2,15	4,25	1,98			11,7	8	
1.7.	15:40	16:30	00:50	50	0,83	3,75	4,50	524	1,47	12	8	3
4.7.	15:10	15:20	00:10	10	0,17	1,1	6,60			10,5	8	
	17:10	17:25	00:15	15	0,25	0,1	0,40			3,2	4	
	19:30	19:50	00:20	20	0,33	0,6	1,80			8,4	8	
	21:10	23:30	02:20	140	2,33	10,45	4,48			14	8	
5.7.	04:50	06:30	01:40	100	1,67	1,15	0,69			5	8	
6.7.	15:35	00:00	08:25	505	8,42	19,85	2,36			6,9	4	
7.7.	00:00	02:25	02:25	145	2,42	3,5	1,45			16,2	8	
8.7.	16:35	19:00	02:25	145	2,42	1,5	0,62			13,3	8	
9.7.	02:45	05:35	02:50	170	2,83	1,4	0,49			9,6	8	
	08:40	09:10	00:30	30	0,50	2	4,00			7,9	8	
	10:55	11:15	00:20	20	0,33	8,5	25,50			12,2	8	
	12:05	12:10	00:05	05	0,08	1	12,00			17	8	
	18:10	18:55	00:45	45	0,75	4	5,33	1350	2,45	9	4	2
12.7.	17:00	19:00	02:00	120	2,00	14,9	7,45			5,7	4	
13.7.	12:50	14:15	01:25	85	1,42	6,1	4,31			17	8	
	19:00	22:20	03:20	200	3,33	2,9	0,87			6,3	4	
15.7.	00:20	01:00	00:40	40	0,67	7,5	11,25			4,6	8	
	03:05	03:35	00:30	30	0,50	1,3	2,60			2,4	8	
	16:40	16:50	00:10	10	0,17	2,2	13,20			9,9	4	
17.7.	15:25	15:30	00:05	05	0,08	0,3	3,60			11,7	4	
18.7.	02:55	04:50	01:55	115	1,92	0,5	0,26	605	3,54	12,3	8	2
	11:25	12:00	00:35	35	0,58	1,1	1,89			5,4	4	
	14:40	15:35	00:55	55	0,92	4	4,36			11,7	4	
19.7.	05:10	08:20	03:10	190	3,17	2,95	0,93			3	8	
	19:10	23:59	04:49	289	4,82	5,15	1,07			1,4	4	
20.7.	00:00	01:40	01:40	100	1,67	0,35	0,21			1,1	8	
	01:40	05:35	03:55	235	3,92	0,1	0,03			1,2	8	
	05:35	08:30	02:55	175	2,92	3,85	1,32			4,8	4	
	14:00	23:59	09:59	599	9,98	16,25	1,63			2,5	4	
21.7.	00:00	01:15	01:15	75	1,25	0,2	0,16			2,9	8	
	17:10	17:35	00:25	25	0,42	0,8	1,92			19,4	4	
	20:10	20:30	00:20	20	0,33	0,15	0,45			1,3	4	
23.7.	18:55	23:35	04:40	280	4,67	21,7	4,65			16,6	8	
24.7.	17:35	17:45	00:10	10	0,17	0,1	0,60			10,6	2	
	19:45	21:45	02:00	120	2,00	2,35	1,18	2208	1,60	10,7	8	3
25.7.	12:30	13:10	00:40	40	0,67	0,8	1,20			4,8	4	
	15:55	17:40	01:45	105	1,75	1,8	1,03			4,3	8	
26.7.	16:20	18:00	01:40	100	1,67	4,65	2,79			13,5	4	
	22:15	22:20	00:05	05	0,08	0,25	3,00	250	1,80	5,6	8	3
11.8.	01:35	03:45	02:10	130	2,17	2,7	1,25			6	8	
	16:40	23:15	06:35	395	6,58	6	0,91			4	8	
12.8.	02:50	03:15	00:25	25	0,42	0,2	0,48			8	8	
	06:55	07:20	00:25	25	0,42	0,1	0,24			4,4	8	

Datum	Beginn	Ende	Dauer (Zeit)	Dauer (min)	Dauer (h)	Niederschlag (mm)	Intensität (mm/h)	Periode Niederschlag Dauer (min)	Durchschnittliche Intensität (mm/h)	Windgeschwindigkeit (km/h)	Windrichtung	Windgeschwindigkeit (Klasse)
13.8.	16:00	00:00	08:00	480	8,00	8,65	1,08			13,8	8	
14.8.	00:00	01:30	01:30	90	1,50	1	0,67	1145	0,98	9,5	8	3
17.8.	12:05	12:15	00:10	10	0,17	1,2	7,20			10	4	
	16:10	17:45	01:35	95	1,58	7	4,42			2,8	4	
	20:10	23:59	03:49	229	3,82	11,5	3,01			7,8	8	
18.8.	00:00	06:55	06:55	415	6,92	4	0,58			7	8	
19.8.	02:25	06:40	04:15	255	4,25	2,1	0,49			13,5	8	
	12:50	19:00	06:10	370	6,17	12,2	1,98			10,7	4	
22.8.	09:20	10:45	01:25	85	1,42	0,5	0,35			10,6	4	
24.8.	01:00	03:10	02:10	130	2,17	0,1	0,05			6,7	8	
	03:10	04:30	01:20	80	1,33	1,85	1,39			8,2	8	
	14:40	15:00	00:20	20	0,33	0,4	1,20			10	4	
	19:25	23:05	03:40	220	3,67	13,4	3,65			1,6	4	
25.8.	02:15	17:30	15:15	915	15,25	18	1,18			14,2	4	
	19:50	23:59	04:09	249	4,15	3,35	0,81			56,3	8	
26.8.	00:01	02:15	02:14	134	2,23	1,95	0,87			21	8	
	19:55	23:59	04:04	244	4,07	1,15	0,28			37,1	8	
27.8.	00:01	01:30	01:29	89	1,48	0,15	0,10			12,8	8	
28.8.	16:25	22:10	05:45	345	5,75	4,55	0,79			15,5	8	
29.8.	00:25	01:10	00:45	45	0,75	1	1,33			68,5	8	
	04:20	06:40	02:20	140	2,33	1,65	0,71	4070	1,27	60,3	8	3
30.8.	15:50	15:55	00:05	05	0,08	1,3	15,60			7,2	4	
	18:15	19:55	01:40	100	1,67	3,6	2,16			7,9	8	
31.8.	00:00	00:50	00:50	50	0,83	0,55	0,66			8,8	8	
	11:20	11:50	00:30	30	0,50	0,5	1,00			7,2	8	
	19:45	23:59	04:14	254	4,23	1,2	0,28			3,5	8	
1.9.	00:00	00:35	00:35	35	0,58	0,65	1,11			7,9	8	
	13:00	13:25	00:25	25	0,42	0,7	1,68			20	8	
	18:20	23:59	05:39	339	5,65	7,4	1,31	838	1,14	2,8	4	2
8.9.	16:20	22:45	06:25	385	6,42	11,55	1,80			8,3	8	
	23:10	23:59	00:49	49	0,82	2,45	3,00			7,8	4	
9.9.	00:00	03:20	03:20	200	3,33	2,6	0,78			23,7	8	
	03:20	05:20	02:00	120	2,00	0,1	0,05			6,1	4	
10.9.	07:55	08:25	00:30	30	0,50	0,65	1,30	784	1,33	3,4	8	2
12.9.	23:40	00:00	00:20	20	0,33	0,3	0,90			4,8	8	
13.9.	00:01	08:05	08:04	484	8,07	2,75	0,34			3,6	8	
	19:00	00:00	05:00	300	5,00	1,05	0,21			4,4	4	
14.9.	10:35	14:10	03:35	215	3,58	8,85	2,47			4,1	4	
	21:10	22:40	01:30	90	1,50	2,45	1,63			6,6	8	
	23:40	00:00	00:20	20	0,33	2,8	8,40			17,4	8	
15.9.	00:00	03:55	03:55	235	3,92	2,3	0,59			4,6	8	
	18:10	20:30	02:20	140	2,33	0,9	0,39			5,2	8	
	23:20	00:00	00:40	40	0,67	0,5	0,75			8,6	8	
16.9.	00:00	00:40	00:40	40	0,67	0,2	0,30			14,5	8	
	10:10	14:00	03:50	230	3,83	1,95	0,51			9,3	4	
	19:35	00:00	04:25	265	4,42	5,25	1,19			3	4	
17.9.	00:00	01:40	01:40	100	1,67	2,1	1,26			2,6	2	
	09:30	18:30	09:00	540	9,00	6,8	0,76	2719	0,84	7	4	1
19.9.	08:55	12:10	03:15	195	3,25	1,65	0,51			6,6	4	
26.9.	15:25	17:10	01:45	105	1,75	1,05	0,60			6,4	2	
	18:50	20:00	01:10	70	1,17	0,5	0,43			6,3	8	
	22:40	23:20	00:40	40	0,67	0,25	0,38	410	0,50	5,7	8	2
27.9.	01:50	03:40	01:50	110	1,83	1,4	0,76			15,2	8	
	17:00	21:10	04:10	250	4,17	4,65	1,12			2,3	4	
	23:10	23:40	00:30	30	0,50	0,2	0,40			0,5	4	
28.9.	01:05	01:20	00:15	15	0,25	0,3	1,20			7,7	8	
	02:20	02:40	00:20	20	0,33	0,6	1,80			8,6	8	
2.10.	19:10	19:20	00:10	10	0,17	1,55	9,30	435	1,20	4,4	8	1
3.10.	13:25	21:45	08:20	500	8,33	9,9	1,19			11	8	
4.10.	00:40	02:50	02:10	130	2,17	1,3	0,60			14	8	
	12:15	13:35	01:20	80	1,33	0,75	0,56			12,4	4	
5.10.	12:10	13:00	00:50	50	0,83	0,2	0,24			14,5	4	
6.10.	12:10	14:15	02:05	125	2,08	0,55	0,26			24,3	4	
8.10.	12:20	13:15	00:55	55	0,92	1,3	1,42			7,4	4	
	14:00	14:10	00:10	10	0,17	0,25	1,50			3,8	4	
	14:45	16:15	01:30	90	1,50	1,25	0,83	1040	0,97	4,6	4	3

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. Lawineneignisse 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. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1977/78, 1978/79 und 1979/80. 81 Seiten	90.—
1986	16	HAUK, E.; HÖLLER, P.; SCHAFFHAUSER, H. Lawineneignisse und Witterungsablauf in Österreich. Winter 1984/85 und 1985/86. 90 Seiten	90.—
1987	17	MERWALD, I. Lawineneignisse 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.; MÜLLER, 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.; MÖLLER, 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 Achenal. 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 „Arnodstein“ - 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 Grasnitzbach – 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 1999 Umbau sekundärer Nadelwälder. 237 Seiten	350.—
2000	112	W. FÜRST & 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.—
2000	116	K. HAGEN; E. LANG Schneehydrologische Untersuchungen im Einzugsgebiet des Gradenbaches (Kärnten) 67 Seiten	100.—
2000	117	G. MARKART Der Wasserhaushalt von Hochlagenaufforstungen - Dargestellt am Beispiel der Aufforstung von Hagen bei St. Sigmund im Sellrain. 126 Seiten	190.—

