

**Projekt**

**Karstdynamik im Nationalpark  
Kalkalpen  
1603**

**Niederschlagsinterzeption von Vegetation und  
Auflagehumus in fünf Waldbeständen des  
Nationalparks Kalkalpen, Oberösterreich**

**Teilbericht zu den Projekten**

**1603-2.0& 5.2 1996/97**

im Auftrag der Nationalpark Oberösterreichische Kalkalpen Ges.m.b.H  
gefördert vom Bundesministerium für Umwelt, Jugend und Familie

**Christian Fuxjäger  
Institut für Waldökologie, BOKU Wien  
Peter Jordanstraße 82, A-1190 Wien**

Wien, Mai 1998

**Niederschlagsinterzeption von Vegetation und  
Auflagehumus in fünf Waldbeständen  
des Nationalparks Kalkalpen, Oberösterreich**

Diplomarbeit

am Institut für Waldökologie  
an der Universität für Bodenkultur, Wien

eingereicht von  
Christian Fuxjäger  
Wien, im Mai 1998

## Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei **allen** bedanken, die mich durch meine Studienzeit begleiteten und unterstützten und mir dadurch sehr interessante und schöne Jahre bereiteten.

Ermöglicht wurde diese Arbeit durch das Institut für Waldökologie unter O. Univ. Prof. Dipl. Ing. Dr. Gerhard Glatzel. Mein besonderer Dank gilt Dipl. Ing. Dr. Klaus Katzensteiner für seine hilfreiche und angenehme Betreuung.

Die Geländearbeiten wurden im Nationalpark Kalkalpen durchgeführt, wobei mich beim Aufbau der Meßgeräte Dipl. Ing. Sepp Erber tatkräftig unterstützte. Die Durchführung dieser Arbeiten war nur dank der bereitwilligen Unterstützung der Mitarbeiter des Nationalparks und der Österreichischen Bundesforste möglich.

## Inhaltsverzeichnis

<b>1. Einleitung und Aufgabenstellung.....</b>	<b>1</b>
<b>2 Stand des Wissens.....</b>	<b>2</b>
<b>2.1 Wasserhaushalt des Waldökosystems .....</b>	<b>2</b>
<b>2.2 Interzeption .....</b>	<b>3</b>
2.2.1 Einleitung.....	3
2.2.2 Allgemeine Definition .....	3
2.2.3 Niederschlagsbilanz von Vegetationsdecken.....	4
2.2.4 Einflüsse des Standortes und der Bestockung .....	7
2.2.5 Interzeptionsspeicherung .....	8
2.2.6 Interzeptionsverdunstung.....	9
<b>3 Methoden .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1 Geographische Lage.....</b>	<b>10</b>
<b>3.2 Aufnahmegebiet .....</b>	<b>11</b>
3.2.1 Geologie.....	11
3.2.2 Geomorphologie .....	11
3.2.3 Klima .....	12
3.2.4 Waldgesellschaften.....	18
<b>3.3 Probeflächen.....</b>	<b>20</b>
3.3.1 Vorarbeiten .....	20
3.3.2 Beschreibung der Probeflächen .....	22
3.3.3 Instrumentierung und Versuchsanordnung .....	28
<b>3.4 Probenahme.....</b>	<b>39</b>
<b>3.5 Auswertung.....</b>	<b>39</b>
3.5.1 Ertragskundliche Daten .....	39
3.5.2 Vegetationskundliche Daten .....	39
3.5.3 Bestimmung des Blattflächenindex (LAI Index).....	39
3.5.4 Niederschlagsmessungen .....	40
3.5.5 multiple lineare Regressionanalyse .....	41
<b>4 Ergebnisse .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Methodische Aspekte .....</b>	<b>42</b>
4.1.1 Vergleich Bulk-Sammler – Rain-Logger.....	42
4.1.2 Vergleich Bulk-Sammler – Rain-Logger – Regenrinnen.....	43
4.1.3 Stichprobenanzahl und erreichte Genauigkeit.....	44
<b>4.2 Seehöhenabhängigkeit der Niederschlagsmenge.....</b>	<b>46</b>
<b>4.3 Bestandsniederschlag und Interzeption.....</b>	<b>47</b>
4.3.1 Bestandsniederschlag auf der Buchenfläche SR.....	47
4.3.2 Bestandsniederschlag und Interzeption auf allen Probeflächen.....	50
<b>4.4 Maximale Niederschlagspeicherkapazität der Vegetation.....</b>	<b>50</b>
<b>4.5 Niederschlagsmenge und Bestandsniederschlag.....</b>	<b>51</b>
<b>4.6 Blattflächenindex und räumliche Verteilung des         Kronendurchlasses.....</b>	<b>53</b>

4.7	Abhängigkeit des Bestandsniederschlages von Klimaparametern.....	55
4.8	Abhängigkeit der Interzeption und Bestandsniederschlag vom Blattflächenindex und Freilandniederschlag.....	57
4.9	Ermittlung der Streuinterzeption.....	58
5	<i>Diskussion</i> .....	60
5.1	Niederschläge im Beobachtungszeitraum .....	60
5.2	Seehöhenabhängigkeit der Niederschläge .....	61
5.3	Niederschlagsmenge und Bestandsniederschlag.....	61
5.4	Interzeptionsspeicherung der Vegetation.....	62
5.5	Stammabfluß.....	63
5.6	Interzeptionsverdunstung .....	67
5.7	Variabilität der Interzeption und des Kronendurchlasses .....	68
5.7.1	Blattflächenhaltung und Bestandsstruktur .....	68
5.7.2	Wind .....	70
5.7.3	Niederschlagsintensität .....	70
5.8	Streuinterzeption .....	71
6	<i>Zusammenfassung</i> .....	75
7	<i>Literaturverzeichnis</i> .....	78
8	<i>Anhang</i> .....	81

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2-1:	Komponenten der Niederschlagsbilanz von Vegetationsdecken, .....	5
Abbildung 3-1:	Übersichtskarte .....	10
Abbildung 3-2:	Klimadiagramm der Station Reichraming: Monatsmittelwerte der Temperatur und Niederschlagsmengen von 1961 bis 1990 .....	13
Abbildung 3-3:	Durchschnittliche monatliche Niederschlagsmengen von 1971 bis 1990 der Stationen Molln, Bodinggraben, und Windischgarsten .....	15
Abbildung 3-4:	mittlere relative Luftfeuchtigkeit [%] um 7 Uhr und 14 Uhr in Windischgarsten im Zeitraum 1961 bis 1990.....	17
Abbildung 3-5:	Kartenausschnitt aus der ÖK 50 mit der Lage der Versuchsflächen.....	20
Abbildung 3-6:	Bestandsgrund- und Aufriß und Instrumentierung der Probefläche Buchenfläche SR - Steyrquelle .....	32
Abbildung 3-7:	Bestandsgrund- und Aufriß und Instrumentierung der Probefläche Fichtenfläche VR - Vorderreuterstein .....	33
Abbildung 3-8:	Bestandsgrund- und Aufriß und Instrumentierung der Probefläche Fichtenfläche EE - Eiseneck.....	34
Abbildung 3-9:	Bestandsgrund- und Aufriß und Instrumentierung der Probefläche Schlagfläche EE - Eiseneck.....	35
Abbildung 3-10:	Bestandsgrundriß und Instrumentierung der Probefläche Kulturfläche EE - Eiseneck .....	36
Abbildung 3-11:	Teilansicht der Probefläche Fichtenfläche EE - Eiseneck.....	37
Abbildung 3-12:	Teilansicht der Probefläche Schlagfläche EE - Eiseneck.....	37
Abbildung 3-13:	hohe Rinne in 1m Höhe (oben) und niedere Rinne auf Bodenniveau auf der Probefläche Kulturfläche EE - Eiseneck.....	38
Abbildung 4-1:	Zusammenhang der Ergebnisse verschiedener Niederschlagsmeßsysteme am Eiseneck 1997.....	42
Abbildung 4-2:	Seehöhenabhängigkeit der Niederschlagsmenge 1996 .....	46
Abbildung 4-3:	Stammabfluß der Buchen in der Vegetationsperiode 1996 und 1997.....	48
Abbildung 4-4:	Abhängigkeit der Niederschlagsmenge im Bestand vom Freilandniederschlag für die Vegetationszeiten 1996 und 1997.....	52
Abbildung 4-5:	Abhängigkeit der Interzeption vom Blattflächenindex auf der Fichtenfläche EE.....	53
Abbildung 4-6:	Kronendurchlaß im Vergleich mit dem Blattflächenindex auf der Buchenfläche SR.....	54
Abbildung 4-7:	Interzeption im Vergleich mit den Blattflächenindex auf der Fichtenfläche EE.....	55
Abbildung 5-1:	Vergleich der Niederschläge 1996 und 1997 bei der Steyrquelle mit dem durchschnittlichen Niederschlag 1971 bis 1990 bei der vergleichbaren Station Bodinggraben;.....	60
Abbildung 5-2:	Teilansicht der Fichtenfläche EE - Eiseneck mit den eingebauten Plattenlysimetern P34 und P35.....	73

## 1. Einleitung und Aufgabenstellung

Der Niederschlag passiert auf seinem Weg zum Boden die Baum-, Strauch- und Krautschicht und schließlich die Streuschicht. Baumart, Bestockungsdichte, Bestandsstruktur, Bodenflora und Streuauflage bestimmen daher die Größe der Oberfläche, auf der Teile des Niederschlags haften (Interzeption) und direkt wieder verdunsten (Interzeptionsverdunstung). Die Kenntnis der Größe der Interzeptionsverdunstung und des Bestandsniederschlags ist daher eine Voraussetzung für das Verständnis des Wasserkreislaufs von Waldbeständen.

Im Zuge eines Teilprojektes der interdisziplinären Karstforschung im Nationalpark Kalkalpen, das den Einfluß der Vegetation und der Böden auf Karststandorten auf das Sickerwasser behandelt, wurden auch Untersuchungen über die Wasserbilanz von Waldbeständen durchgeführt.

Ziel dieser Arbeit ist es, die klimatischen und morphologischen Einflußfaktoren auf den Wasserrückhalt unterschiedlicher Waldbestände auf Karststandorten zu untersuchen und zu charakterisieren.

## 2 Stand des Wissens

### 2.1 Wasserhaushalt des Waldökosystems

Ein Waldökosystem, bei dem Boden, Pflanzen und atmosphärische Einflüsse zu einer Einheit zusammengefaßt sind, beeinflußt den Wasserhaushalt entscheidend und bildet eine Regel- und Verteilerfunktion. Das Waldökosystem nimmt als Wasserinput das Niederschlagswasser, die seitliche (horizontale) Wasserzufuhr und auf grundwassernahen Standorten den kapillaren Aufstieg des Grundwassers auf. In Form von verdunstendem Wasser (Evaporation, Transpiration und Interzeption), seitlichem Wasserabfluß und Tiefenversickerung verläßt das Wasser das System.

Allgemeine Wasserhaushaltsgleichung (nach Benecke, Liebscher und Meyer, 1980):

$$N = I + E + T + A_o + A_{on} + A_s + R$$

N = Freilandniederschlag

I = Interzeptionsverdunstung

E = Evaporation

T = Transpiration

A<sub>o</sub> = Oberflächenabfluß

A<sub>on</sub> = oberflächennaher Abfluß

A<sub>s</sub> = Sickerabfluß

R = Vorratsänderung

Diese allgemeine Wasserhaushaltsgleichung besagt, daß Input, Output und Vorratsänderung sich zu jedem Zeitpunkt ausgleichen. Die Wasserabgabe erfolgt aber zeitlich verzögert, das heißt, es erfolgt eine Vorratsänderung, und der Niederschlag wird von der Pflanzendecke und dem Boden zurückgehalten.

Aufgrund der Aufgabenstellung sollen die Einflußfaktoren und Größenordnungen des Niederschlagsrückhaltes, der durch die Pflanzendecke und die Streuschicht verursacht wird, untersucht werden.

## 2.2 Interzeption

### 2.2.1 Einleitung

Wenn Regen oder Schnee auf eine mit Vegetation bestockte Fläche fällt, gelangt nur ein Teil davon direkt zum Boden. Der andere Teil des Niederschlages bleibt zunächst an den oberirdischen Sproßteilen (Blättern bzw. Nadeln, Zweigen, Ästen, Stämmen bzw. Stengel) haften. Dieses vorübergehend zurückgehaltene (lat. interceptio = die Wegnahme) Wasser beginnt dort teilweise zu verdunsten, tropft bzw. fällt teilweise ab, oder es gelangt an den Pflanzen langsam abfließend zum Boden. Ein geringer Teil der zurückgehaltenen Wassermenge gelangt über Diffusion in die Blätter bzw. Nadeln und verbessert deren Wasserstatus.

Dieser von Regen oder Schneefällen stammende, den Erdboden erreichende Niederschlagsanteil kann sich dadurch von dem einer vegetationslosen Landoberfläche erheblich unterscheiden.

### 2.2.2 Allgemeine Definition

Auf Flächen mit Vegetation wird das Niederschlagsangebot sowohl mengenmäßig als auch räumlich und zeitlich durch die Interzeption beeinflusst. Unter Interzeption versteht man den Rückhalt oder die vorübergehende Speicherung des Niederschlages in der Kronen-, Strauch-, Kraut- und Streuschicht. Der verdunstende Anteil des gespeicherten Niederschlages wird als Interzeptionsverdunstung bezeichnet. Es ist hierbei zu berücksichtigen, daß es beim Vorgang der Interzeption nicht nur zu einer Verminderung, sondern auch zu einer Vermehrung des Wasserangebotes kommen kann. Dies sind der abgesetzte Niederschlag (Wasser, das direkt an Gegenständen kondensiert oder sublimiert ist) und der abgefangene Niederschlag (Wasser in flüssiger und fester Form, das in der Atmosphäre kondensiert und überwiegend der Luftströmung folgend an Gegenstände gelangt ist). Vor allem in bewaldeten Mittelgebirgsgebieten, insbesondere dabei in mittleren und hohen Lagen, kann es dadurch zu erheblichen Niederschlagsgewinnen kommen.

### 2.2.3 Niederschlagsbilanz von Vegetationsdecken

Der an den Oberflächen der Pflanzen stattfindende Interzeptionsprozeß kann durch die folgende Niederschlagsbilanz quantitativ beschrieben werden:

$$N_d + N_t + N_s = N + I_G - I_v - I_R$$

$N_d$  = durchfallender Niederschlag (Niederschlag, der ohne Kontakt mit der Vegetation zum Boden gelangt);

$N_t$  = abtropfender Niederschlag (Niederschlag, der nach Kontakt mit der Vegetation zum Boden gelangt);

$N_s$  = Stammabfluß (Niederschlag, der an der Pflanze abfließend zum Boden gelangt);

$N$  = Freilandniederschlag;

$I_G$  = Interzeptionsgewinn durch abgesetzten und abgefangenen Niederschlag sowie Gewinn durch „Auskämmen“ von Schneeniederschlag;

$I_v$  = Interzeptionsverlust oder Interzeptionsverdunstung (synonym verwendet). Teil des Niederschlages, der infolge der Interzeption nicht den Boden erreicht;

$I_R$  = Interzeptionsspeicherhöhe, Wasservolumen des an Pflanzenoberflächen infolge der Interzeption zum betrachteten Zeitpunkt vorübergehend gespeicherten Niederschlages, ausgedrückt als Wasserhöhe über einer horizontalen Fläche.

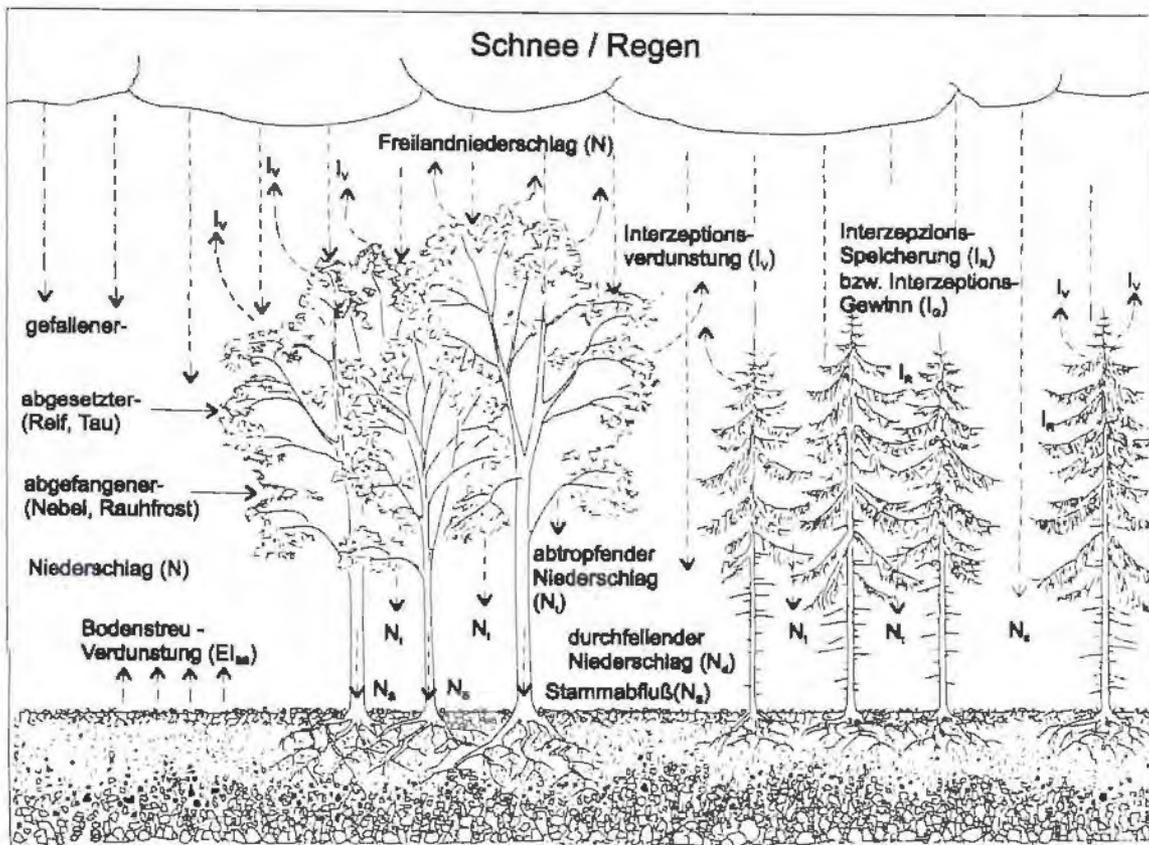


Abbildung 2-1: Komponenten der Niederschlagsbilanz von Vegetationsdecken, hier Buchenwald mit Stammabfluß  $N_s$  und Fichtenwald ohne Stammabfluß ( $N_s + N_d + N_t = N_B$ ). Nach Baumgartner und Liebscher (1996), verändert.

Die Summe  $N_d + N_t = N_K$  wird als Kronendurchlaß, die Gesamtsumme des auf die Bodenoberfläche gelangenden Niederschlages als Bestandsniederschlag ( $N_B = N_d + N_t + N_s$ ) bezeichnet.

Von den oben genannten Komponenten der Bilanzgleichung sind unter Feldbedingungen nur der Bestands- und der Freilandniederschlag meßbar. Hieraus folgt, daß die Größen  $I_G$ ,  $I_V$  und  $I_R$  nur zusammengefaßt als gemeinsames Restglied ermittelt werden können. Werden Vergleichsmessungen des Freiland- und Bestandsniederschlages zu einem Zeitpunkt durchgeführt, wenn sich kein gespeichertes Niederschlagswasser mehr im Kronen- und Stammraum befindet (Interzeptionsspeicherhöhe  $I_R = 0$ ), dann gilt:

$$N - N_B = I_V - I_G$$

Es können daraus die Summe der beim Interzeptionsprozeß erfolgten Niederschlagsverluste bzw. Gewinne ermittelt werden. Bei speziellen Standorten (z.B. nebelreiche Lagen) können die Interzeptionsgewinne größer als die -verluste sein (Baumgartner und Liebscher, 1996).

Der Interzeptionsverlust  $I_v$  kann über die Niederschlagsbilanz nur dann bestimmt werden, wenn man für den betreffenden Zeitraum und Standort unterstellen kann, daß beim Vorgang der Interzeption kein nennenswerter Niederschlagsgewinn entsteht ( $I_G \approx 0$ ). Ebenso wird angenommen, daß die Verluste praktisch nur durch die Evaporation hervorgerufen werden. Nur unter diesen Voraussetzungen ( $I_v = I$ ) kann die gesamte Höhe des Interzeptions- Verlustes  $I_v$  als Parameter für die Interzeptions-Verdunstungshöhe  $I$  dienen, und die Bilanzgleichung vereinfacht sich zu:

$$N - N_B = I_v$$

Auch die Streudecke und, wenn vorhanden, die Bodenvegetation des Waldes kann als Interzeptionsoberfläche angesehen werden. Für die Streuschicht ergibt sich die nachfolgende vereinfachte Bilanzgleichung:

$$N_B - N_e + \Delta S_O = EI_{BS}$$

$N_e$  = Effektiver Niederschlag oder Nettoniederschlag (jener Niederschlag, der durch die Streudecke in den Mineralboden infiltriert).

$EI_{BS}$  = Interzeptionsverlust der Bodenstreu oder Bodenstreu-Verdunstung. Teil des Bestandsniederschlags, der infolge Verdunstung nicht den Mineralboden erreicht.

$\Delta S_O$  = Speicher der organischen Auflage; mit Zunahme der Aufagemächtigkeit für die Wasserversorgung der Vegetation immer bedeutender;

Die gesamte Niederschlagsbilanz des Waldes kann somit als Ergebnis der obigen Bilanzgleichungen wie folgt abgeschätzt werden:

$$N_e = N - I_v - EI_{BS}$$

## 2.2.4 Einflüsse des Standortes und der Bestockung

Neben der Höhe und der zeitlichen Verteilung des Bestandsniederschlages wird durch die Einflüsse des Standortes und der Bestockung auch die beim Vorgang der Interzeption stattfindende Evaporation im Kronen- und Stammraum (Interzeptionsverdunstung) wesentlich bestimmt.

Die sowohl den Freilandniederschlag als auch die Interzeptionsverdunstung beeinflussenden klimatischen Verhältnisse hängen von den lokalen topographischen, orographischen und morphologischen Gegebenheiten des betreffenden Standortes (z.B. Höhenlage, Exposition, Hangneigung) ab. Bedeutende klimatische Einflußfaktoren sind nach Baumgartner und Liebscher (1996):

- Form, Höhe, Intensität und zeitliche Verteilung des Freilandniederschlages;
- Energiehaushalt (Strahlungsenergie, Wärmeinhalt der Luft);
- Aufnahmebereitschaft der Atmosphäre für Wasserdampf;
- Atmosphärischer Transport, der durch den Wind bzw. durch turbulente Diffusion für den Austausch befeuchteter durch trockene Luft oder durch Advektion von Energie durch Antransport von Warmluft sorgt.

Ein weiterer wichtiger Einflußkomplex ist die morphologische Beschaffenheit der aktuellen Pflanzendecke. Die wichtigsten Bestimmungsfaktoren sind nach Baumgartner und Liebscher (1996):

- Art der Vegetationsdecke, z.B. Saison- oder Dauervegetationsdecke, beim Wald wintergrüne oder winterkahle Baumarten, Vegetation mit oder ohne Stammabfluß etc.;
- Aufbau und Mischungsform, z.B. ein oder mehrschichtige Rein- oder Mischbestände etc.;
- Bestandsdichte, z.B. Bedeckungsgrad des Bodens, Überschirmungsgrad, Zahl der Pflanzen pro Flächeneinheit, Blattfläche etc.;
- Wachstumsbonität, z.B. Auswirkung auf Größe der Blattfläche, Dichte des Kronenschlusses, Form und Dichte der Verzweigung, Stellung der Äste zum Schaft, Tiefe des Kronenansatzes etc.;

Die erwähnten Einflüsse des Standortes und der Bestockung zeigen, daß es sehr problematisch sein kann, die in der Literatur angeführten Ergebnisse für hydrologische Modelle zu übernehmen. Ohne Information über die Niederschlags- und Witterungsverhältnisse in den erfaßten

Zeiträumen und über morphologische Verhältnisse der Pflanzendecke und eine genaue Standortbeschreibung sind daher die als Prozentwerte des Freilandniederschlags publizierten Meßergebnisse von Bestandsniederschlag, Interzeptionsverdunstung etc. sehr wenig aussagekräftig.

Bei der Quantifizierung der Niederschlagsbilanz von Vegetationsdecken kann man zwischen zwei Arbeitsrichtungen unterscheiden. Ziel beider Arbeitsrichtungen ist es, einen Weg zu finden, auf welcher Weise und auf welcher Grundlage die lokal gewonnenen Ergebnisse von Interzeptionsuntersuchungen in verschiedenen Pflanzenbeständen für eine großräumige hydrologische Bewertung und Klassifizierung von land- und forstwirtschaftlich genutzten Landoberflächen gemacht werden können:

Durch kausalanalytische Grundlagenuntersuchungen versucht man die inneren Zusammenhänge und Gesetzmäßigkeiten des Interzeptionsprozesses zu erfassen. Dies geschieht durch eine möglichst detaillierte Analyse der verschiedenen Einflußgrößen und deren Wechselbeziehungen. Ziel ist es, daß es auf diese Weise möglich wird, die Niederschlagsbilanz von Pflanzenbeständen anhand verfügbarer oder leicht meßbarer Niederschlags- und Klimadaten abschätzen zu können.

Die Bestands- und Standortverhältnisse sind so sehr von den spezifischen örtlichen Gegebenheiten abhängig, als daß eine überregionale Lösung mit Grundlagenuntersuchungen und Modellrechnungen vorläufig nicht erwartet werden kann. Man versucht daher, durch lokale Interzeptionsuntersuchungen im Rahmen mehrjähriger Meßreihen die lokalen Einflußfaktoren direkt zu ermitteln.

### **2.2.5 Interzeptionsspeicherung**

Die aktuelle Interzeptionsspeicherhöhe während oder nach einem Niederschlagsereignis kann nicht direkt gemessen werden. Eine Abschätzung kann daher nur über die Niederschlagsbilanz erfolgen (unter der Annahme, daß bis zum betrachteten Zeitpunkt kein nennenswerter Interzeptionsgewinn bzw. -verlust eingetreten ist). Die sich bei anhaltendem Niederschlag und vorher trockenen Baumkronen einstellende Speicherhöhe wird als maximale Interzeptionskapazität bezeichnet.

Bei Schnee ist eine Quantifizierung aktueller Interzeptionsspeicherhöhen und -kapazitäten wegen der ungelösten meßtechnischen Probleme und der möglichen längerfristigen Speicher-

ung nicht möglich. Vor allem bei den in höheren Lagen stockenden Koniferenbeständen können Interzeptionskapazitäten auftreten, die ein vielfaches der Regenkapazitäten erreichen.

### **2.2.6 Interzeptionsverdunstung**

Die über die Niederschlagsbilanz abschätzbare Interzeptionsverdunstung stellt insbesondere bei ganzjährigen Vegetationsdecken (Wald, Gras) einen erheblichen Anteil an der Gesamtverdunstung (Evapotranspiration) dar und trägt dadurch nicht zum Bodenwasserhaushalt bei.

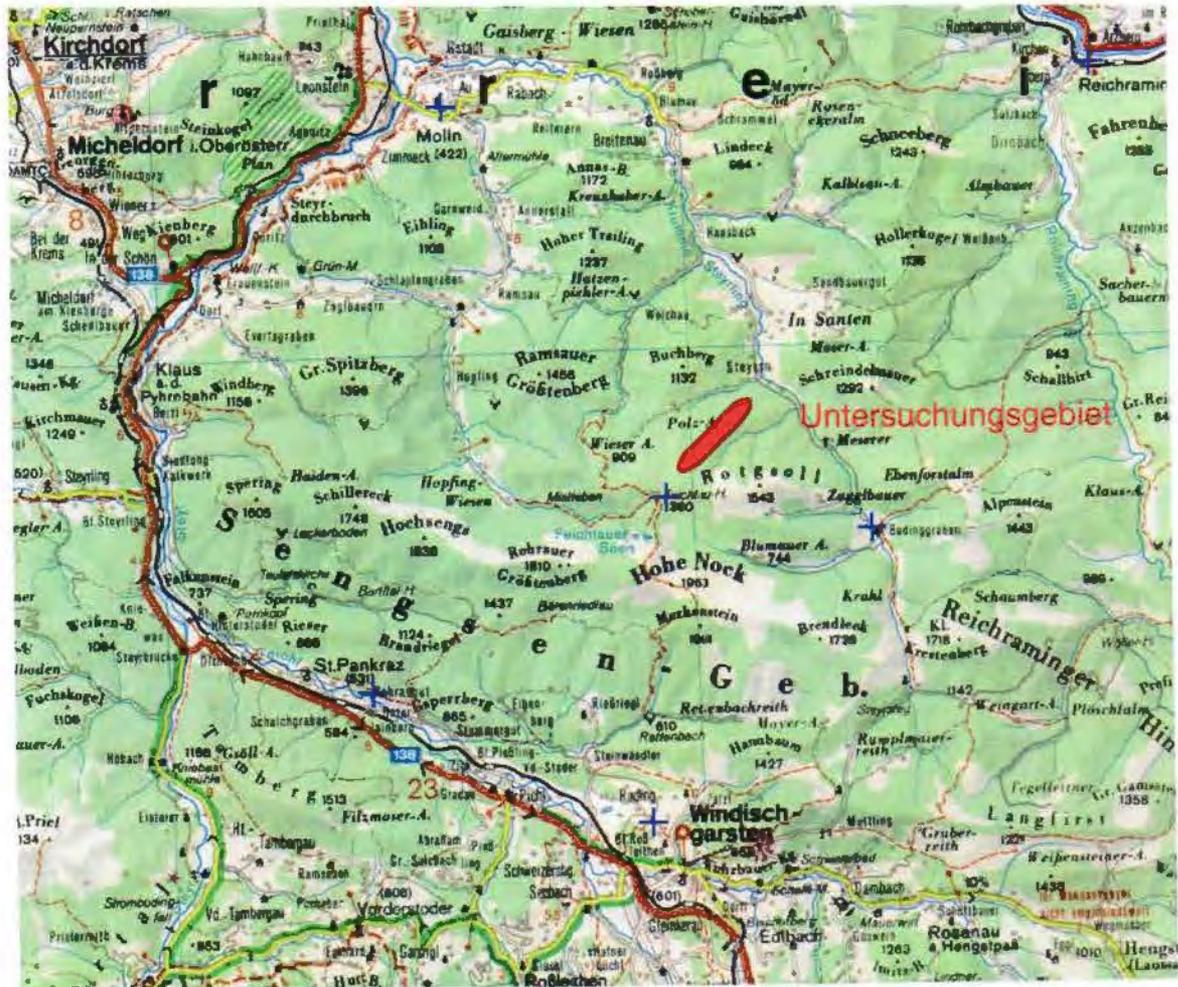
Für Waldbestände, insbesondere für die Vegetationszeit, existiert ein fast schon unüberschaubares Zahlenmaterial. Da sich die Untersuchungsergebnisse auf unterschiedliche Standorte, Zeiträume und Jahreszeiten beziehen und andererseits die Bestände hinsichtlich Alter, Bestockungsgrad, Aufbau etc. unterscheiden, streuen die in der Literatur angegebenen Prozentwerte in einem breiten Rahmen. Nach Baumgartner und Liebscher (1996) ergeben sich als Einfluß der Baumarten folgende Tendenzen:

- Bei den immergrünen Nadelbaumarten Kiefer, Fichte, Tanne und Douglasie halten sich die durchschnittlichen Prozentwerte innerhalb und außerhalb der Vegetationszeit mit 30 bis 40 % in ähnlicher Größenordnung.
- Bei den winterkahlen Laubbaumarten Eiche und Buche liegen die Prozentwerte der Interzeptionsverdunstung mit 10 bis 20 % außerhalb der Vegetationszeit zumeist deutlich unter denen der immergrünen Nadelbaumarten.
- Während der Vegetationszeit unterscheiden sich die Prozentwerte der Interzeptionsverdunstung bei allen Baumarten nur verhältnismäßig wenig. Die Baumarten mit relativ hohem Stammabfluß, wie die Laubbaumarten Buche, Hainbuche und Roteiche zeigen mit Werten von 20 bis 30 % etwas niedrigere Werte.

### 3 Methoden

#### 3.1 Geographische Lage

Das Untersuchungsgebiet befindet sich im Nationalpark Kalkalpen, Oberösterreich.



-  Untersuchungsgebiet mit den fünf Probeflächen
-  Ausgewählte meteorologische Stationen

Abbildung 3-1: Übersichtskarte

## 3.2 Aufnahmegebiet

### 3.2.1 Geologie

Das Sengsengebirge liegt in einer W-O verlaufenden Zone der Kalk- und Dolomitvoralpen, die zwischen den Kalkhochalpen (Totes Gebirge, Haller Mauern) im Süden und der Flyschzone im Norden eingelagert ist.

Innerhalb dieser Zone unterscheidet sich der markante Wettersteinkalk, der den Hauptzug des Sengsengebirge bildet, von den im Norden vorgelagerten Dolomitbergen.

Das Sengsengebirge und die nach Norden vorgelagerten Berge liegen im Bereich der Nordtiroler Fazies und gehören drei Schichtkomplexen an. Diese sind so gelagert, daß die tieferen Bauelemente nördlich liegen. Das tiefste und nördlichste Element ist die Ternberger Decke, anschließend folgt die Reichraminger Decke. Sie baut die Dolomitvorberge auf. Die Grenze mit dem dritten Bauelement, der Staufen-Höllengebirgsdecke verläuft nördlich des Sengsengebirgkammes (Müller, 1977).

Die Probeflächen befinden sich im Überschiebungs- bzw. Anpreßbereich der Staufen-Höllengebirgsdecke. Es treten tektonisch verfaltete Trias- und Juragesteine auf. Rötlicher Hierlatzkalk baut das Karstgelände um das Eiseneck auf. Das Gebiet um den Vorderreuterstein befindet sich im Übergangsbereich von Wettersteinkalk, Hauptdolomit und Lunzer Schichten. So wurden auf der Fichtenversuchsfläche am Vorderreuterstein neben Wettersteinkalk auch Mergel­einlagerungen gefunden.

### 3.2.2 Geomorphologie

#### 3.2.2.1 Oberirdische Karstformen

„Karst“ tritt in den nördlichen Kalkalpen und somit auch im Untersuchungsgebiet als Hauptphänomen auf. Die Bezeichnung „Karst“ steht für die Gesamtheit der durch die Wirkung von Grund- und Oberflächenwasser (Korrosion) in löslichen Gesteinen (hauptsächlich Kalk und Gips) entstehenden Formen. Der Verkarstungsprozeß beruht vorwiegend auf Spaltenkorrosion und reicht bis zur Untergrenze lösbarer Gesteine. Die vollkommene Verkarstung findet sich in reinen, d.h. möglichst tonarmen Kalkgesteinen mit hoher Klüftigkeit. Mit CO<sub>2</sub>-haltigem Wasser tritt eine chemische Reaktion ein, und die Carbonate gehen als Bicarbonate in Lö-

sung. Die Menge der in Lösung gehenden Carbonate ist vom CO<sub>2</sub>- Gehalt abhängig (Lenz und Weidersich, 1993).

Die Bodenbildung baut hier größtenteils auf organische Rückstände (AC/OC Böden und Rendzinen) und nur zu einem geringen Teil aus Kalkgesteinsrückständen auf. Daher stellt jeder Biomasseentzug durch forstliche Nutzung oder Bodenerosion infolge Bodendeckenschädigung durch Holzbringung, Weidevieh, Tourismus usw. ein großes Gefahrenpotential dar (Haseke und Steinwendner 1993).

### 3.2.2.2 Unterirdische Karstformen

Hier handelt es sich um Lösungsformen, die unter einer Deckschicht ungelöster Gesteine liegen. Typische Erscheinungsbilder sind Erdfälle, die durch Einbruch der Deckschicht über gelöstem Gestein entstehen, und abgedeckter Karst, der durch Abtragung der Deckschicht freiliegende Karstlandschaften entstehen läßt. Höhlensysteme zählen ebenfalls zu diesem Typus.

### 3.2.3 Klima

Die nördlichen Kalkalpen werden durch feuchtgemäßigtes, ozeanisch geprägtes Klima charakterisiert, das durch die Prallhangsituation im Nordstaubereich eine besondere Ausprägung erhält. Daraus resultiert eine starke Höhen- und Expositionsabhängigkeit der Klimaelemente Temperatur, Niederschlag, Wind und Strahlung (Mahringer et al., 1993).

Die Abbildung 3-2 zeigt ein Klimadiagramm einer meteorologischen Station im nordöstlichen Teil des Arbeitsgebietes. Da die Temperaturkurve deutlich unter der Niederschlagskurve verläuft, handelt es sich um ein kühl humides Gebiet der randalpinen Staulage mit reichlichen Niederschlägen.

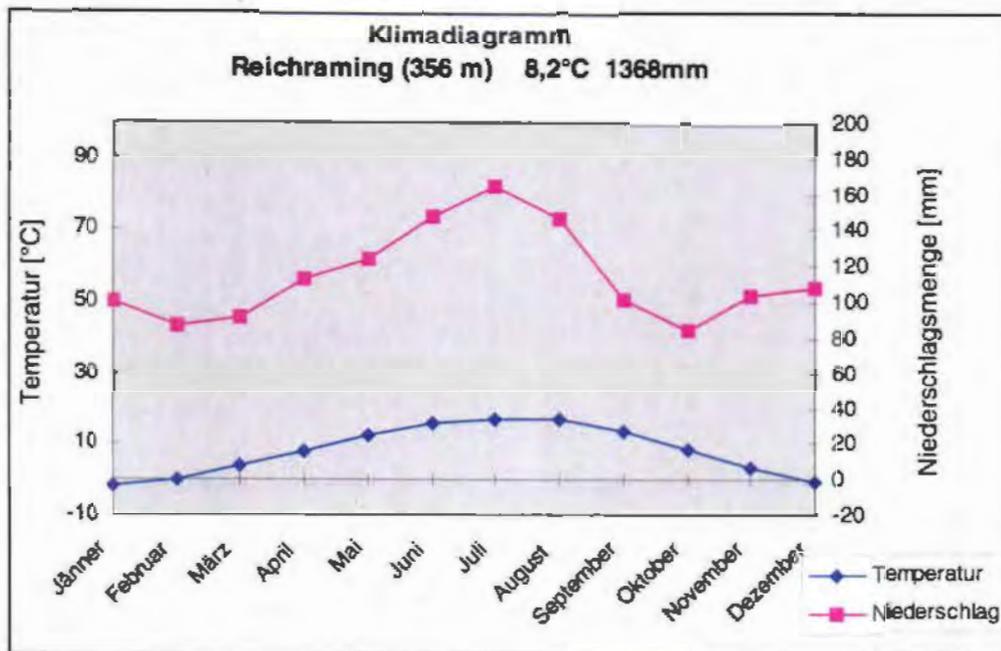


Abbildung 3-2: Klimadiagramm der Station Reichraming; Monatsmittelwerte der Temperatur und Niederschlagsmengen von 1961 bis 1990 (Mahringer et al., 1993).

### 3.2.3.1 Temperatur

Die Temperaturverteilung ist wesentlich durch die Seehöhe geprägt. Oberhalb von etwa 1000 m rechnet man im Mittel mit einer durchschnittlichen Abnahme von 0,6 - 0,7 °C pro 100 m. Darunter treten vor allem in den Wintermonaten häufig Inversionswetterlagen auf, oft verbunden mit Nebel in den Talbereichen. Besonders in Becken und engen Tälern bilden sich in winterlichen Schönwetterperioden Kaltluftseen aus. Auch im Sommer liegt die durchschnittliche Temperaturabnahme mit der Höhe unterhalb 1000 m bei nur etwa 0,3 bis 0,5 °C.

In der nachfolgenden Tabelle 3-1 sind die Monatsmittelwerte der vorhandenen Meßstationen im Aufnahmegebiet gegenübergestellt. Die Werte von der in 1300 m liegenden Meßstation Eiseneck sind aufgrund der Standorte ähnlich den Meßwerten von der Wetterstation Feichtau. Die Temperaturen bei der Station Steyernquelle sind aufgrund der um 650 m geringeren Höhenlage deutlich höher.

Temperatur [°C]				
	1996	1996	1997	1997
	Steyernquelle	Feichtau	Eiseneck	Feichtau
Mai	11,8		6,6	
Juni	14,9		10,7	11,0
Juli	14,6	10,7	10,3	10,6
August	14,3	11,4	12,8	12,8
September	8,9	4,6	9,6	9,9
Oktober		4,9	2,6	2,9

Tabelle 3-1: Die verfügbaren Monatsmittelwerte der Temperatur in den Sommermonaten 1996 und 1997.

### 3.2.3.2 Niederschlag

Das Sengsengebirge zeichnet sich durch Niederschlagsreichtum aus. Die Jahresniederschlagssummen reichen von 1200 mm bis über 2000 mm, die größten Mengen treten dabei im Sommer (Juli) auf. Von den Talstandorten weisen die Stationen Bodinggraben mit 1776 mm und Klaus mit 1559 mm die höchsten durchschnittlichen Niederschlagsmengen in den Jahren 1971 bis 1990 auf (Mahringer et al., 1993).

Die Niederschlagsmenge nimmt vom Alpenvorland Richtung Gebirge deutlich zu. Das Maximum tritt im Bereich unmittelbar nördlich des Sengsengebirges auf. Südlich, im Windischgarstner Becken sind die Werte wieder etwas geringer. Dies zeigt den großen Einfluß der Nordstaulagen auf die Niederschlagsverteilung. Auch die Zunahme der Niederschlagsmenge mit der Seehöhe und die höhere Gewitterhäufigkeit tragen zu diesem Effekt bei. Im Höhenbereich von 1000 bis 1500 m ist mit einem Niederschlagsgradienten von 75 mm/100 m zu rechnen.

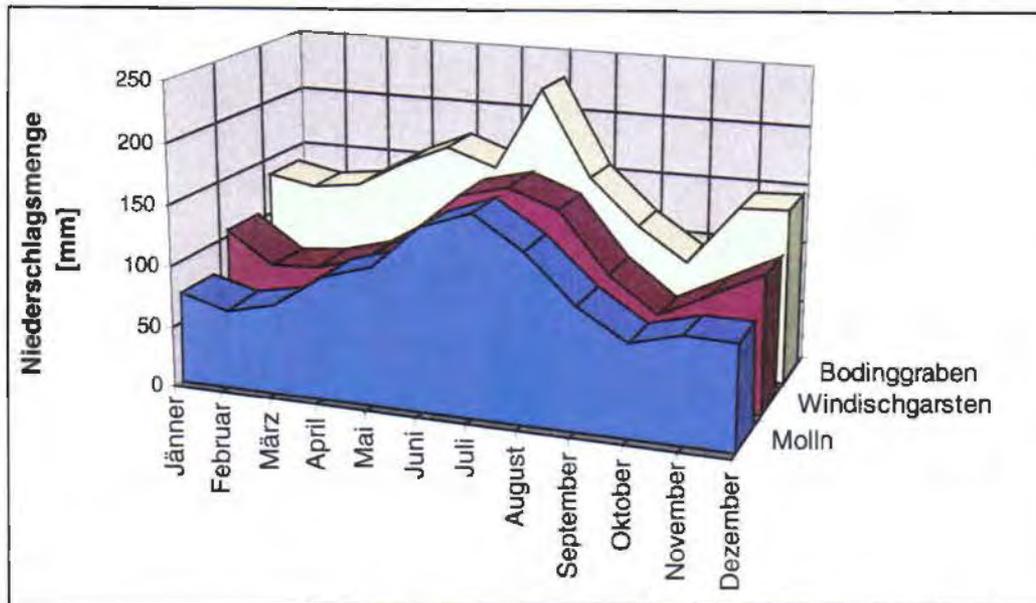


Abbildung 3-3: Durchschnittliche monatliche Niederschlagsmengen von 1971 bis 1990 der Stationen Molln, Bodinggraben, und Windischgarsten

In der Abbildung 3-3 zeigt sich deutlich die Zunahme der Niederschlagsmenge vom Alpenvorland (Molln) zu der im Nordstau liegende Meßstation Bodinggraben. Die im Lee des Sengsengebirge liegende Station Windischgarsten weist wieder geringere Werte auf.

Verweis: Langzeitreihen von Klimadaten sind bisher nur von Talstationen vorhanden.

### 3.2.3.3 Schneebedeckung

Im Alpenvorland liegt im Durchschnitt an 50 bis 60 Tagen im Jahr Schnee. Richtung Gebirge steigt die Dauer der mittleren Schneebedeckung und erreichten Schneehöhen an (Tabelle 3-2). In Höhen um 1000 m kann man innerhalb des Zeitraumes November bis April Schneebedeckung erwarten. In 1500 m Seehöhe verlängert sich der Zeitraum von Oktober bis Mai. Die größten Schneehöhen werden mit zunehmender Seehöhe immer später gemessen. Die Südhänge sind bei der Schneeschmelze deutlich begünstigt.

	Tage mit Schneedecke	Tage mit Neuschnee	Summe Neuschnee [cm]	mittlere max. Schneehöhe [cm]
Reichraming	60	27	130	34
Windischgarsten	99	37	240	60
St. Pankraz	93	38	275	63
Klaus	76	37	233	42
Molln	61	27	146	36

Tabelle 3-2: Anzahl der Tage mit Schneedecke und Neuschnee, Summe der Neuschneehöhen [cm] und mittlere maximale Schneehöhe [cm] an ausgewählten Stationen in der Nationalparkregion für den Zeitraum 1961 – 1990

#### 3.2.3.4 Wind

In freier, höher gelegenen Bereichen ist eine markante Dominanz der oft stürmischen West- und Nordwestwinde (über 50 % der Zeit) zu beobachten, die häufig mit Niederschlägen einhergehen. Ein sekundäres Maximum stellen die Südwinde mit etwa 15 % dar. Sie treten häufig im Zusammenhang mit warmen (föhnigen) Wetterphasen auf und können ebenfalls beachtliche Geschwindigkeiten erreichen. In Höhen unterhalb 1200 -1400 m treten bei diesen Wettersituationen meist Südostwinde auf. Wind aus Nord bis Ost ist in höheren Lagen selten. Die Häufigkeit von Windstille ist stark von der Geländeform und Exposition abhängig und dürfte einen Anteil von 10 bis 20 % der Zeit erreichen. In den Niederungen wird die Windrichtungsverteilung sehr stark durch die Talrichtungen geprägt.

#### 3.2.3.5 Bewölkung, Nebel, Sonnenschein und Strahlung

Im Winter sind aufgrund der häufigen Nebellagen höhere Bereiche durch vermehrten Strahlungsgenuß begünstigt. Im Sommer sind die Talbereiche aufgrund der an den Bergen bevorzugt entstehenden Quellwolken und dem Wolkenstau gegenüber höheren Lagen begünstigt. Dabei muß man den großen Geländeeinfluß (Exposition, Horizontüberhöhung) auf die effektiv mögliche Sonnenscheindauer berücksichtigen. In Summe erhalten die größeren Höhen jedoch mehr Sonnenstrahlung.

## 3.2.3.6 Luftfeuchtigkeit

Der maximal mögliche Wasserdampfgehalt einer Luftmasse ist von der Temperatur abhängig. Wie in Abbildung 3-4 ersichtlich, ist es in den Monaten März bis Oktober an der Station Windischgarsten durch den Temperaturanstieg um 14 Uhr gleichmäßig trockener als um 7 Uhr.

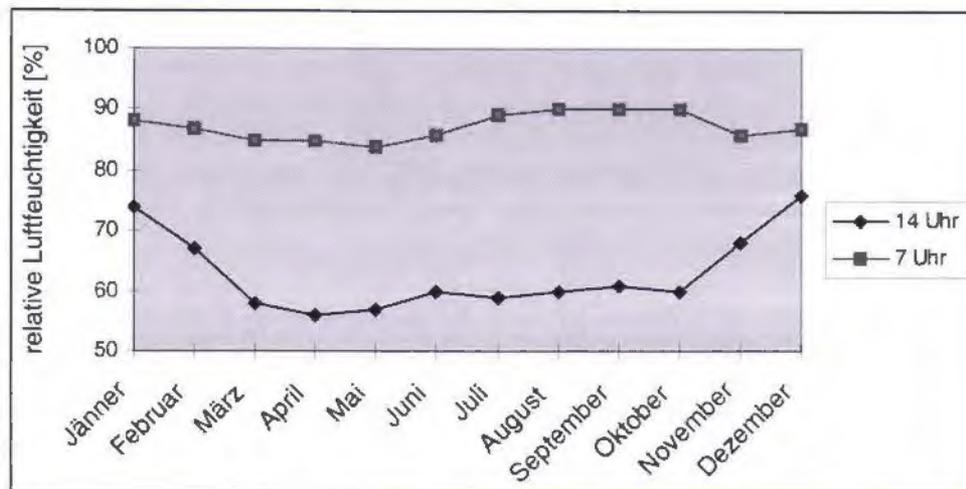


Abbildung 3-4: mittlere relative Luftfeuchtigkeit [%] um 7 Uhr und 14 Uhr in Windischgarsten im Zeitraum 1961 bis 1990.

In der nachfolgenden Tabelle 3-3 sind die Monatsmittelwerte der vorhandenen Meßstationen im Aufnahmegebiet gegenübergestellt. Die Werte von der Meßstation Feichtau sind ähnlich mit den Meßwerten vom Eiseneck.

relative Luftfeuchtigkeit [%]				
	1996	1996	1997	1997
	Steyernquelle	Feichtau	Eiseneck	Feichtau
Mai	80,2		73,2	
Juni	82,5		74,7	77,9
Juli	80,7	82,6	84,6	86,4
August	89,0	87,5	75,2	80,6
September	89,3	89,5	76,1	78,8
Oktober		80,3	77,9	77,2

Tabelle 3-3: Monatsmittelwerte der relativen Luftfeuchtigkeit in den Sommermonaten 1996 und 1997.

Hohe Luftfeuchtigkeiten, wie z. B. im September 1996 (Tabelle 3-3) haben durch das geringe Sättigungsdefizit der Luft Auswirkungen auf die Verdunstungsvorgänge.

### 3.2.4 Waldgesellschaften

Das Sengsengebirge liegt im nördlich-randalpinen Fichten-Tannen-Buchenwaldgebiet (Mayer, 1974). Es finden sich in dieser Region auffallend viele naturnah aufgebaute Waldgesellschaften. Bezeichnend für die sich oft kleinräumig ändernden Standortverhältnisse ist der große Artenreichtum in der Krautschicht, und teilweise auch in der Strauch und Baumschicht.

Durch die anthropogene Beeinflussung wird besonders in den niederen Lagen die natürliche Waldgesellschaft oft durch sekundäre Fichtenwälder verdrängt.

#### 3.2.4.1 Tief bis mittelmontane Stufe

In der tiefmontanen Stufe, die nach Müller (1977) zwischen 550 und 700 m liegt, entwickeln sich sehr wüchsige Buchenbestände. Die Buche hat in dieser Stufe die größte Konkurrenzkraft und bildet geschlossene Hallenbestände.

Die Wälder der anschließenden mittelmontanen Stufe, die bis 1200 m (Müller, 1977) reicht, sind meist Buchenwälder. Die Klimaxgesellschaft bildet die Assoziation des *Helleboro nigri-Fagetum Zukrigl 1973* (Mucina et al. (1993)). Sie besiedeln mittlere Standorte in allen Expositionen und Hanglagen, sofern die Böden entsprechend entwickelt und wenigstens frisch sind. Bestände auf tonreichen Böden weichen floristisch relativ deutlich ab und leiten zum *Asperulo Fagetum* über. Mit zunehmender Höhe sind die Bestände in variierenden Mischungsverhältnissen als Fichten-Tannen-Buchenwälder mit beigemischten Bergahornen, Eschen und Lärchen ausgebildet (*Helleboro-Abieti-Fagetum*). Diese ist im Untersuchungsgebiet die bedeutendste Waldgesellschaft, die sich infolge der mannigfaltigen Standorts- und Zustandsverhältnisse in zahlreiche Subassoziationen und Varianten gliedert.

#### 4.1.4.1 Hochmontane und subalpine Stufe

Ab der hochmontanen Stufe zeigt sich eine deutliche Veränderung des Unterwuchses von typischen Buchenwaldbegleitern hin zu Fichtenwaldarten und Hochstaudenfluren. Hier erreicht die Buche ihre obere Verbreitungsgrenze und zieht sich auf thermisch begünstigte Rendzinastandorte (Sonnenhänge) zurück. Sie wird gegenüber der Fichte, die ihren Verbrei-

tungsschwerpunkt im Bereich zwischen 1300 und 1450 m hat, zurückgedrängt wodurch es zur Ausbildung artenreicher Fichten- und Fichten-Tannenwälder kommt.

Bereits in der hochmontanen Stufe finden sich auf alpenmoderreichen Rücken und Kuppen Bestände, die in ihrem Aufbau subalpinen Fichtenwäldern ähnlich sind. Auf diesen Standorten sammelt sich unter reiner Fichtenbestockung Rohhumus, der für Buche und Tanne verjüngungshemmend wirkt.

In der subalpinen Stufe (ab 1450 m) werden die geschlossenen Wälder, darunter befinden sich auch natürliche Lärchengesellschaften, zunehmend durch Krummholz (Latschen) ersetzt.

### 3.3 Probeflächen

#### 3.3.1 Vorarbeiten

Es wurden fünf Probeflächen entlang eines Höhen-Transekts im Nordstau des Sengsengebirges auf Kalkstandorten ausgewählt:

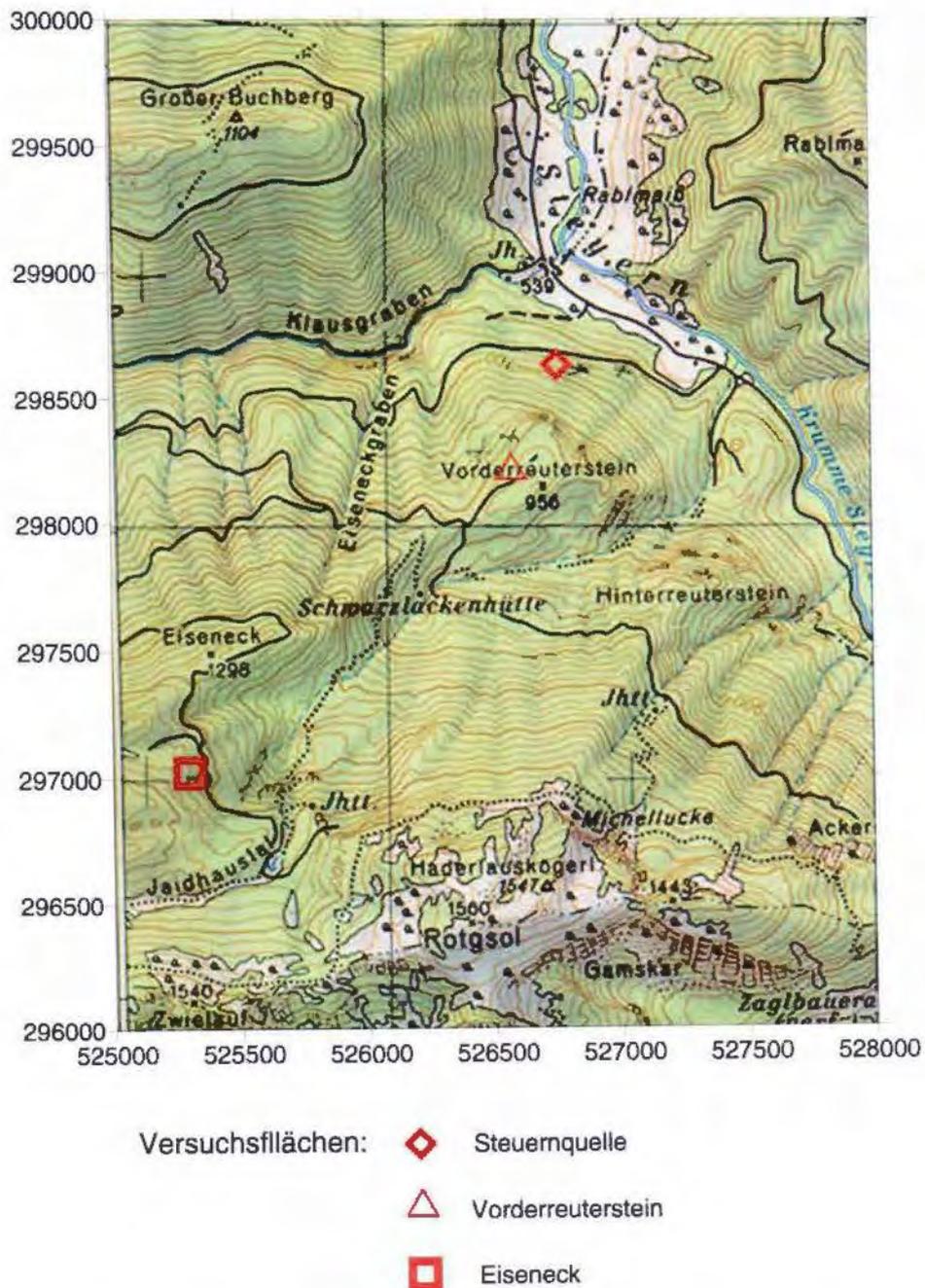


Abbildung 3-5: Kartenausschnitt aus der ÖK 50 mit der Lage der Versuchsflächen

- **Buchenfläche SR – Steyernquelle:** Buchenhallenbestand oberhalb der Steyernquelle (Rechtswert: 526750, Hochwert 298700)
- **Fichtenfläche VR – Vorderreuterstein:** Fichtenbestand mit eingesprengten Lärchen am Vorderreuterstein (Rechtswert: 526250, Hochwert 298250)
- **Fichtenfläche EE – Eiseneck:** Fichtenaltbestand mit Rottenstruktur am Eiseneck (Rechtswert: 525300, Hochwert 297050) und angrenzende, unterhalb einer Forststraße liegende
- **Schlagfläche EE – Eiseneck** und
- **Kulturfläche EE – Eiseneck** auf vergleichbaren Standortseinheiten

Die Probeflächen wurden mit einem Theodolith eingemessen und Flächen von ca 20 m \*20 m ausgesteckt. Auf diesen ungefähr 400 m<sup>2</sup> großen Flächen wurden folgenden Vorarbeiten durchgeführt:

- eine ertrags- und vegetationskundliche Vollaufnahme;
- Die Testflächen wurden nach modifizierten Kriterien der Naturrauminventur Nationalpark Kalkalpen (Eckmüller et al., 1994) beschrieben. Die Ergebnisse dieser Aufnahmen und die vegetationskundlichen Daten sind im Anhang ersichtlich.
- Je Fläche wurden 15 Humusproben geworben, der Humustyp bestimmt und im Labor für weiterführende Analysen untersucht. Auf der Fichtenfläche VR wurden anhand von 15 Bodenproben von einem Stechzylinder und auf der Buchenfläche von drei Profilgruben der Bodentyp bestimmt und die geworbenen Proben ebenfalls im Labor untersucht.
- Auf den Flächen wurden die unter Kapitel 3.3.3 näher beschriebenen Meßinstrumente für die eigentliche Wasserhaushaltsuntersuchung in der gewählten Versuchsanordnung (siehe Kapitel 3.3.3.5) etabliert.
- Erhebung der Blattflächenindizes: Die Blattflächenindizes der Bestände wurden mit dem LICOR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer gemessen.

### 3.3.2 Beschreibung der Probeflächen

#### 3.3.2.1 Buchenfläche SR – Steyernquelle

Die Fläche liegt auf einem frischen nordexponierten Mittelhang in einer Seehöhe von 680 m. Die Hangneigung beträgt 55 %.

Die Geologie der Probefläche ist durch Hangkolluvien mit den oberhalb der Probefläche vorkommenden Wettersteinkalk geprägt.

Humustyp: **Mullhumus**

Es wurde 15 Humusproben geworben. Die Auflage ist zweigliedrig, die Mächtigkeit der L-Auflage schwankt stark von 0,5 bis 4 cm, die Lagerung ist locker bis plattig (Laub des Vorjahres). Der Übergang zum untergelagerten Mineralbodenhorizont erfolgt allmählich und ist oft taschenförmig ausgebildet.

Boden:

Der Boden wurde anhand von 3 Profilgruben und 3 Bohrkernen näher untersucht. Die Gründigkeit schwankt zwischen 35 und 70 cm, der Skelettanteil zwischen 20 und 50 %, wobei im Übergangsbereich  $B_{vrel}/C$  Werte bis zu 85 % geschätzt wurden.

Horizontfolge:

Profil 1:	Profil 2:	Profil 3:
0 -5 cm $A_{hb}$	0 -8 cm $A_{hb}$	0 -5 cm $A_{hb}$
-30 cm $B_{vrel}$	-25 cm $B_{vrel}$	-35 cm $B_{vrel}$
-50 cm $B_{vrel}/C$	-35 cm $B_{vrel}/C$	-45 cm $B_{vrel}/C$

Als Bodentyp tritt **Brannlehm bis leicht psendovergleyter Braunlehm** auf. Bedingt durch die kolluviale Durchmischung kommen auch Übergangsformen **zwischen Braunlehm und Braunlehmrendzinen** vor. Der  $A_{hb}$  ist sehr gut durchwurzelt und von der Struktur krümelig. Der Übergangsbereich von  $A_{hb}$  zu  $B_{vrel}$  ist allmählich übergehend und humos eingefärbt. Der  $B_{vrel}$  zeigt eine ausgeprägte Polyederstruktur mit Sekundäraggregaten von 3 bis 5 cm und vereinzelte Konkretionen. Die Bodenart ist toniger Lehm.

Waldgesellschaft:

**Asperulo odorate- Fagetum (Waldmeister- Buchenwald)**

Vegetation:

Es stockt ein einschichtiger geschlossener Buchenhallenbestand mit einzelnen Eschen, Bergahorn und Bergulmen. Die Gesamtdeckung der Baumschichten wurde mit 95 % geschätzt.

LAI- Index (Mittelwert): 4,74

Ertragskundliche Daten:

<b>Bonität 8 Buche Braunschweig</b>						
	Oberhöhe [m]	Stammzahl [Stück]	Grundfläche [m <sup>2</sup> ]	Bestockungsgrad [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	Formzahl	Vorrat [vfmD]
lt.Ertragstafel		214	37,0		0,501	448
Probefläche	33,5	342	31,1	0,84		492

Tabelle 3-4: Ertragskundliche Daten der Buchenfläche SR

Bodenvegetation:

Es ist nur eine spärliche und artenarme Bodenvegetation vorhanden. Die Deckung der Krautschicht beträgt weniger als 1%. Typische Arten sind etwa *Galium oderatum* oder *Lamium galeobdalon*.

Nach dem Buchenmastjahr 1995 keimten im Frühjahr auf ca. 80 % der Fläche Keimlinge, die aber im Herbst bereits ausgedunkelt waren.

### 3.3.2.2 Fichtenfläche VR – Vorderreuterstein

Diese Fläche befindet sich in 940 m Seehöhe auf einem mittelsteilen (32 %), frischen nordwestexponierten Mittelhang, ungefähr 100 Höhenmeter unterhalb einer Kuppe. Durch diese Lage ist sie den vorherrschenden Winden aus W bis NW besonders ausgesetzt.

Wettersteinkalk und Mergeleinlagerungen prägen neben vorhandenen Hangkolluvien die Geologie dieser Versuchsfläche. Ein Teil dieser Fläche befindet sie sich auf einem alten, aber noch gut erkennbaren Rutschkörper.

Humustyp: **moderartiger Mull bis mullartigen Moder**

Eine Dreigliederung (L-, F- und H-Horizont) der nur geringmächtigen Auflage konnte bei allen Humusproben festgestellt werden. Die Mächtigkeit des H-Horizonts ist gering und

schwankt zwischen 0 und 5 mm. Der bis zu 2 cm mächtige Grobmoder ist meist deutlich verklebt.

Boden:

Durch die eingelagerte Mergelschicht auf Teilen der Versuchsfläche kommt es zu einer großen Heterogenität der auftretenden Bodentypen. Es treten **alle Übergangsformen vom typischen, gut durchwurzelten Braunlehm**, mit deutlicher Polyederstruktur, **bis zum ausgeprägten Hangpseudogley** mit fahler Stauzone und marmoriertem Staukörper auf.

Die Gründigkeit schwankt in einem weiten Bereich von 40 bis zu 95 cm, der Skelettanteil ist mit 10 % bis 15 % gering.

Waldgesellschaft:

### **Asperulo odorate- Abieti-Fagetum (Waldmeister- Fichten-Tannen-Buchenwald)**

Vegetation:

Aktuell stockt ein etwa 95 jähriger sekundärer Fichtenwald mit eingesprengten Lärchen. Nach einer Durchforstung 1994 beträgt die Deckung der Baumschicht geschätzte 65 %.

LAI- Index (Mittelwert): 3,14 (korrigierter Wert, siehe Anhang)

Ertragskundliche Daten:

<b>Bonität 10,5 Fichte Hochgebirge</b>						
	Oberhöhe [m]	Stammzahl [Stück]	Grundfläche [m <sup>2</sup> ]	Bestockungsgrad [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	Formzahl	Vorrat [vfmD]
lt.Ertragstafel		<b>650</b>	<b>59,3</b>		<b>0,448</b>	<b>817</b>
Probefläche	<b>31,3</b>	<b>499</b>	<b>62,4</b>	<b>1,06</b>		<b>791</b>

Tabelle 3-5: Ertragskundliche Daten der Fichtenfläche VR

Bodenvegetation:

Die Bodenvegetation ist durch das Auftreten einiger anspruchsvollen Arten wie *Viola sp.*, *Sanicula euroaea* und *Galium oderatum* gekennzeichnet. *Oxalis acetosella* und *Athyrium filix femina* zeigen eine gewisse Oberbodenversauerung durch die Nadelstreu. *Carex remota* zeigt stärkere Hangpseudovergleyung.

Die Deckung der Krautschicht, bei 14 vorgefundenen Arten, ist nur gering (3%).

### 3.3.2.3 Fichtenfläche EE – Eiseneck

Diese stark verkarstete und dadurch hohen Felsanteil von 40 % aufweisende, südostexponierte mäßig frische Fläche liegt in einer Seehöhe von 1320 m. Die Hangneigung beträgt 50 %.

Die Versuchsflächen am Eiseneck werden von Hirlatzkalk aufgebaut. Dieser Liaskalk fällt durch seine rötliche Färbung im Gelände auf. Er kommt hauptsächlich in reiner Form vor und neigt stark zur Verkarstung. Es zeigen sich ausgeprägte Karstformen wie Karren, Karstgassen, Dolinen und Schächte. (Der 12 m tiefe 'Nadelöhrschacht' liegt in der Fichtenfläche EE).

#### Humus: **Alpenmoder**

Bei den meisten Humusproben wurde der typische Alpenmoder, mit einer mächtigen, lockeren, meist bis zum Grundgestein reichenden Feinmoderschicht vorgefunden. Es traten jedoch Unterschiede hinsichtlich

- Mächtigkeit 1,5 bis über 50 cm, im Durchschnitt 13 cm
- Masse (ofentrocken) 3,5 kg/m<sup>2</sup> bis 29,9 kg/m<sup>2</sup> im Durchschnitt 8,3 kg/m<sup>2</sup>
- Lagerung: von extrem lockerer und vermischter L-,F und H- Schichte bis zu plattigen L- und F- und sehr kompakten H- Schichte
- Farbe: von schwarz (und schmierig) bis braun

auf.

#### Boden:

Es treten **Alpenmoderrendzinen** auf, wobei in der Regel kein Mineralboden vorhanden ist. Nur auf wenigen, von der Oberflächenform und der Bestockung begünstigten, Stellen treten seichtgründige Mineralbodenhorizonte auf. Bei einer Bodenprobe wurde im spaltengründigen und skelettreichen Untergrund Braunlehm vorgefunden.

#### Waldgesellschaft:

##### **Adenostylo glabrae Piceetum (Subalpiner Karbonat-Alpendost-Fichtenwald)**

#### Vegetation:

Auf der stark verkarsteten Fläche ist eine deutliche Rottenstruktur aus ungleichalten Fichten erkennbar. Buche kommt nur mehr eingesprengt vor. Die Gesamtdeckung wurde mit 40 %, wobei die 1. Baumschicht 30 % beträgt, geschätzt.

LAI- Index (Mittelwert): 3,59 (durch die lückige Bestandsstruktur ist der Wert eher unterschätzt)

Ertragskundliche Daten:

<b>Bonität 5,7 Fichte Hochgebirge</b>						
	Oberhöhe [m]	Stammzahl [Stück]	Grundfläche [m <sup>2</sup> ]	Bestockungsgrad [m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> ]	Formzahl	Vorrat [vfmD]
lt. Ertragstafel		<b>636</b>	<b>50,6</b>			<b>485</b>
Probefläche	<b>26,5</b>	<b>620</b>	<b>48,1</b>	<b>0,95</b>	<b>0,446</b>	<b>529</b>

Tabelle 3-6: Ertragskundliche Daten der Fichtenfläche EE

Bodenvegetation:

Durch die unterschiedlichen Oberflächenstruktur und der Rottensruktur der Fichte ergibt sich eine sehr heterogene Artenkombination der krautigen Pflanzen, die ca 20 % Bodendeckung erreicht. Es treten typische Fichtenwaldarten, die den sauren Charakter des Auflagehumus zeigen, (*Homogyne alpina*, *Vaccinium myrtillus*, *Lycopodium annotinum*), Kalkschuttzeiger (*Valeriana tripteris*, *Adenostyles glabra*), Trockenzeiger (*Betonica alopecuros*, *Carduus defloratus*) und Rasenelemente (*Deschampsia cespitosa*, *Calamagrostis varia*) gemeinsam auf.

Geschätzte Anteile an der Bodenbedeckung:

Holzgewächse < 1,3 m:	<3 %
Kräuter:	10 %
Gräser:	5 %
Farne:	<3 %

### 3.3.2.4 Schlagfläche EE – Eiseneck

Diese im Frühjahr 1996 genutzte, ebenfalls stark verkarstete und an den Bestand angrenzende Fläche ist ostexponiert, mäßig frisch und liegt auf 1280 m Seehöhe. Der Felsanteil des anstehenden Hirlatzkalkes beträgt ungefähr 20 %. Die Hangneigung der Fläche beträgt 15%.

Humus: **Alpenmoder**

Es wurde ebenfalls meist der typische Alpenmoder vorgefunden; die kleinräumigen Unterschiede hinsichtlich Mächtigkeit, Lagerung und Farbe waren jedoch weniger ausgeprägt wie im Altbestand.

Boden:

Es treten wiederum **Alpenmoderrendzinen** auf; meist ist jedoch kein Mineralboden vorhanden, die Humusaufgabe reicht bis zum Grundgestein.

Waldgesellschaft:

**Adenostylo glabrae Piceetum (Subalpiner Karbonat-Alpendost-Fichtenwald)**

Vegetation:

Im Frühjahr 1996 erfolgte eine Endnutzung in Form eines Kleinkahlschlages.

LAI- Index (Mittelwert): 0

Bodenvegetation:

Die Vegetation ist sehr spärlich (<3 % Bodenbedeckung), bzw. in der Vegetationsperiode 1997 erschienen bereits die ersten Störungszeiger (*Urtica dioica*, *Rubus idaeus*) und der Deckungsgrad stieg auf ~5%.

### 3.3.2.5 Kulturfläche EE – Eiseneck

Diese direkt an die Schlagfläche nördlich angrenzende, etwas steilere Fläche (Hangneigung 25 %) wurde vor ungefähr 20 Jahren genutzt und mit Fichte und Lärche kultiviert.

Humus: **‘aktiver Alpenmoder’**

Es ist eine Umwandlung von der früher, im Bestand vorhandenen mächtigen Feinmoderschicht in einen ‘Mullhumustyp’ ersichtlich. Der jetzige, meist von der Schlagvegetation, leicht zersetzbare Auflagehumus wird rasch abgebaut. Die Feinmoderschicht ist bereits stark durchwurzelt und relativ locker. Die Struktur ist durch biologische Aktivität krümelig und humos eingefärbt.

Boden:

**OC/AC Böden**

Durch die Umwandlung laufende Vermischung der gespeicherten Humusaufgabe, ist eine Trennung zwischen mineralischen und organischen Material erschwert.

In Spalten des Grundgesteins wurden bei zwei Bodenproben Braunlehm vorgefunden.

Die Gründigkeit schwankt auf diesen Standort wegen des hohen Skelettanteils zwischen 7 und 50 cm.

Waldgesellschaft:

**Adenostylo glabrae Piceetum (Subalpiner Karbonat-Alpendost-Fichtenwald)**

Vegetation:

Die aktuelle Bestockung ist ein sehr lockerer Kulturverband mit 60 % Fichte und 40 % Lärche, die eine Höhe bis 5m erreichen. Die Gesamtdeckung der Strauchschicht auf Bodenniveau beträgt nur etwa 25%.

LAI- Index (Mittelwert) in 1m Höhe: 0,07

Bodenvegetation:

Es hat sich eine gut ausgebildete, typische Schlagflora ( *Calamagrostis varia*, *Urtica dioica*, *Rubus idaeus...*), mit etwa 80 % Bodenbedeckung entwickelt.

Geschätzte Anteile an der Bodenbedeckung:

Holzgewächse <1,3 m:	<3 %
Rubusarten:	40 %
Kräuter:	10 %
Gräser:	30 %
Farne:	5 %

LAI- Index (Mittelwert) auf Bodenniveau: 1,50

### 3.3.3 Instrumentierung und Versuchsanordnung

#### 3.3.3.1 Freilandniederschlagssammler

Bei der Auswahl der Meßpunkte wurde darauf Rücksicht genommen, daß je ein Sammler auf einer Freifläche in unmittelbarer Nähe zu den Untersuchungsflächen etabliert wurde und keine Beeinflussung der Niederschlagsdaten durch die Bestände erfolgen konnte.

Es wurden 2 Sammlertypen eingesetzt, um bei Geräteausfall 'Alternativdaten' zu besitzen:

- hochauflösende Rain-Logger der Firma Bogner & Lehner OEG. Eine Niederschlagsmessung erfolgte alle 10 Minuten, wobei die Anzahl der Zählimpulse eines Meßlöffels automatisch gespeichert wurden.
- Bulk-Sammler aus Polyethylen (modifizierte LÖLF-Sammler; Glatzel, 1983) mit einer Auffangfläche von 240 cm<sup>2</sup>.

Es wurden drei Aufstellungsorte gewählt: Steyernquelle; Vorderreuterstein und Eiseneck. Die Niederschlagssammler am Eiseneck lieferten die Bezugswerte für die Fichtenfläche EE, Schlagfläche EE und Kulturfläche EE.

### 3.3.3.2 Meßrinnen

Da die Niederschlagsverteilung in Waldbeständen bei weitem ungleichmäßiger als auf der Freifläche ist, ist eine größere Anzahl von Sammeleinrichtungen, und eine möglichst große Auffangfläche zur Errechnung eines möglichst exakten Mittelwertes nötig.

Zu diesen Zweck wurden für diese Untersuchung Niederschlagsmeßrinnen in Anlehnung an die DVWK (Merkblätter 211/ 1986) konstruiert. Die Meßrinnen haben eine Auffangfläche von 0,1 m<sup>2</sup> (0,1m \*1m) wobei 2 Typen zum Einsatz kamen:

- 18 cm *hohe* Rinnen, die in einer Höhe von 1m über den Boden montiert wurden. Sie dienten zur Erfassung des Kronendurchlasses.
- 8 cm *niedere* Rinnen, die unmittelbar über den Erdboden montiert wurden, um den Niederschlagsrückhalt der Schlagflora zu erfassen.

Auf der Buchenfläche SR, Fichtenfläche VR, Fichtenfläche EE und Kulturfläche EE wurden je 10 *hohe* Meßrinnen etabliert. Jeweils 5 Rinnen wurden in gleichmäßigen Abständen von 1m auf einem Linientransekt in Fallinie und 5 Rinnen entsprechend in Schichtenlinie etabliert.

- Auf der Schlagfläche EE wurden 5 hohe Meßrinnen aufgestellt, um die Sammelrepräsentanz der Rinnen und der Bulk-Sammler anhand des Freilandniederschlages zu überprüfen.
- 10 *niedere* Meßrinnen wurden auf der Kulturfläche EE im gleichem Aufstellungschema wie die *hohen* Rinnen unmittelbar über den Boden etabliert.

### 3.3.3.3 Stammabflußsammler

Da bei der Buche ein relativ großer Anteil des Niederschlages direkt entlang des Stammes abgeleitet wird, ist bei dieser Baumart eine zusätzliche Erfassung dieser Komponente nötig. Zu diesem Zweck wurden auf der Buchenfläche an fünf Buchen unterschiedlicher sozialer Stellung Neoprenmanschetten installiert und der Stammabfluß in PE-Tonnen (2 kaskadenartig hintereinander geschaltete Tonnen a 130 l) aufgefangen (nach Glatzel, 1983).

### 3.3.3.4 Lysimeter

Für diese Untersuchung wurden 3 verschiedene Lysimetertypen hergestellt und verwendet. Zur Abschätzung der Streuinterzeption wurden *Keramiksaugplattenlysimeter* (Keramikscheibe: Soilmoisture Equipment Corp.) an der Grenze Auflagehumus - Mineralboden in möglichst waagrechter Lage eingebracht und ein kontinuierlicher Unterdruck von 0,1 bar angelegt (Detailbeschreibung siehe Katzensteiner, 1995). Von diesem Typus kamen auf allen Probeflächen je 5 Stück zum Einsatz. Beim Einbau der Lysimeter wurden folgende Merkmale zusätzlich festgehalten:

- Lage des Plattenlysimeters ( z.B. in einer Mulde, oder im Einflußbereich eines Stammabflusses
- Vegetation über dem Plattenlysimeter
- Neigung des Plattenlysimeters

Aus diesen zusätzlichen Parametern sollten etwaige Anomalien der aufgefangenen Sickerwassermengen erklärt werden.

Zum Mengenvergleich wurden 1996 zusätzlich *freidränende Lysimeter* an der Grenze Auflagehumus - Mineralboden etabliert. Diese Anordnung brachte aus folgenden Gründen nicht den gewünschten Erfolg:

- der Feinmoder verstopfte die Gitter und Schläuche;
- Durch das Massenaufreten von Mäusen 1996 wurden immer wieder die Gitter und Schläuche durch Mäusefraß beschädigt. Abhilfe für dieses Problem schafften erst Aluflexschläuche, die als Schutz über die PE-Schläuche gezogen wurden.

Modifizierter *Kerzenlysimeter* kamen für weiterführende chemische Bodenwasseruntersuchungen auf der Buchenfläche SR und Fichtenfläche VR zum Einsatz.

#### Probleme:

Die Messung der Streuinterzeption im Gelände mit einer Kleinlysimeteranlage ist, wie auch aus der Literatur zu entnehmen ist, mit mehreren Problemen verbunden. Dies kann durch die eigenen Erfahrungen bestätigt werden.

Das größte Problem bei der Messung war die Dichtheit der Anlage. Durch Mäusefraß und andere, oft nicht eindeutig erkennbare Störeinflüsse wurde der Unterdruck des Systems einige Male zerstört.

Ein Problem war der nicht immer mögliche horizontale Einbau der Plattenlysimeter. Durch die Neigung der Plattenlysimeter könnte bei großen Niederschlagsmengen ein Teil des ankommenden Wassers über die Keramikscheibe abgeronnen sein, bevor es vom Lysimeter aufgesaugt werden konnte.

Ein weiteres Problem ist das in den unterschiedlich langen Schlauchleitungen gespeicherte Sickerwasser. Durch den Probenahmeturnus bedingt, kann es zu 'Memoryeffekten' kommen und die Zuweisung der Sickerwassermengen zu einem Sammelturnus erschweren.

#### 3.3.3.5 Versuchsanordnung im Gelände

Die folgenden Abbildungen zeigen die genaue Versuchsanordnung und Bestandesstruktur im Gelände.

# Buchenfläche SR - Steyernquelle

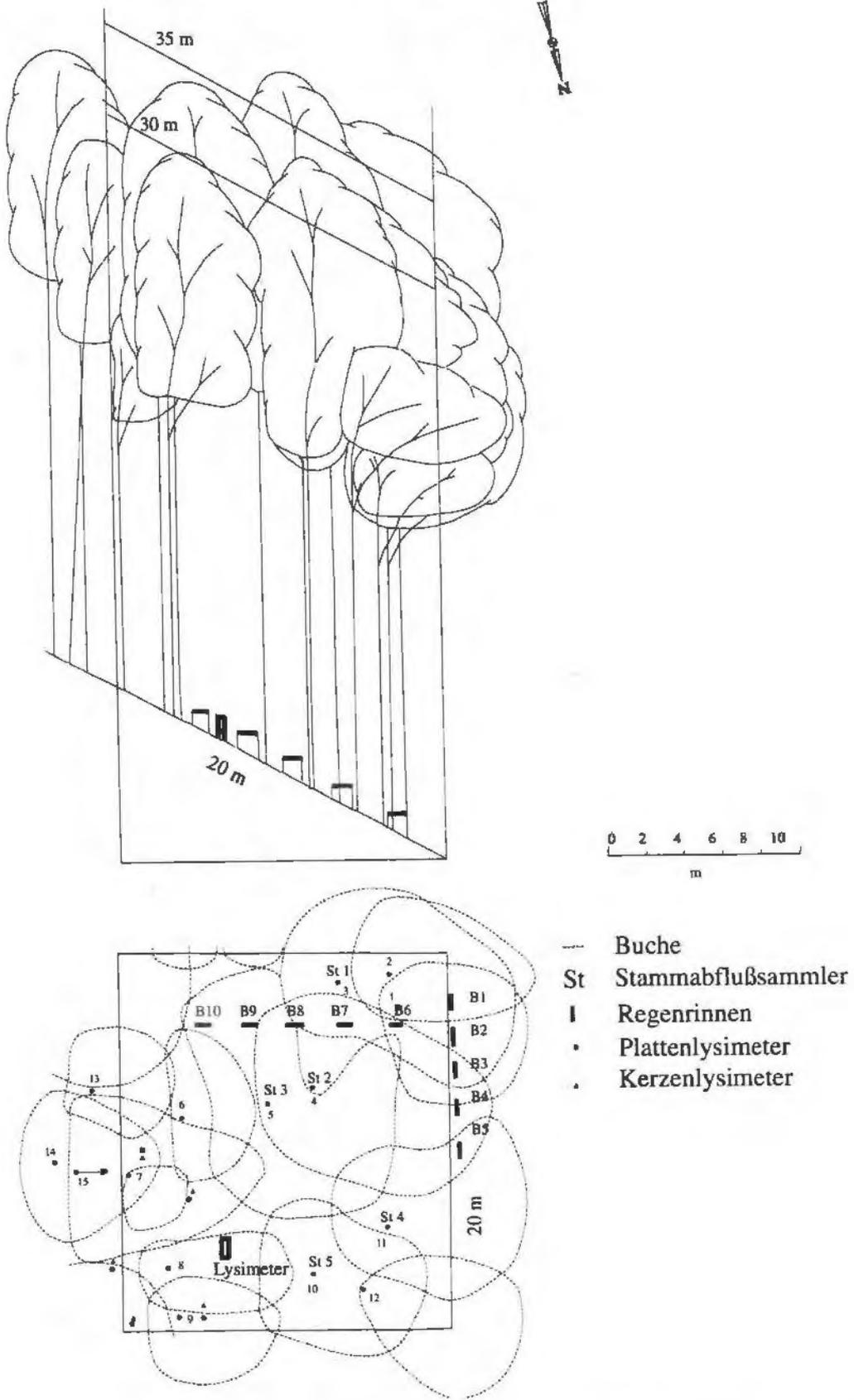
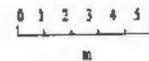
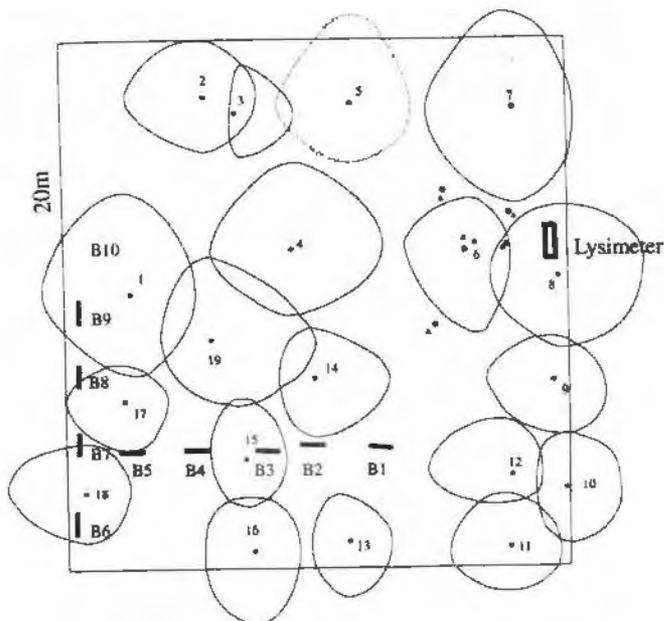
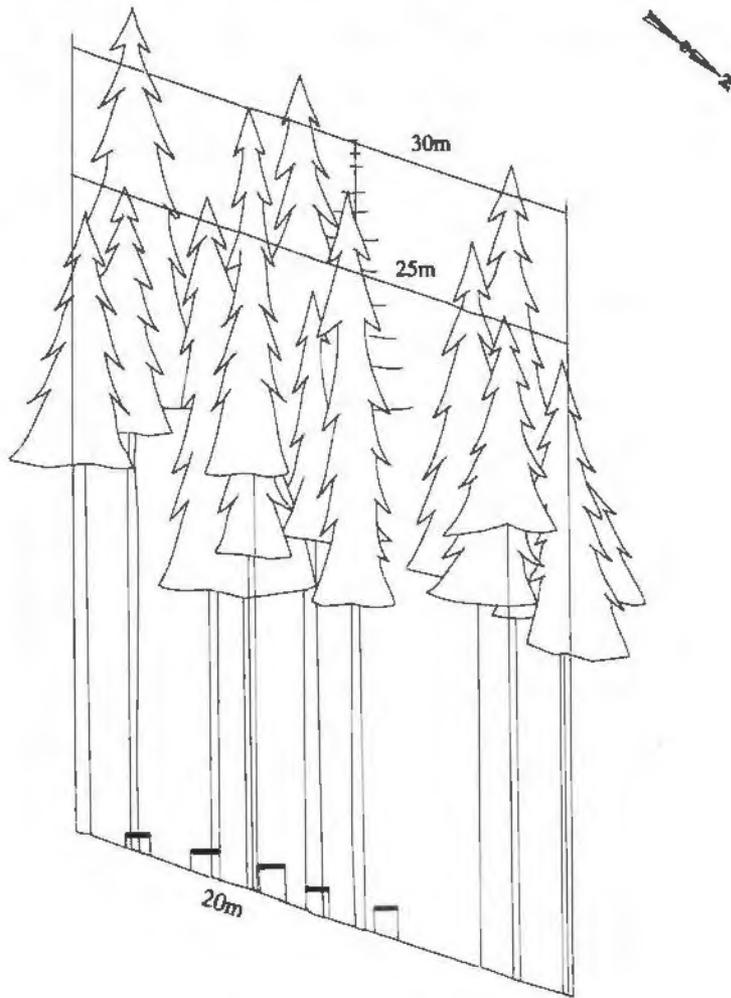


Abbildung 3-6: Bestandsgrund- und Aufriß und Instrumentierung der Probestfläche Buchenfläche SR - Steyernquelle

# Fichtenfläche VR - Vorderreuterstein



- Fichte
- Lärche
- | Regenrinnen
- Plattenlysimeter
- Kerzenlysimeter

Abbildung 3-7: Bestandsgrund- und Aufriß und Instrumentierung der Probefläche Fichtenfläche VR - Vorderreuterstein

# Fichtenfläche EE - Eiseneck

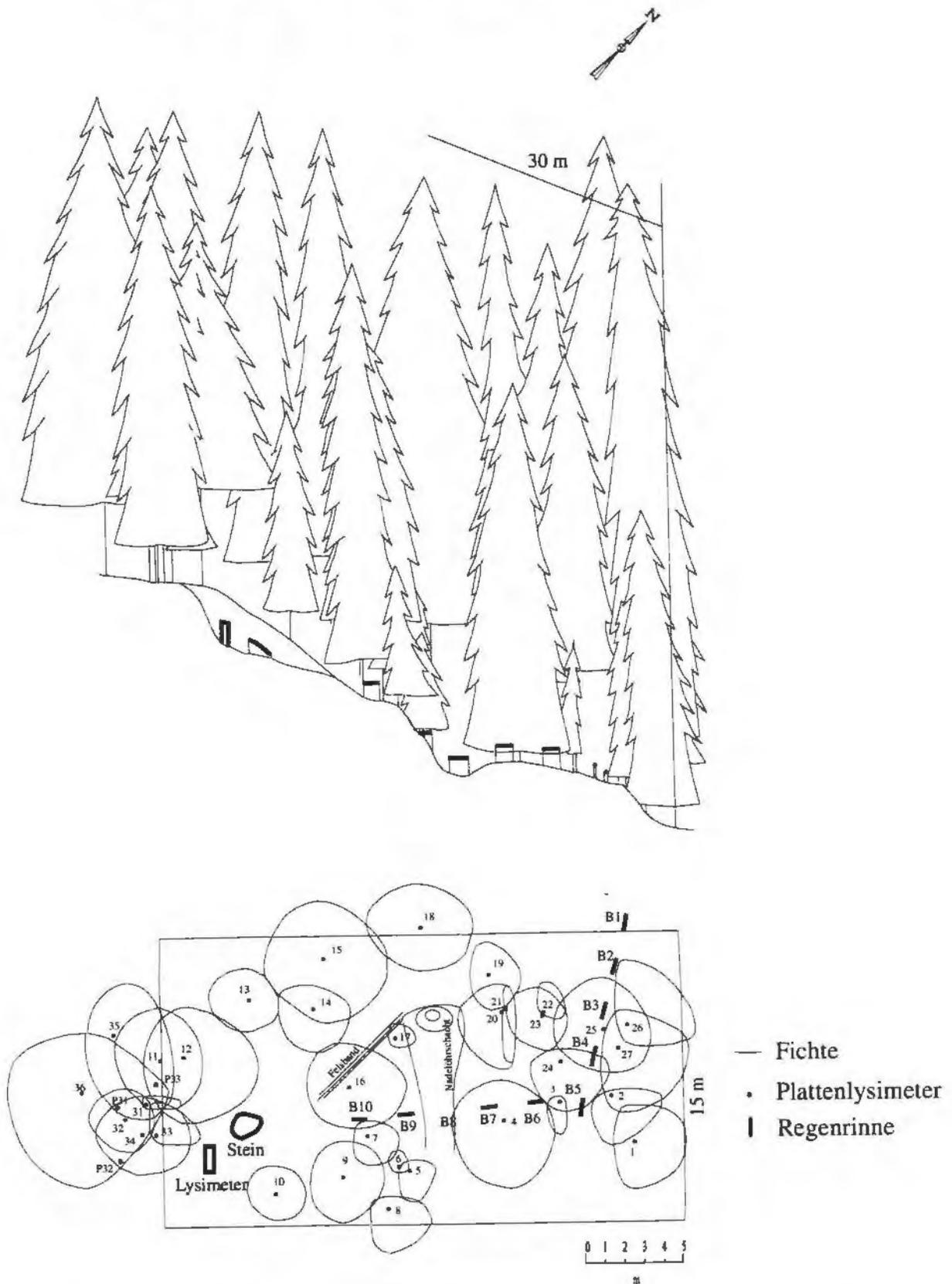
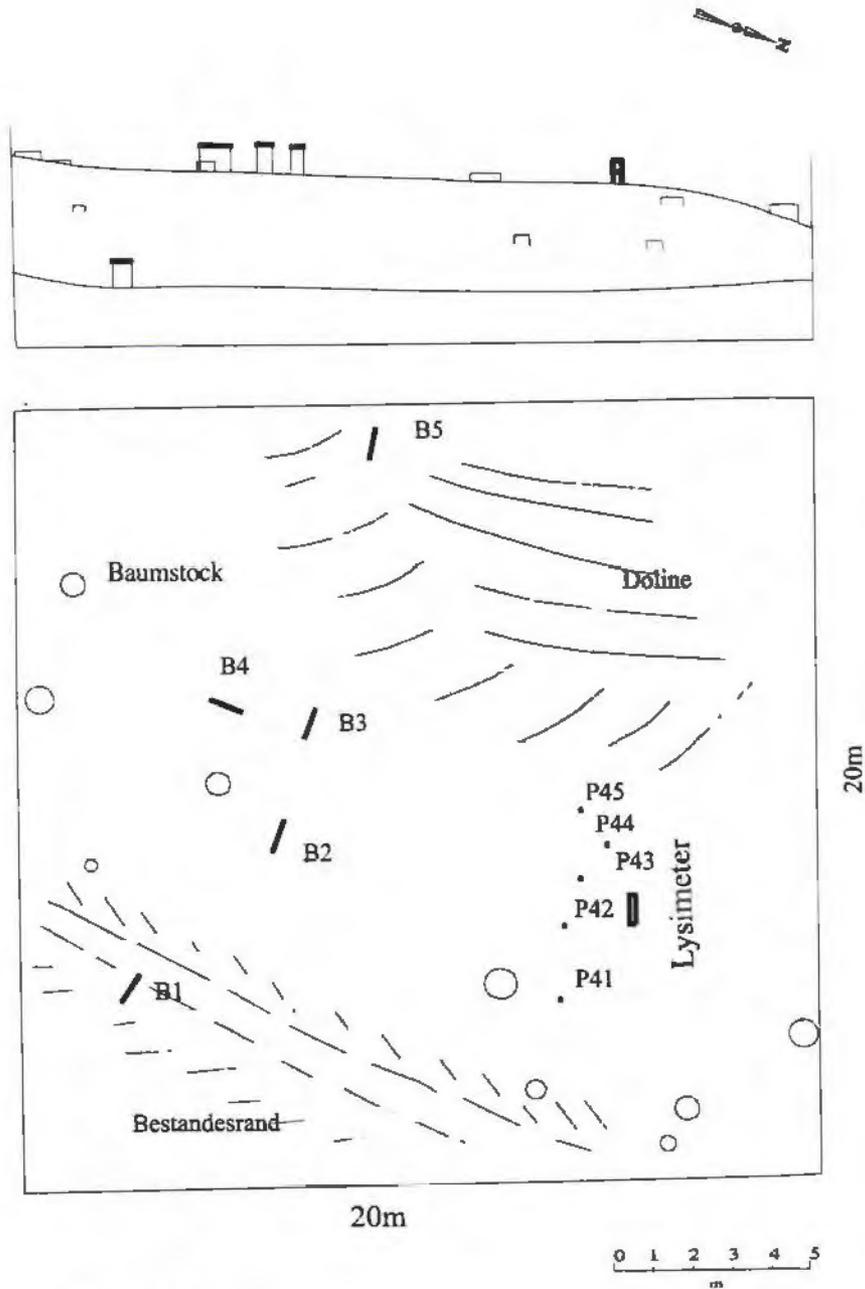


Abbildung 3-8: Bestandsgrund- und Aufriß und Instrumentierung der Probestfläche Fichtenfläche EE - Eiseneck

## Schlagfläche EE - Eiseneck



- Plattenlysimeter
- | Regenrinne

Abbildung 3-9: Bestandsgrund- und Aufriß und Instrumentierung der Probestfläche Schlagfläche EE - Eiseneck

## Kulturfläche EE - Eiseneck

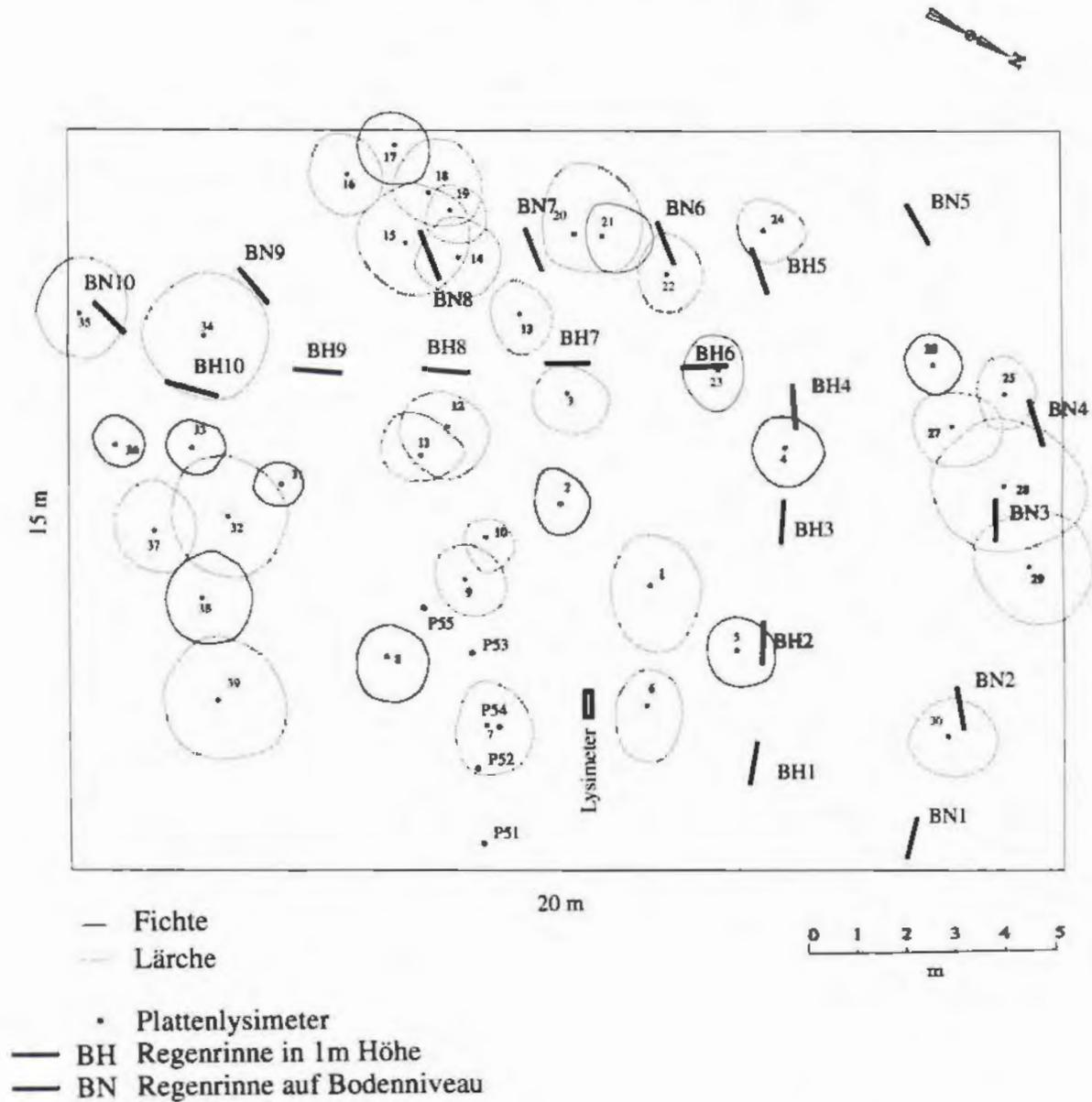


Abbildung 3-10: Bestandsgrundi und Instrumentierung der Probefläche Kulturfläche EE - Eiseneck

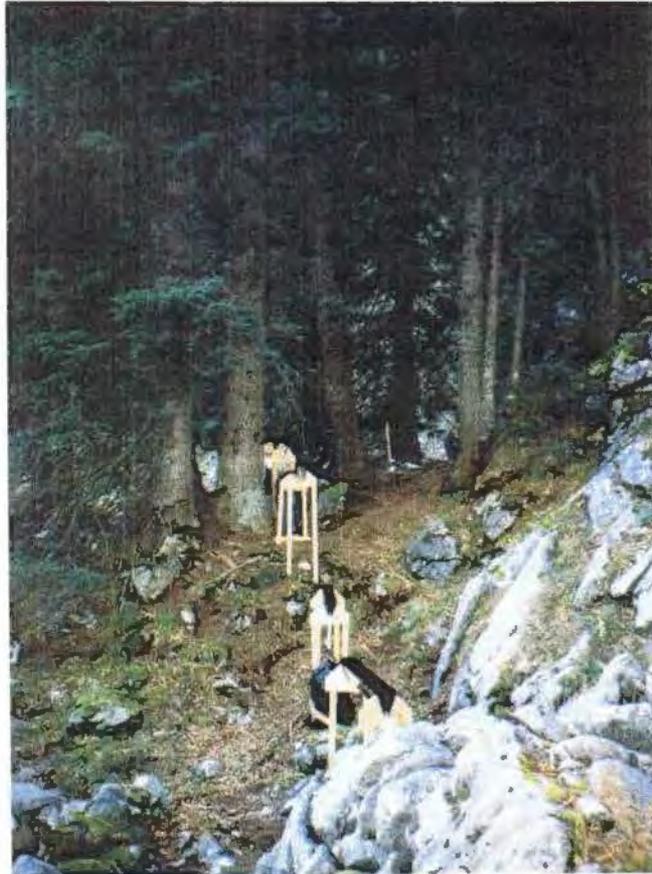


Abbildung 3-11: Teilansicht der Probefläche Fichtenfläche EE - Eiseneck



Abbildung 3-12: Teilansicht der Probefläche Schlagfläche EE – Eiseneck

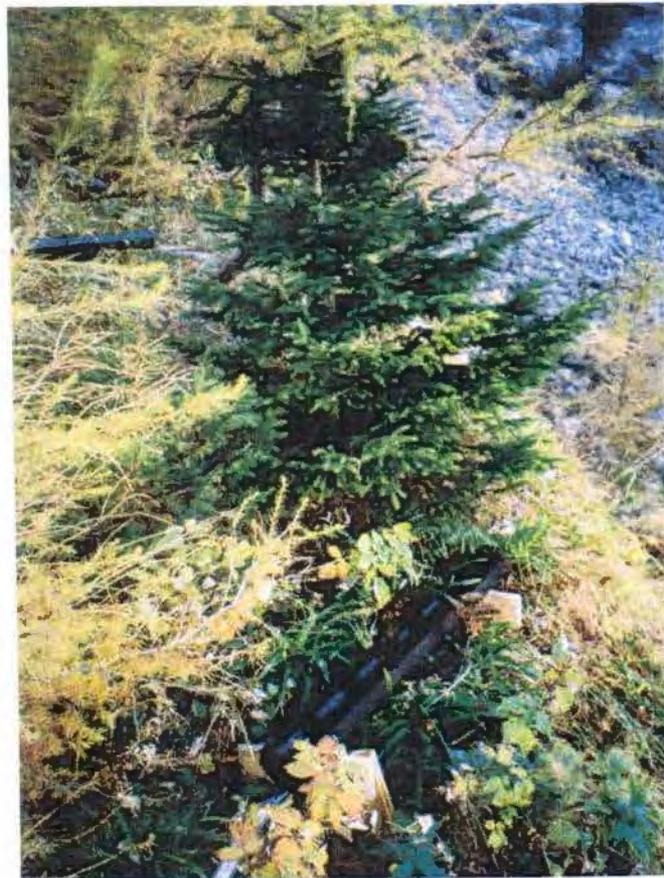


Abbildung 3-13: *hohe Rinne* in 1m Höhe (oben) und *niedere Rinne* auf Bodenniveau auf der Probefläche Kulturfläche EE – Eiseneck

### **3.4 Probenahme**

Die Probenahme der Niederschläge, Kronendurchlässe, Sickerwässer und Stammabflüsse erfolgte über 2 Vegetationsperioden in wöchentlichen Abständen. Je nach Niederschlagsmenge und Anzahl der Probewerber wurden 1 oder 2 Tage dazu benötigt. 1996 wurden von Ende Juni bis Ende Oktober 18 Turnusse, 1997 von Ende Mai bis Ende Oktober 23 Probenahmen durchgeführt.

Die Mengenregistrierung der einzelnen Kompartimente erfolgte geräteweise (jede Meßrinne, jeder Lysimeter bzw. jeder Stammabflußsammler). Es wurden aliquote Anteile zu Mischproben für weiterführende chemische Analysen vereinigt.

### **3.5 Auswertung**

#### **3.5.1 Ertragskundliche Daten**

Aus den Vollaufnahmen der Probeflächen wurde der Oberhöhenstamm berechnet.

Bei der Buchenfläche SR erfolgte eine Bonitierung mittels der Ertragstafel Buche Braunschweig. Zur Bonitierung der Fichtenflächen VR und EE wurde die Ertragstafel Fichte Hochgebirge verwendet.

#### **3.5.2 Vegetationskundliche Daten**

Die Vegetation der Testfläche wurde nach modifizierten Kriterien der Naturrauminventur Nationalpark Kalkalpen (Eckmüller et al., 1994) beschrieben, die Artennamen nach der Nomenklatur Adler/Oswald/Fischer (1994) bezeichnet.

#### **3.5.3 Bestimmung des Blattflächenindex (LAI Index)**

Aufgrund des engen Zusammenhanges zwischen Lichtinterzeption einer Vegetationsdecke und ihrem Blattflächenindex (LAI) kann dieser errechnet werden. Dazu mißt der Sensor des LICOR LAI-2000 Plant Canopy Analyzer die Strahlungsintensität im Spektralbereich < 490 nm. Bei diesen Messungen wird der LAI Index generell und speziell in Nadelholzbeständen unterschätzt (Licor Inc., 1991). Es zeigt sich eine Verzerrung der Meßergebnisse durch die Bestandshöhe. Bei der Festlegung der LAI Werte wurden deshalb Korrekturfaktoren, welche die Mittelhöhen der Bestände berücksichtigt, angewendet (Moser et al. 1994).

### 3.5.4 Niederschlagsmessungen

Als Daten des Freilandniederschlags wurden die Ergebnisse der Bulk-Sammler verwendet. Als Alternativdaten bei Unplausibilität bzw. fehlender Daten wurde auf Rain-Loggerergebnisse zurückgegriffen.

Freilandniederschlag und Kronendurchlaß wurden über die Aufnahmeflächen der verschiedenen Sammeleinrichtungen (Bulk-Sammler 0,024 m<sup>2</sup>, Regenrinnen 0,1 m<sup>2</sup>, Plattenlysimeter 50,27 cm<sup>2</sup>) auf l/m<sup>2</sup>, bzw. auf die Niederschlagshöhe in mm hochgerechnet.

Der Stammabfluß wurde auf der Buchenfläche SR an fünf ausgewählten Bäumen gemessen. Bei den Fichtenbeständen wurde der Stammabfluß nicht bestimmt. Um aus diesen Meßwerten den Grundflächenbezug herleiten zu können, wurden an jeder untersuchten Buche acht Kronenradien abgelotet und die Kronenprojektionsfläche ermittelt. Das Verhältnis Stammabfluß in Liter zum auf die Kronenprojektionsfläche auftreffenden Freilandniederschlag ergibt das Stammabflußprozent.

Ein Problem ergab sich bei sehr hohen Niederschlagsmengen durch das zu geringe Fassungsvermögen der Auffangbehälter (260 l).

Der Bestandesniederschlag (Kronendurchlaß plus Stammabfluß) wurde als Prozentwert des Freilandniederschlags ermittelt. Zusätzlich wurden einige statistische Kenndaten errechnet.

Die Interzeption wurde über die Funktion Freilandniederschlag minus Bestandesniederschlag bestimmt und als Prozentwert des Freilandniederschlags angegeben.

Auf der Kulturfläche EE wurden zwei Interzeptionswerte ermittelt:

- in 1m Höhe: der Niederschlagsrückhalt in 1m Höhe;
- mit Bodenvegetation: hierbei wurde der Niederschlagsrückhalt der Boden- und der darüber stockenden Baumvegetation erfaßt;

Die Streuinterzeption bei den Plattenlysimetern wurde als Differenz zwischen dem gemittelten Bestandesniederschlag und der auf die Niederschlagshöhe umgerechneten Sickerwassermenge ermittelt und in Prozent des Bestandesniederschlag angegeben.

### 3.5.5 multiple lineare Regressionanalyse

Bei der mit dem SPSS Programm für Windows durchgeführten multiplen linearen Regressionsanalysen (siehe Kapitel 4.7) wurden die Daten der Karstfläche 1997 von 15 Probenahmeturnussen herangezogen. Die Daten mit der niedrigsten und höchsten Freilandniederschlagsmengen wurden aus Plausibilitätsgründen nicht verwendet.

Als weitere Modelleingangsgrößen dienten Windgeschwindigkeit, Niederschlagsdauer, Niederschlagsintensität, Temperatur- und Luftfeuchtigkeitswerte.

Die `Steuergröße` Windgeschwindigkeit wurde aus den Windaufzeichnungen der nahen Klimastation Feichtau errechnet. Als weitere Modelleingangsgrößen dienten die Niederschlagsdauer und -intensität, Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit.

Die Niederschlagsdauer wurde mit Hilfe des hochauflösenden Rain-Loggers durch aufsummieren der 10 Minutenintervalle errechnet. Die mittlere Niederschlagsintensität wurde durch eine Division Niederschlagsmenge und -dauer errechnet. Die Temperatur- und Luftfeuchtigkeitswerte sind einfache Mittelwerte während eines Probenahmeturnusses.

Es wurden verschiedene Modelle gerechnet und nur unabhängige Variable mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit  $< 5 \%$  im Modell aufgenommen.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Methodische Aspekte

#### 4.1.1 Vergleich Bulk-Sammler – Rain-Logger

Die Abbildung 4-1 zeigt einen Vergleich der unterschiedlichen Systeme zur Messung des Freilandniederschlages am Eiseneck. Dabei konnte ein sehr enger Zusammenhang festgestellt werden.

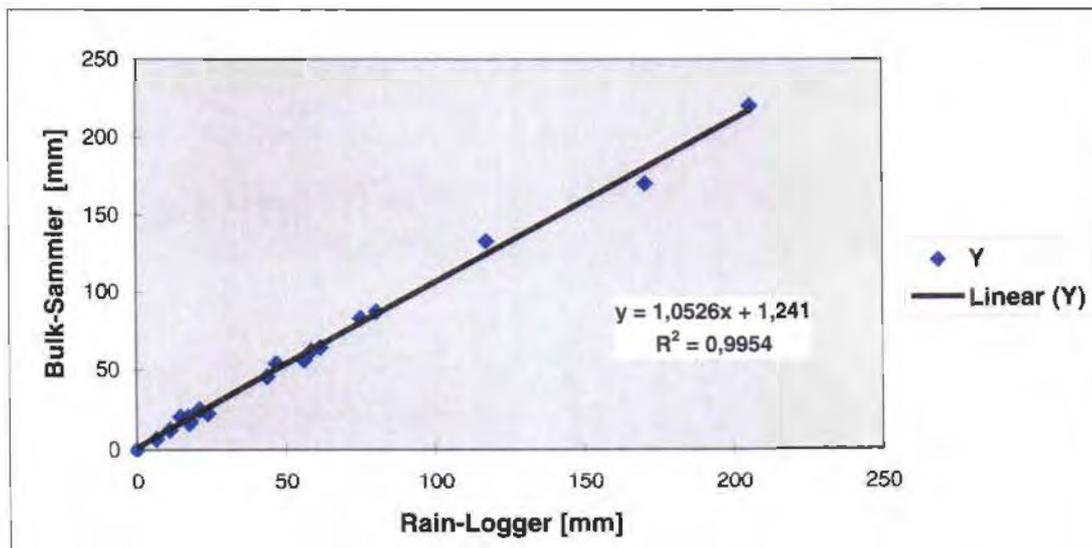


Abbildung 4-1: Zusammenhang der Ergebnisse verschiedener Niederschlagsmeßsysteme am Eiseneck 1997

Bei einem Geräteausfall, bzw. Verlust der Daten, können fehlende Daten durch die Messungen des Rain-Loggers ergänzt werden.

#### 4.1.2 Vergleich Bulk-Sammler – Rain-Logger – Regenrinnen

In diesem Vergleich wurden die mit Bulk-Sammlern ermittelten Niederschlagsmengen mit den Mengen des Rain-Loggers und der Regenrinnen auf der Schlagfläche EE verglichen. Bei diesen fünf Regenrinnen ist keine Beeinflussung des Niederschlages durch einen Bestand zu erwarten.

	Niederschlagsmenge Bulk-Sammler [mm]	Abweichung in% vom Bulk-Sammler	Mittlere prozentuelle Abweichung für Einzelereignisse
Freiland (Bulk-Sammler)	1227,3		
Rain-Logger	1146,9	-6,55	-9,89
Regenrinnen B1	1180,3	-3,83	-1,96
B2	1206,1	-1,73	-3,45
B3	1214,0	-1,08	-3,81
B4	1217,5	-0,80	-2,02
B5	1214,1	-1,07	-2,15
Mittelwert B	1206,5	-1,69	-3,13
Standardabweichung B	15,2		

Tabelle 4-1: Freilandniederschlag 1997 am Eiseneck (Bulk-Sammler, Rain-Logger und Regenrinnen auf der Schlagfläche EE)

Die Regenrinnen sammeln aufgrund der größeren Benetzungsfläche und auch vermehrter Verdunstung wie erwartet etwas weniger als der Bulk-Sammler. Durch die wöchentliche Probenahme und dadurch, daß kein Verdunstungsschutz verwendet wurde, konnte zusätzlich Wasser aus den Sammelbehältern verdunsten. Auf den Verdunstungsschutz wurde verzichtet, um für die weiterführenden chemischen Untersuchungen keine Kontaminierung der Proben zu verursachen. Die größere Abweichung von der Regenrinne B1 dürfte durch den Aufstellungsstandort in einer ungefähr 2 m tiefen und 3 m breiten Karstgasse hervorgerufen worden sein.

Die größeren mittleren Abweichungen für die einzelnen Probenahmen ist dadurch zu erklären, daß bei geringen Niederschlagsmengen die größere Benetzungsfläche und der Meßfehler stärker hervortreten.

Die Sammeleffizienz des Rain-Loggers war 1996 mit einer mittleren prozentuellen Abweichung der Einzelereignisse mit  $-2,05\%$  wesentlich geringer als 1997. Eventuell sind diese Probleme auf eine fehlerhafte Eichung des Rain-Loggers zurückzuführen.

### 4.1.3 Stichprobenanzahl und erreichte Genauigkeit

Da den ermittelten Meßdaten des Kronendurchlasses eine t- Verteilung unterstellt wird, kann der notwendige Stichprobenumfang mit der Formel

$$n = \frac{t^2 * V^2}{c^2}$$

abgeschätzt werden.

t = t- Wert bei zweiseitiger Fragestellung und einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 10 %

V = Variationskoeffizient in %

c = Vertrauensbereich des Mittelwertes in % (Meßgenauigkeit von 10 %)

In Tabelle 4-2 ist die jeweils erreichte Meßgenauigkeit und die nötige Anzahl der Meßbrinnen für die jeweilige Probenahme bei einer unterstellten Meßgenauigkeit von 10 % ersichtlich.

4. Ergebnisse

	Freiland- niederschlag [mm]	Variationskoeffizient des Kronendurchlasses [%]	Stichproben- anzahl n	Meß- genauigkeit [%]
<b>Buchenfläche SR</b>	4,6	31,0	32,4	18,0
	13,7	16,4	9,1	9,5
	21,6	10,1	3,4	5,9
	33,3	12,7	5,4	7,3
	58,2	12,1	4,9	7,0
	64,5	10,3	3,6	6,0
	81,2	8,5	2,4	4,9
	93,2	10,5	3,7	6,1
	101,8	9,2	2,8	5,3
166,3	8,7	2,5	5,0	
<b>Fichtenfläche VR</b>	3,7	44,8	67,4	26,0
	14,9	21,3	15,0	12,4
	16,2	14,6	7,0	8,5
	17,0	6,9	1,6	4,0
	22,1	16,4	8,8	9,5
	42,6	13,0	5,5	7,5
	51,1	14,4	6,8	8,3
	68,1	7,9	2,0	4,6
	93,7	7,6	1,9	4,4
157,5	7,8	2,0	4,5	
<b>Fichtenfläche EE</b>	12,5	45,3	69,0	26,3
	18,0	54,8	101,0	31,8
	20,8	41,0	56,5	23,8
	24,9	52,4	92,4	30,4
	47,5	51,6	89,5	29,9
	62,4	29,3	28,8	17,0
	64,4	56,5	107,3	32,8
	83,1	32,5	35,5	18,8
	87,3	43,4	63,4	25,2
170,4	12,3	5,1	7,1	
<b>Kulturfläche EE mit Bodenvegetation</b>	12,5	16,3	8,9	9,4
	18,0	17,8	10,7	10,3
	20,8	15,1	7,7	8,8
	24,9	17,5	10,3	10,2
	47,5	20,0	13,4	11,6
	54,0	8,4	2,3	4,8
	62,4	12,7	5,5	7,4
	88,7	15,0	7,6	8,7
	133,0	17,5	10,3	10,2
170,4	20,4	13,9	11,8	

Tabelle 4-2: Berechnung der notwendigen Sammleranzahl aus dem Variationskoeffizient und bei einem unterstellten Vertrauensbereich von 10 % des Mittelwertes und erreichte Meßgenauigkeit für ausgewählte Meßdaten 1997;

## 4.2 Seehöhenabhängigkeit der Niederschlagsmenge

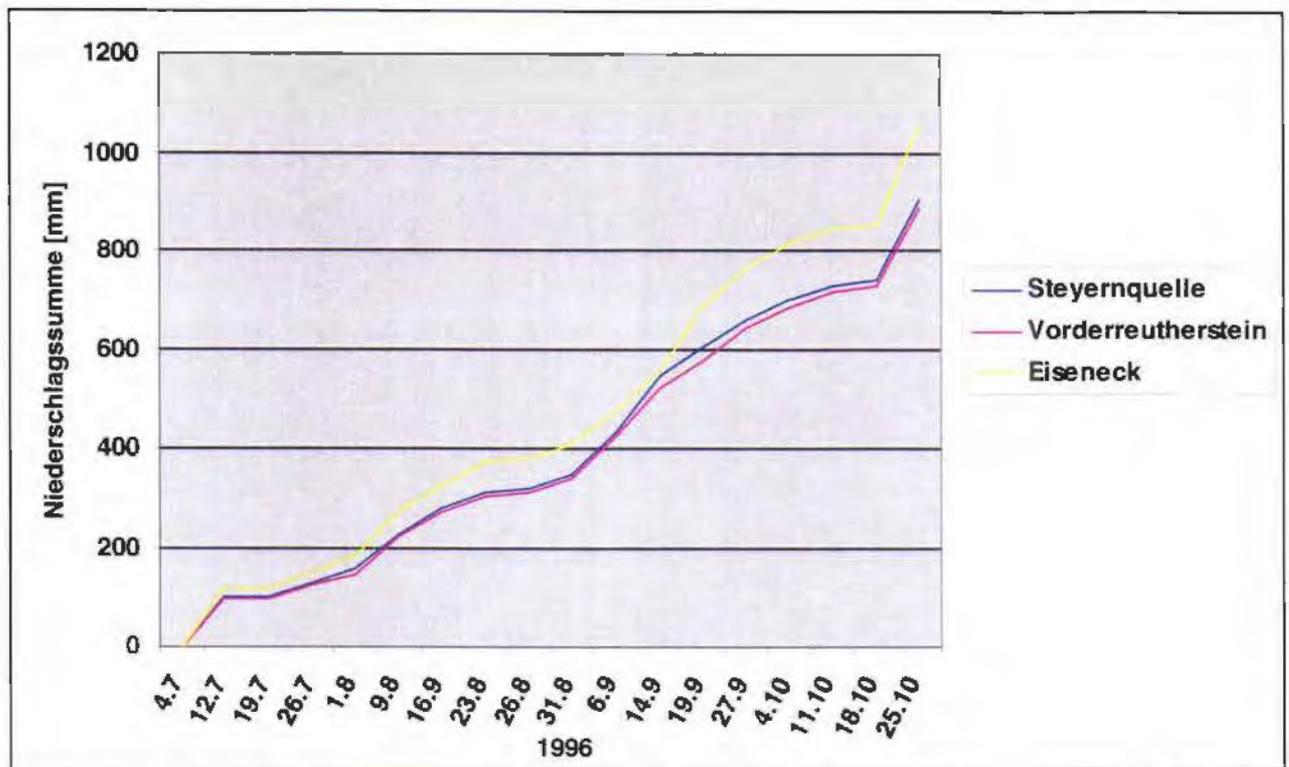


Abbildung 4-2: Seehöhenabhängigkeit der Niederschlagsmenge 1996

In der Zeit von 4.7 bis 25.10.1996, bzw. von 20.5 bis 14.10.1997 wurden in den Bulk-Sammlern folgende Niederschlagsmengen gemessen:

	1996	1997
Steyernquelle	905 mm	1080 mm
Vorderreutherstein	889 mm	1041 mm
Eiseneck	1052 mm	1227 mm

Bei 650 m Höhenunterschied von der Steyernquelle zum Eiseneck ist in beiden Jahren eine Zunahme um 147 mm Niederschlag feststellbar. Der Aufstellungsort am Vorderreutherstein ist in Kammnähe und daher dem Wind stärker ausgesetzt. Dies könnte ein Grund sein, weshalb keine Niederschlagszunahme, sondern sogar eine leichte Abnahme der Regenmenge, im Vergleich zur tiefer gelegenen Steyernquelle eingetreten ist.

### **4.3 Bestandsniederschlag und Interzeption**

Die Interzeption ergibt sich aus der Differenz vom Freilandniederschlag und Bestandsniederschlag (Kronendurchlaß plus Stammabfluß).

Durch das Fehlen einer Überschirmung auf der Schlagfläche EE entspricht die gemessene Regenmenge dem Freilandniederschlag.

Der Stammabfluß wurde nur auf der Buchenfläche SR gemessen, da er in Fichtenbeständen laut Literaturangaben mit 0 bis 2% vernachlässigbar ist.

#### **4.3.1 Bestandsniederschlag auf der Buchenfläche SR**

##### **4.3.1.1 Stammabfluß**

Wie in Abbildung 4-3 ersichtlich, erfolgt die Zunahme des Stammabflusses mit der Niederschlagshöhe nicht linear und wird von anderen Faktoren noch entscheidend beeinflusst.

Die Auffanggefäße der Stammabflußsammler waren mit 260 Liter für Starkniederschläge nicht ausreichend dimensioniert und liefen über.

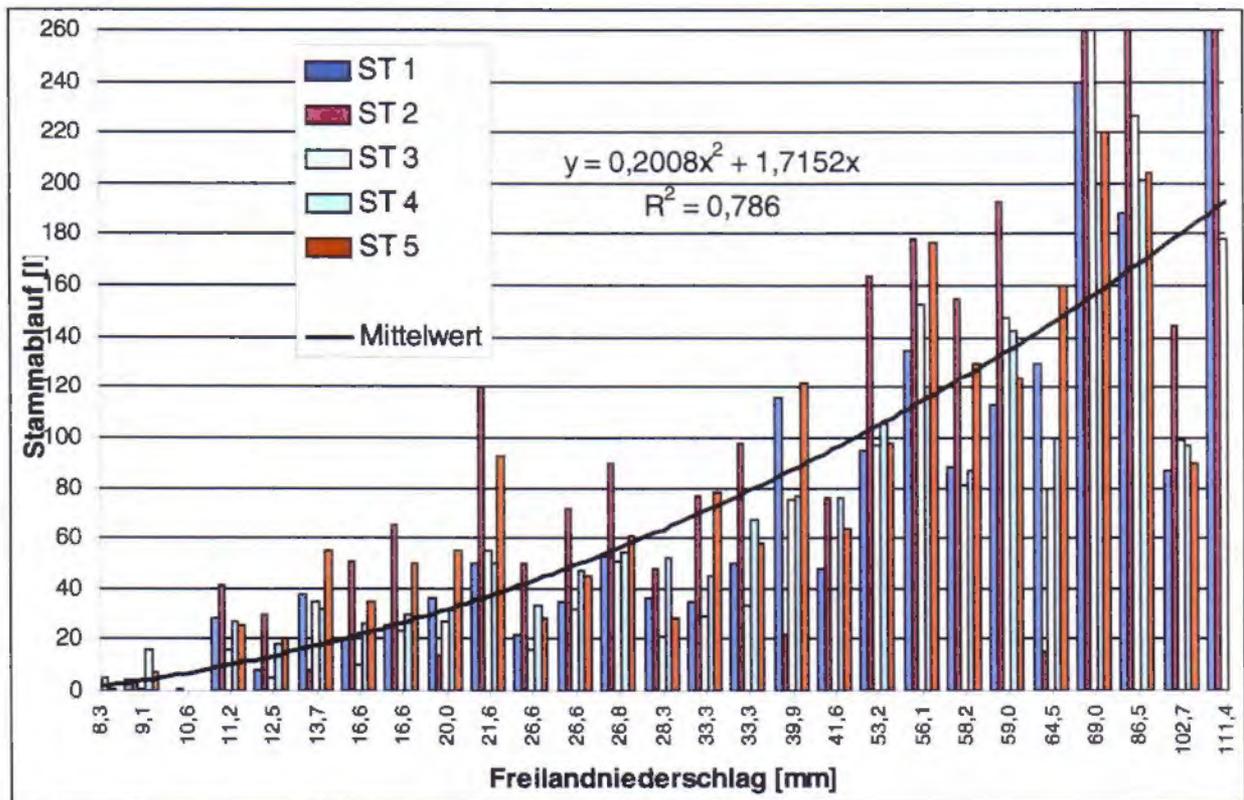


Abbildung 4-3: Stammabfluß der Buchen in der Vegetationsperiode 1996 und 1997

Der Stammabfluß wurde für jede Probenahme in % des Freilandniederschlages berechnet und daraus Mittelwerte gebildet.

	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4	ST 5	Mittel ST
<b>1996 Mittelwert [%]</b>	<b>7,30</b>	<b>8,95</b>	<b>7,00</b>	<b>11,48</b>	<b>12,24</b>	<b>9,39</b>
Standardabweichung	4,22	3,94	4,97	4,70	6,33	2,39
Variationskoeffizient	57,80	44,03	71,07	40,92	51,73	25,41
<b>1997 Mittelwert [%]</b>	<b>7,86</b>	<b>10,82</b>	<b>5,89</b>	<b>9,79</b>	<b>17,90</b>	<b>10,45</b>
Standardabweichung	4,38	6,79	3,86	4,15	8,98	4,57
Variationskoeffizient	55,72	62,74	65,51	42,39	50,16	43,74

Tabelle 4-3: Stammabfluß von fünf Einzelbäumen in % des Freilandniederschlages in den Vegetationsperioden 1996 und 1997

## 4.3.1.1 Bestandsniederschlag

		<b>Buche</b>	
		<b>1996</b>	<b>1997</b>
<b>Freilandniederschlag</b>	[mm]	910	1101
<b>Bestandsniederschlag</b>	[mm]	804	906
	[%]	88,3	82,3
<b>Kronendurchlaß</b>	[mm]	718	798
	[%]	78,9	72,5
Standardabweichung	[mm]	6,1	6,8
Variationskoeffizient	[%]	7,7	9,4
<b>Stammabfluß</b>	[mm]	86	108
	[%]	9,4	9,8
Standardabweichung	[mm]	2,4	4,7
Variationskoeffizient	[%]	24,2	47,8

Tabelle 4-4: Summen von Bestandsniederschlag, Kronendurchlaß und Stammabfluß; Standardabweichung und Variationskoeffizient auf der Buchenfläche SR in den Vegetationsperioden 1996 und 1997

### 4.3.2 Bestandsniederschlag und Interzeption auf allen Probeflächen

	Freiland- [mm]	Bestandesniederschlag				Interzeption	
		[mm]	[%] vom Freiland	Standardab- weichung [%]	Variations- koeffizient [%]	[mm]	[%] vom Freiland
<b>Buchenfläche SR</b>							
1996	910	804	88,3			106	11,7
1997	1101	906	82,3			195	17,7
<b>Fichtenfläche VR</b>							
1996	889	640	72	5,73	8,0	249	28,0
1997	1061	745	70,2	4,4	6,2	316	29,8
<b>Fichtenfläche EE</b>							
1996	1052	801	76,1	27,2	35,7	251	23,9
1997	1227	865	70,5	27,3	38,7	362	29,5
<b>Kulturfläche EE (1m Höhe)</b>							
1996	1052	1031	98,0	3,9	4,0	21	2,0
1997	1227	1180	96,2	4,6	4,8	47	3,8
<b>Kulturfläche EE (mit Bodenvegetation)</b>							
1996	1052	932	88,6	10,7	12,1	120	11,4
1997	1227	1026	83,6	8,7	10,9	201	16,4

Tabelle 4-5: Freiland-, Bestandsniederschlag und Interzeption mit Standardabweichung und Variationskoeffizient für die Probeflächen in den Vegetationsperioden 1996 und 1997.

## 4.4 Maximale Niederschlagspeicherkapazität der Vegetation

Im Probenahmeturnus vom 23. bis 26. August 1996 war nur ein Niederschlagsereignisereignis zu verzeichnen und daraus wurden folgende Speicherkapazitäten aus der Differenz des Freilandniederschlages und des Bestandsniederschlages errechnet und das Ergebnis auch im Verhältnis zum ermittelten Blattflächenindex ausgedrückt (Tabelle 4-6):

	max. Speicher- kapazität	bei einem Freiland- niederschlag
	[mm]	[mm]
Buchenfläche SR	<b>1,9</b>	6,7
Fichtenfläche VR	<b>4,0</b>	7,1
Fichtenfläche EE	<b>4,5</b>	10,0
Kulturfläche EE in 1m Höhe	<b>0,1</b>	10,0
Kulturfläche EE mit Bodenvegetation	<b>0,4</b>	10,0

Tabelle 4-6: Maximale Speicherkapazität und der ermittelte Freilandniederschlag auf den verschiedenen Probestellen.

#### 4.5 Niederschlagsmenge und Bestandsniederschlag

Die Abhängigkeit des Bestandsniederschlags vom Freilandniederschlag ist in Abbildung 4-4 ersichtlich. Es zeigt sich, daß für diese Beziehung eine lineare Regressionsgleichung mit hohem Bestimmtheitsmaß aufgestellt werden kann.

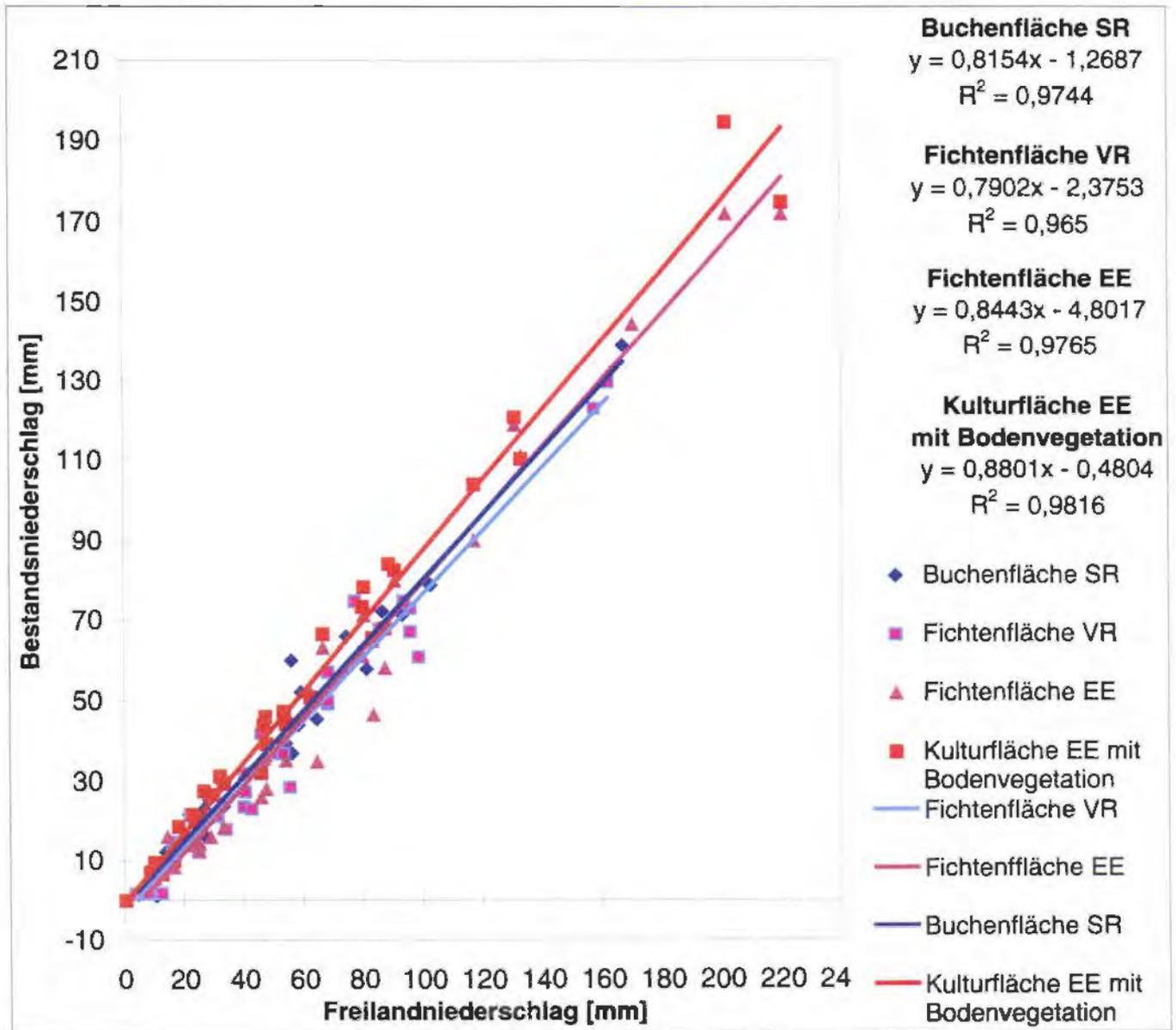


Abbildung 4-4: Abhängigkeit der Niederschlagsmenge im Bestand vom Freilandniederschlag für die Vegetationszeiten 1996 und 1997

## 4.6 Blattflächenindex und räumliche Verteilung des

### Kronendurchlasses

Es konnte nur auf der Fichtenfläche EE ein relativ enger, nicht linearer Zusammenhang zwischen Blattflächenindex oberhalb der Regenrinnen und Interzeption festgestellt werden (Abbildung 4-5; Bestimmtheitsmaß  $R^2 = 0,78$ ). Auf dieser Fläche sind die Unterschiede der einzelnen Blattflächenindizes, die direkt über den Regenrinnen gemessen wurden, aufgrund der Rottenstruktur des Bestandes, am höchsten.

Auf der Buchenfläche SR konnte nur ein Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,034$  bestimmt werden, jedoch ist der Variationskoeffizient des Blattflächenindex mit 2,37 % sehr gering.

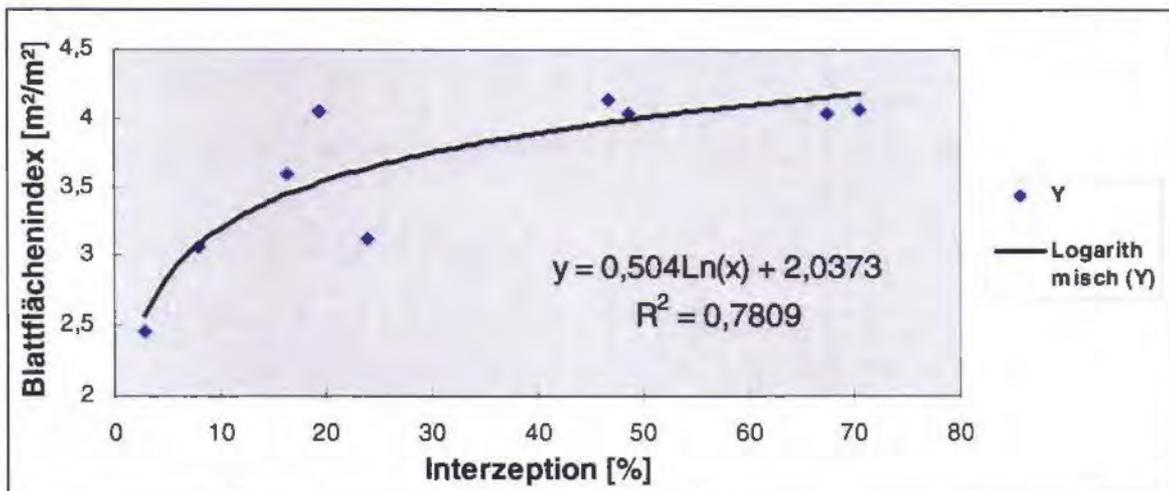


Abbildung 4-5: Abhängigkeit der Interzeption vom Blattflächenindex auf der Fichtenfläche EE 1997

Bei der Abbildung 4-5 wurde der Blattflächenindex für die Regenrinne B9 nicht berücksichtigt. Diese Regenrinne nimmt aufgrund der großen gesammelten Niederschlagsmenge eine Sonderstellung ein. Ein Teil dieses Kronendurchlasses dürfte aus Ausfilterungen von Wolken-/Nebelwasser stammen. Dieser Anteil kann nach Untersuchungen von Grunow (1955) am Bestandsrand bis zu 50 % des Bestandsniederschlags erreichen.

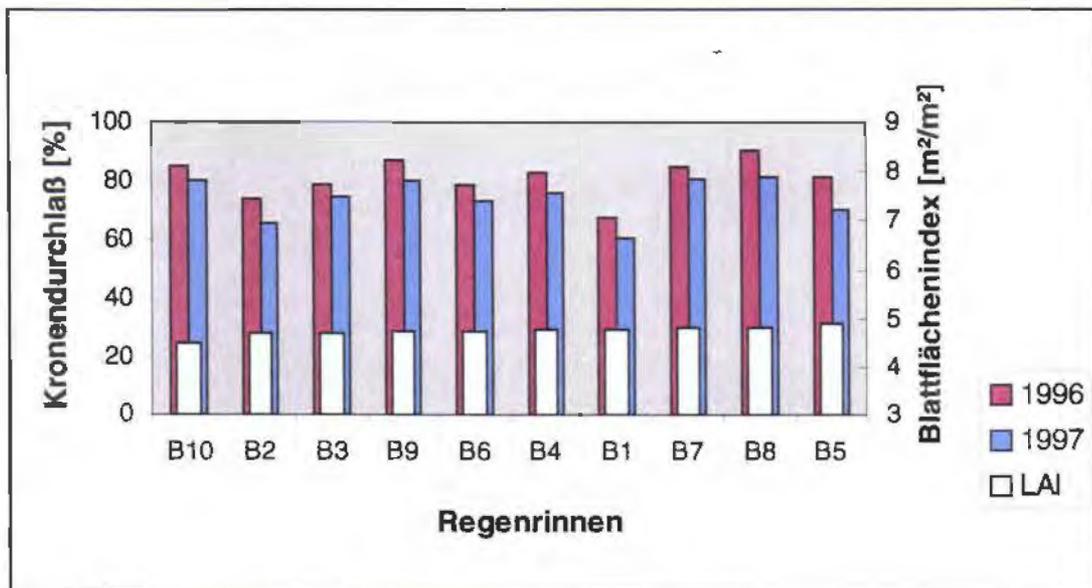


Abbildung 4-6: Kronendurchlaß im Vergleich mit dem Blattflächenindex auf der Buchenfläche SR

Wie in Abbildung 4-6 ersichtlich ist auf der Buchenfläche SR in beiden Jahren der Kronendurchlaß relativ hoch und gleichmäßig verteilt. Es wurden 1997 von den einzelnen Regenrinnen einheitlich weniger Kronendurchlaß gesammelt. Generell wurden auf der Fichtenfläche VR ebenfalls weniger Kronendurchlaß gesammelt, nur die Regenrinnen B8 und B9 sammelten geringfügig mehr. Nicht ganz so einheitlich präsentiert sich die Interzeptionsverteilung der einzelnen Regenrinnen auf der Fichtenfläche EE (Abbildung 4-7). Die Regenrinnen B5 und B9 sammelten 1997 mehr Kronendurchlaß als 1996, wobei B9 in beiden Jahren jeweils mehr Kronendurchlaß als Freilandniederschlag sammelte. Auf der Kulturfläche EE mit Bodenvegetation ist in der Interzeptionsverteilung kein einheitlicher Trend ersichtlich.

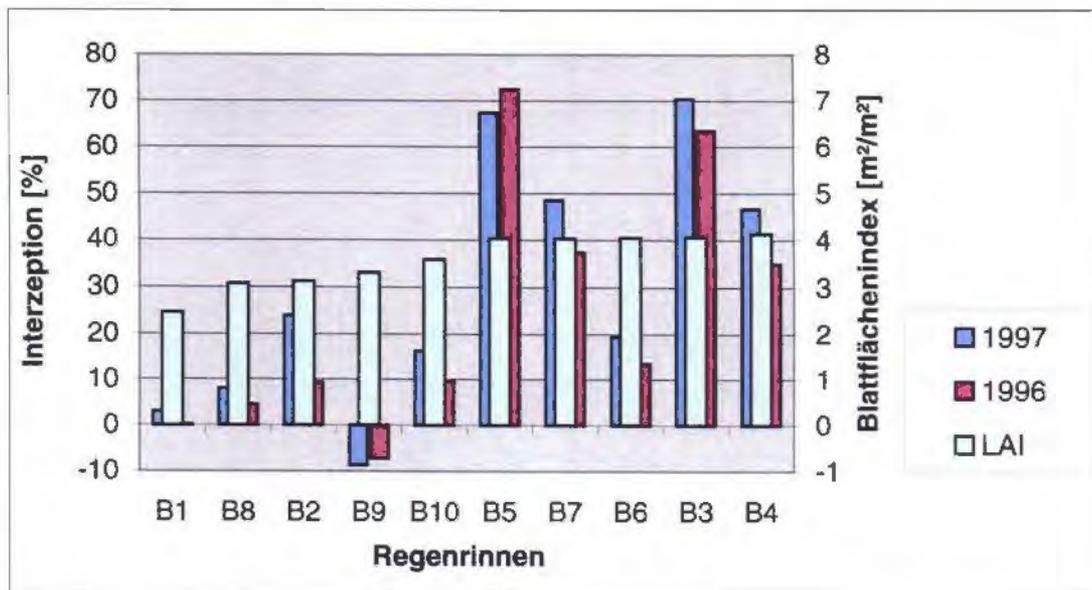


Abbildung 4-7: Interzeption im Vergleich mit den Blattflächenindex auf der Fichtenfläche EE

#### 4.7 Abhängigkeit des Bestandsniederschlages von Klimaparametern

Mit dem SPSS Programm wurde versucht, multiple lineare Regressionsfunktionen zu errechnen, die die Abhängigkeit des Bestandsniederschlages bzw. der Interzeptionsverdunstung von Klimaparametern erklären. Da für das Eiseneck für 1997 die vollständigsten Klimaparameter vorlagen, wurden die Modelle für die Fichtenfläche EE und für diesen Zeitraum gerechnet.

- **Modell Bestandsniederschlag:**

Durch den Freilandniederschlag und die mittlere Windgeschwindigkeit während des Niederschlages läßt sich der Bestandsniederschlag mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,96 erklären.

unabhängige Variable	Bestimmtheitsmaß $R^2$	Standardfehler	Regressionskoeffizient	Regressionskonstante	t-Wert	Signifikanz	Stichprobenanzahl
Freilandniederschlag	0,946	6,760	0,932	-7,123	14,561	0,000	14
mittlere Windgeschwindigkeit + Freilandniederschlag	0,961	6,029	2,562 0,832	-10,284	2,022 11,002	0,068 0,000	14

Tabelle 4-7: Kennwerte der multiplen linearen Regressionsanalyse des Bestandsniederschlages mit dem Freilandniederschlag und der mittleren Windgeschwindigkeit

Die Regressionsgleichung von diesem Modell lautet:

Die Regressionsgleichung von diesem Modell lautet:

$$\text{Bestandsniederschlag [mm]} = -10,28 + 0,83 \cdot \text{Freilandniederschlag [mm]} + 2,56 \cdot \text{mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]}$$

Mit dieser Gleichung läßt der Bestandsniederschlag mit einem Standardfehler von 6,02 mm errechnen.

- **Modell Niederschlagsrückhalt im Kronenraum**

Die abhängige Variable Interzeption läßt sich durch die mittlere Windgeschwindigkeit während des Niederschlages mit einem Bestimmtheitsmaß von 0,55 erklären.

unabhängige Variable	Bestimmtheitsmaß R <sup>2</sup>	Standardfehler	Regressionskoeffizient	Regressionskonstante	t-Wert	Signifikanz	Stichprobenanzahl
mittlere Windgeschwindigkeit	0,548	8,063	-4,876	48,271	-3,812	0,002	14
mittlere Windgeschwindigkeit + Niederschlagsintensität	0,615	7,77	-5,13	59,87	-4,122	0,002	14
			-143,426	59,87	-1,39	193	

Tabelle 4-8: Kennwerte der multiplen linearen Regressionsanalyse der Interzeption mit der mittleren Windgeschwindigkeit während des Niederschlages und der mittleren Niederschlagsintensität

61 % der Variabilität des Niederschlagsrückhaltes im Kronenraum lassen sich durch mittlere Windgeschwindigkeit während des Freilandniederschlag und der mittleren Niederschlagsintensität erklären.

Die Regressionsgleichung dieses Modells lautet:

$$\text{Interzeption [\%]} = 59,87 - 5,14 \cdot \text{mittlere Windgeschwindigkeit [m/s]} - 143,43 \cdot \text{Niederschlagsintensität [mm/h]}$$

Mit dieser Gleichung läßt der Niederschlagsrückhalt im Kronenraum mit einem Standardfehler von 7,77 % errechnen.

Für die anderen Klimavariablen ergeben sich in der schrittweisen Regressionsanalyse keine gesicherten Zusammenhänge. Diese werden daher ausgeschieden.

Eine detailliertere Auswertung ist aufgrund der erfolgten wochenweisen Messung des Bestandsniederschlages und daher fehlenden Bezuges zu den einzelnen Niederschlagsereignissen nicht mehr sinnvoll.

## 4.8 Abhängigkeit der Interzeption und Bestandsniederschlag vom Blattflächenindex und Freilandniederschlag

- ◆ Mit einer multiplen linearen Regressionsfunktion wurde die Abhängigkeit der Interzeption 1997 zum Freilandniederschlag und Blattflächenindex errechnet.
- *Modell alle*: Zur Berechnung wurden die jeweilige ermittelte, durchschnittliche Interzeption, der Freilandniederschlag und der Blattflächenindex jeder Probefläche verwendet
- *Modell ohne Buche*: Zur Berechnung wurden die Daten der Buchenfläche SR nicht verwendet.

Modell	Bestimmtheitsmaß R <sup>2</sup>	Standardfehler	Regressionskonstante	unabhängige Variable	Regressionskoeffizient	t-Wert	Signifikanz	Stichprobenanzahl
alle				Freilandniederschlag	0,003	0,035	0,975	5
	0,424	11,43	6,438	LAI	3,861	0,992	0,426	5
ohne Buche				Freilandniederschlag	-0,019	-0,335	0,794	4
	0,953	4,59	20,161	LAI	7,102	3,871	0,161	4

Tabelle 4-9: Kennwerte der multiplen linearen Regressionsanalyse der Interzeption 1997 vom Freilandniederschlag und Blattflächenindex

Beim *Modell ohne Buche* läßt sich die Interzeption zu 95 % aus den unabhängigen Variablen erklären.

Die Regressionsgleichung dieses Modelles lautet:

$$\text{Interzeption [\%]} = 20,161 + 7,102 \cdot \text{LAI Index [m}^2/\text{m}^2] - 0,019 \cdot \text{Freilandniederschlag [mm]}$$

Beim *Modell alle* lassen sich nur mehr 42 % der Interzeption aus den unabhängigen Variablen erklären. Das Interzeptionsverhalten der Buchenfläche SR unterscheidet sich demnach stark von den anderen, fichtendominierten Probeflächen. Unterschiede bestehen in der maximalen Niederschlagsspeicherkapazität und in der vertikalen Bestandsstruktur, die durch den Blattflächenindex nicht entsprechend erfaßt werden kann.

- ◆ Mit einer multiplen linearen Regressionsfunktion wurde die Abhängigkeit des Bestandsniederschlages aller Einzelereignisse und aller Probeflächen (1996 und 1997) zum Freilandniederschlag und Blattflächenindex errechnet (SPSS für Windows unter Anweisung STEPWISE).

Bestimmtheitsmaß R <sup>2</sup>	Standardfehler	Regressionskonstante	unabhängige Variable	Regressionskoeffizient	t-Wert	Signifikanz	Stichprobenanzahl
			Freilandniederschlag	1,042	84,857	0,000	183
0,983	8,468	0	LAI	-1,806	-6,907	0,000	183

Tabelle 4-10: Kennwerte der multiplen linearen Regressionsanalyse des Bestandsniederschlages (1996 und 1997) vom Freilandniederschlag und Blattflächenindex

Die Regressionsgleichung dieses Modelles lautet:

$$\text{Bestandsniederschlag [mm]} = -1,806 \cdot \text{LAI Index [m}^2/\text{m}^2] + 1,042 \cdot \text{Freilandniederschlag [mm]}$$

Das hohe Bestimmtheitsmaß von  $R^2 = 0,98$  läßt sich auf die enge Beziehung zum Freilandniederschlag (siehe Kapitel 4.5) und zum Blattflächenindex zurückführen.

## 4.9 Ermittlung der Streuinterzeption

In Tabelle 4-13 sind die errechneten Streuinterzeptionen aus den Plattenlysimetermessungen als Prozentwerte des Bestandsniederschlages ersichtlich. Die gemessenen Streuinterzeptionen schwanken sowohl zwischen den fünf Lysimetern einer Probefläche, als auch zwischen den Probenahmeturnussen. Diese Schwankungen sind durch die Niederschlagsverteilung im Beobachtungsintervall zu erklären. Höhere Interzeptionswerte treten in Perioden mit zahlreichen kleineren Niederschlagsereignissen auf. Geringere Interzeptionswerte kommen in Beobachtungsperioden mit wenig starken Niederschlagsereignissen zustande.

Bei hohen wöchentlichen Niederschlagsmengen waren 1996 die Sammelgefäße für das Sickerwasser mit 250ml nicht ausreichend dimensioniert .

		Interzeption Streuschicht (Mittelwert)	Interzeption der einzelnen Lysimeter				
			in [%] des Bestandesniederschlages				
<b>Buchenfläche SR</b>			<b>P11</b>	<b>P12</b>	<b>P13</b>	<b>P14</b>	<b>P15</b>
1996	<b>11,32</b>		15,41	2,84	13,84	12,01	12,50
1997	<b>20,90</b>		18,67	-12,12	45,84	21,76	30,35
<b>Fichtenfläche VR</b>			<b>P21</b>	<b>P22</b>	<b>P23</b>	<b>P24</b>	<b>P25</b>
1996	<b>41,37</b>		77,89	-24,69	65,58	47,77	40,30
1997	<b>43,52</b>		77,24	-6,47	47,04	47,94	51,86
<b>Fichtenfläche EE</b>			<b>P31</b>	<b>P32</b>	<b>P33</b>	<b>P34</b>	<b>P35</b>
1996	<b>31,13</b>		85,07	20,40	22,62	-49,78	77,34
1997	<b>37,28</b>		94,80	46,47	-16,16	-30,53	91,81
<b>Schlagfläche EE</b>			<b>P41</b>	<b>P42</b>	<b>P43</b>	<b>P44</b>	<b>P45</b>
1996	<b>18,39</b>		-5,12	-1,89	-10,44	52,69	56,72
1997	<b>23,92</b>		2,08	30,41	-25,59	76,12	36,59
<b>Kulturfläche EE</b>			<b>P51</b>	<b>P52</b>	<b>P53</b>	<b>P54</b>	<b>P55</b>
1996	<b>14,40</b>		12,49	1,20	20,79	44,54	-7,02
1997	<b>12,19</b>		18,32	14,66	22,52	14,67	-9,24

Tabelle 4-13: Ermittelte Interzeptionswerte der einzelnen Lysimeter und errechnete Mittelwerte in % des Bestandesniederschlages

## 5 Diskussion

### 5.1 Niederschläge im Beobachtungszeitraum

Der langjährige Durchschnitt der Niederschlagssumme bei der talnahen Station Bodinggraben beträgt für die Monate Juli bis Oktober 602 mm. Im selben Vergleichszeitraum 1996 fiel mit 947 mm über 50% mehr Niederschlag. Mit 901 mm fiel 1997 ebenfalls wesentlich mehr Regen, jedoch wie in Abbildung 5-1 ersichtlich, mit einer ganz anderen Verteilung als 1996.

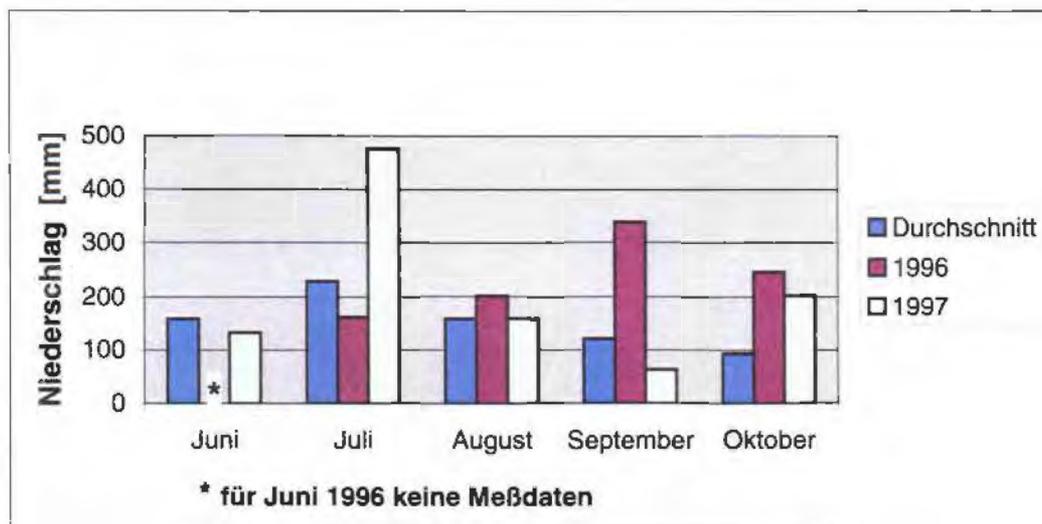


Abbildung 5-1: Vergleich der Niederschläge 1996 und 1997 bei der Steyernquelle mit dem durchschnittlichen Niederschlag 1971 bis 1990 bei der vergleichbaren Station Bodinggraben; (für Juni 1996 ist kein Wert vorhanden).

Der Juli und August 1996 entsprachen ungefähr dem langjährigen Durchschnitt, jedoch im September und Oktober fiel jeweils ungefähr die doppelte Niederschlagsmenge. Der Beobachtungszeitraum 1997 war durch starke Niederschläge im Juli und einen relativ trockenen September geprägt, wobei in diese Zeit die einzige Woche während der zwei Vegetationsperioden fällt, in der kein Niederschlag fiel.

## 5.2 Seehöhenabhängigkeit der Niederschläge

Die Zunahme der Niederschläge von der Steyrnquelle zum Eiseneck fällt mit ca. 23 mm/100 m, bzw. 2,5 %/100 m beträchtlich niedriger aus als jener Wert, den Müller (1977) mit 75 mm/100 m, allerdings als Jahreswert für dieses Gebiet angibt.

Bei der Betrachtung der Gradienten Vorderreuterstein – Eiseneck ergibt sich ein höherer Niederschlagsgradient von 45 mm/100 m (1996) bzw. 53 mm/100 m (1997). Bei Untersuchungen von Enders (1979) im Nationalpark Berchtesgaden, der klimatisch dem Aufnahmegebiet ähnlich ist, ergab sich während der Vegetationsperiode für einen Seehöhenbereich von 500 bis 1500 m ein durchschnittlicher vertikaler Gradient von 48 mm/100 m, also ein sehr ähnlicher Wert.

Durch die Anordnung der Probeflächen in einem nordwärts ausgerichteten Höbentransekt kommt die 'Nordstaulage' bei dem vorherrschenden Nordwestwindwetter voll zur Geltung. Bei einer ausgeprägten 'Nordstaulage' wurde vom 14. bis 15. November 1993 eine meteorologische Meßkampagne im Nationalpark Kalkalpen durchgeführt. Aus den Meßergebnissen läßt sich eine Zunahme der Niederschlagsmenge von der Station Bodinggraben zur Station Feichtau, welche sich in der Nähe des Eisenecks befindet, um 11 %/100 m errechnen (Mahringer 1993).

## 5.3 Niederschlagsmenge und Bestandsniederschlag

Für die Beziehung Bestandsniederschlag zu Freilandniederschlag kann eine lineare Regressionsgleichung mit hohem Bestimmtheitsmaß aufgestellt werden (Tabelle 5-1).

Allgemeine Form der linearen Regressionsgleichung:

$$N_{\text{best}} = a + b \cdot N_{\text{frei}}$$

$N_{\text{best}}$  Bestandsniederschlag

$N_{\text{frei}}$  Freilandniederschlag

$K_0$  Index für die Kronenspeicherkapazität (jener  $N_{\text{frei}}$  bei dem  $N_{\text{best}}$  nach der Regressionsgleichung gleich Null ist)

$a$  Regressionskonstante

	Regressions- koeffizient b	Regressions- konstante a	Bestimmtheitsmaß R <sup>2</sup>	Ko [mm]
Buchenfläche SR	0,815	-1,269	0,97	1,6
Fichtenfläche VR	0,790	-2,375	0,97	3,0
Fichtenfläche EE	0,844	-4,801	0,98	5,7
Kulturfläche EE mit Bodenvegetation	0,880	-0,480	0,98	0,5

Tabelle 5-1: Bestimmungsglieder der Regressionsgleichung Bestandsniederschlag als Funktion des Freilandniederschlags in den Vegetationsperioden 1996 und 1997.

In einer Vielzahl von Untersuchungen wurden derartige lineare Regressionen angewendet. Die Koeffizienten dieser Regressionsgeraden lagen je nach Baumart, Bestandsdichte und Jahreszeit zwischen 0,65 und 0,92, die Regressionskonstanten zwischen -0,5 und -9,0 (Hager, 1988).

Benecke und van der Ploeg (1978) verwenden eine zweigeteilte Regressionslinie, die aus einer exponentiellen Übergangskurve und einem linearen Teil besteht. Die exponentielle Übergangskurve soll dabei den Kronendurchlaß während der Benetzungsphase bis zum Erreichen der maximalen Speicherkapazität darstellen.

Die linearen Regressionen zeigen ein hohes Bestimmtheitsmaß von 0,97 bis 0,98, so daß die Anwendung einer zweigeteilten Regressionslinie keine große Verbesserung bringen würde.

Die Regressionskonstante läßt nach Mitscherlich und Moll (1970) beschränkte Aussagen über die Speicherkapazität zu. So zeigt sich, wie auch bei dem errechneten Index für die Kronenspeicherkapazität, daß die Kulturfläche EE mit der Bodenvegetation den geringsten Wert aufweist. Den höchsten Wert ergab sich für die lückige, aber dennoch vielschichtige Fichtenfläche EE. Dieser Bestand ist durch die Rottenstruktur der langkronigen Fichten geprägt.

#### 5.4 Interzeptionsspeicherung der Vegetation

Die ermittelten maximalen Speicherkapazitäten (siehe Kapitel 4.4) für ein Niederschlagsereignis im August 1996 liegen im Bereich von Literaturangaben (Tabelle 5-2) und weisen ähnliche Werte wie die Indizes für die Kronenspeicherkapazität auf.

Speicherkapazitäten während der Vegetationszeit (Tabelle 5-2) aus Mittel- und Westeuropa streuen in geschlossenen Fichtenbeständen zwischen 1,5 und 4 mm. Die Werte für Douglasie liegen zwischen 1,2 und 2,6 mm. Weihe (1971) hat die von ihm in je einem 60-jährigen Bestand ermittelten Werte für Fichte mit 3-4 mm und für Buche mit 0,6- 0,7 mm angegeben. Ausgehend von trockenen Baumkronen waren, um überhaupt einen Kronendurchlaß und

damit das Erreichen der maximalen Speicherkapazität für Fichte 6 bis 8 mm und bei Buche 1,2 mm Niederschlag notwendig.

Baumart	Alter	Bestockungsgrad	Speicherkapazität [mm]
Fichte	15	nicht geschlossen	0,6
Fichte	23	1,0	1,5
Fichte	28	1,0	3,1
Fichte	30	1,0	2,7
Fichte	60	1,0	4,0
Fichte	80	1,0	4,0
Fichte	59	1,0	3,0
Douglasie	36	1,2	2,4
Douglasie	36	1,0	2,6
Douglasie	36	0,8	1,2
Kiefer	28	1,0	3,0
Buche	60	1,0	0,6
Kiefer / Buche	80	1,0	0,6

Tabelle 5-2: Speicherkapazitäten [mm] bei Regenniederschlag für einige Bestände in Mittel- und Westeuropa, nach Mitscherlich (1981)

## 5.5 Stammabfluß

Der Stammabfluß entstammt dem auf die Zweige und Äste tropfenden Regen. An ihrer Unterseite leiten sie infolge ihrer Neigung das Wasser dem Stamm zu, an dem es abfließt. Die Abflußmenge hängt demnach von der Größe der auffangenden Fläche, näherungsweise der Kronenschirmfläche ab.

Die Größenordnung des Stammabflusses wird hauptsächlich, wie aus Tabelle 5-3 ersichtlich ist, durch die Baumart beeinflusst.

Bei grobborkigem Nadelholz werden 0 bis 1 % des Freilandniederschlages als Stammabfluß abgeleitet (Hager (1988), Molchanov (1960)). Aufgrund dieses geringen Beitrages zum Bestandsniederschlag wurde in unserer Untersuchung der Stammabfluß bei der Fichte nicht berücksichtigt.

Die Literaturwerte für Buchenreinbestände liegen im Bereich zwischen 15 und 20 % des Freilandniederschlages. Die bei dieser Untersuchung ermittelten Werte (siehe Kapitel 5.4.1) von 9,4 % für 1996 und 9,8 % für 1997 liegen deutlich niedriger. Durch die große Überlappung der einzelnen Kronen wird die Projektionsfläche des Einzelbaums stark überbewertet. Auch dürfte die Kronenarchitektur der bis zu 37 m hohen Buchen mit den weit ausladenden, hauptsächlich hangabwärts orientierten Ästen für die Wasserableitung nicht besonders geeignet sein.

Der Stammabfluß nimmt mit steigender Niederschlagshöhe zu. Bei verschiedenen Untersuchungen pendelte sich der Stammabfluß ab einer gewissen Niederschlagshöhe bei einem fast konstanten Wert ein. Dieser betrug bei Benecke und van der Ploeg (1978) ab einem Freilandniederschlag von 5 mm 12 % bzw. 16 % bei Niederschlägen über 10 mm bei Eidmann (1959, zit. in Hager 1997).

Baumart	Alter	Stamm- abfluß	Kronen- durchlaß	Inter- zeption	Jahreszeit	Autor
	Jahre	%	%	%	Jahr/Sommer/Winter	
Buche	0-30	15,4	52,8	31,8	Sommer	Brechtel 1970
Buche	>60	17,6	45,9	36,5	Sommer	Brechtel 1970
Buche	30	14,0			Jahr	Brechtel 1975
Buche	40	13			Sommer	Mitscherlich u. Moll 1970
Buche	40	12			Winter	Mitscherlich u. Moll 1970
Buche	50	13	66	21	Sommer	Cepal 1967
Buche	50	18,1	68,1	13,8	Winter	Cepal 1967
Buche	50	15,5	67,1	17,4	Jahr	Cepal 1967
Buche	100			31	Sommer	Kazda 1985
Buche	110	17,2	62,2	20,6	Sommer	Gerke 1985
Buche	110	16,0	72,3	11,7	Winter	Gerke 1985
Buche	120	13	65	22	Sommer	Benecke 1984
Eiche	25	0,1-13,1				Molchanov 1960
Eiche	65	0,02-2,11				Molchanov 1960
Eiche	220	0,01-1,31				Molchanov 1960
Eiche	54	8,3	65,2	26,5	Sommer	Cepal 1967
Eiche	54	13,4	73	13,6	Winter	Cepal 1967
Eiche	54	10,9	69,1	20	Jahr	Cepal 1967
Esche	40	0,09-6,1				Molchanov 1960
Esche	70	0,03-4,0				Molchanov 1960
Douglasie	35	2,0	66	32	Sommer	Heuveldop et al. 1972
Douglasie	41	4,0	64	32	Sommer	Heuveldop et al. 1972
Fichte	25	2			Jahr	Brechtel 1975
Fichte	30-60	1,1	50,3	48,6	Sommer	Brechtel 1970
Fichte	>60	1,2	49,9	48,9	Sommer	Brechtel 1970
Fichte	60	0-0,04				Molchanov 1960
Fichte	90	0-0,43				Molchanov 1960
Fichte	20			40	Sommer	Hager 1988
Fichte	45			31	Jahr	Heuveldop 1973
Fichte	50			39	Sommer	Grunow 1965
Fichte	55			28,2	Sommer	Hager 1997
Fichte	70			24	Sommer	Lin 1968
Fichte	95			33	Sommer	Benecke 1984
Kiefer	18	11			Jahr	Brechtel 1975
Kiefer	46	1			Jahr	Brechtel 1975
Kiefer	95	0,02-1,5				Molchanov 1960
Kiefer	37			33	Sommer	Balazs 1981
Schwarzkiefer	42	3,8	66,5	29,7	Sommer	Cepal 1967
Schwarzkiefer	42	4,2	63,3	32,5	Winter	Cepal 1967
Schwarzkiefer	42	4	64,9	31,1	Jahr	Cepal 1967
Tanne	>60	5,3	51,3	43,4	Sommer	Brechtel 1970
Lärche	28			26	Sommer	Balazs 1981
Lärche	28			18	Winter	Balazs 1981
Lärche	51			34	Sommer	Balazs 1981
Lärche	51			36	Winter	Balazs 1981
<b>Buche</b>	<b>120</b>	<b>9,6</b>		<b>14,7</b>	<b>Sommer</b>	<b>diese Arbeit</b>
<b>Fichte/Lärche</b>	<b>60</b>			<b>28,6</b>	<b>Sommer</b>	<b>diese Arbeit</b>
<b>Fichte</b>	<b>50-160 (ungleich alt)</b>			<b>26,7</b>	<b>Sommer</b>	<b>diese Arbeit</b>

Tabelle 5-3: Stammabfluß, Kronendurchlaß und Interzeption in % des Freilandniederschlages in Abhängigkeit von Baumart, Alter und Jahreszeit.

Wie in Kapitel 4.3.1.1 Abbildung 4-3 ersichtlich, müssen aber auch andere Faktoren als die Niederschlagshöhe den Stammabfluß entscheidend beeinflussen. Als solche Faktoren treten

- Niederschlagsintensität
- Niederschlagsverteilung
- Windverhältnisse

in Erscheinung.

Diese Faktoren lassen sich aufgrund geeigneter Meßdaten nur exemplarisch diskutieren:

Im Zeitraum vom 31.8. bis 6.9. 1996 ergab sich bei nur einem Niederschlagsereignis (118 Stunden) die Niederschlagssumme von 86,5 mm (0,72 mm/h) und ein durchschnittlicher Stammabfluß von 12,0 %. Es ergaben sich zwar kurze Regenspauzen, aber das gespeicherte Wasser im Kronenraum konnte nicht vollständig verdunsten, und dadurch wurde die maximale Interzeptionskapazität schnell wieder erreicht.

Die 102,7 mm Niederschlag vom 4 bis 12.7 1996 fielen bei drei Niederschlagsereignissen, wobei beim Hauptereignis 48,1 mm Niederschlag mit einer Intensität von 2,4 mm/h gemessen wurden. Der durchschnittliche Stammabfluß sank auf 5,1 %. Einerseits wurde durch die jeweils trockenen Baumkronen zuerst die Speicherkapazität aufgefüllt, und andererseits kam es durch die hohe Niederschlagsintensität zu einem stärkeren Anteil des durchtropfenden Niederschlages.

Ein bedeutender Bestandsparameter, der jedoch nicht erfaßt werden konnte, scheint die Kronenform zu sein. Diese variiert von Baum zu Baum sehr stark und scheint ein Grund zu sein, daß einige Bäume mehr Niederschlagswasser abfangen und als Stammabfluß zum Boden leiten. Dies ist etwa bei Baum ST 5 (siehe Kap.4.3.1.1) der Fall, der weder aufgrund seiner Lage noch wegen seiner soziologischen und ertragskundlichen Daten Besonderheiten aufweist, doch der Stammabfluß ist in beiden Jahren höher als der Durchschnitt.

Durch die sorgfältige Auswahl der gemessenen Buchen hinsichtlich BHD-Verteilung und soziologischer Stellung kann angenommen werden, daß die Ergebnisse repräsentative Mittelwerte sind und flächenbezogen hochgerechnet werden dürfen.

## 5.6 Interzeptionsverdunstung

Es existieren bereits sehr viele Untersuchungen zum Thema Interzeptionsverdunstung von Waldbeständen, so verweisen etwa Lin (1968) auf 85 oder Molchanov (1960) auf 50 Arbeiten. In Tabelle 5-3 werden die Ergebnisse von einigen Interzeptionsuntersuchungen dargestellt.

Die Bedeutung der Baumart für das Interzeptionsvermögen ist im allgemeinen auf die unterschiedlichen Benetzungskapazitäten der Baumkronen zurückzuführen. Nach Mitscherlich (1981) erreichen bei den Nadelbäumen die Fichte und Douglasie im Durchschnitt mit 34 % die höchsten Werte. Die Interzeptionsverdunstung von Kiefer und Lärche ist im Durchschnitt mit 27 % des Freilandniederschlages etwas geringer. Gesetzmäßige Unterschiede des Bestandsniederschlages im Sommer und im Winter sind nicht erkennbar.

Für Rotbuche und Roteiche gibt Mitscherlich (1981) 13 – 15 %, für Eiche und Hainbuche 21 – 25 % Interzeptionsverdunstung an. Bei allen Laubbäumen ist als Folge des Laubfalles die Interzeption in den Wintermonaten um 5 % verringert.

Lepkowitz (1998) errechnete aus einer Vielzahl von Untersuchungen folgende Mittelwerte:

Buche:	27 %
Eiche:	20 %
Fichte:	36 %
Kiefer:	32 %
Lärche:	32 %

Wie schon ersichtlich, streuen die Werte aufgrund der unterschiedlichen Bestands- und Standortverhältnisse in einem weiten Rahmen. Bei einem Vergleich der Ergebnisse mit den bereits zitierten Werten sind die Standortverhältnisse in Bezug auf die hohe Niederschlagsmengen zu beachten. Kein Untersuchungsgebiet befand sich in einer so niederschlagsreichen Region mit über 1500 mm Jahresniederschlag.

Die Interzeptionswerte, die in Kapitel 4.3.2 ersichtlich sind, liegen bei einem Vergleich mit den Literaturangaben jeweils im unteren Bandbereich. Die verschiedenen Interzeptionswerten der beiden Jahre, lassen sich durch den unterschiedlichen Witterungsverlauf erklären.

Bei der Buchenfläche SR fällt der relativ hohe Kronendurchlaß beider Jahre auf. Dies könnte durch die hohen Niederschlagsmengen und den damit verbundenen höheren Niederschlagsintensitäten begründet sein.

Bei der Fichtenfläche VR ist aufgrund der geringen Überschirmung von 0,65 die Interzeption mit 28 % für 1996 bzw. 29,8 % für 1997 doch relativ hoch. Molchanov (1960) verweist, daß bei steigender Auflichtung eine überproportionale Abnahme der Interzeptionsverdunstung erfolgt. Bei einer Verringerung des Schlußgrades von 0,9 auf 0,7 erfolgte in seiner Untersuchung eine Zunahme des Kronendurchlasses um 4 – 8 %. Bei weiterer Auflichtung auf eine Überschirmung von 0,4 bis 0,5 nahm der Kronendurchlaß um 25 % zu. Auch Hager (1988) stellte bei Untersuchungen in Fichtenjungwüchsen fest, daß die Gesamtinterzeption nach Stammzahlreduktionen sinkt und eine gesicherte Beziehung zur vorhandenen Blattfläche vorhanden ist.

Die ermittelten Interzeptionswerte der durch die Rottenstruktur geprägten Fichtenfläche EE, sind mit 23,5 % im Jahr 1996 bzw. 29,5 % im Jahr 1997 entsprechend geringer als bei wenig strukturierten Beständen.

Entsprechend der geringen Überschirmung sind die Interzeptionswerte auf der Kulturfläche EE in 1 m Höhe gering. Deutlich höhere Werte ergeben sich, wenn man die Interzeption der Bodenflora und der unteren Beastung miteinbezieht. So wurden für das Jahr 1997 16,4 % errechnet. Es zeigte sich in beiden Jahren, daß die bodennahe Interzeption der Kulturfläche EE mit Bodenvegetation ungefähr die Größenordnung der Buchenfläche SR erreichte.

Untersuchungen an verschiedene Buscharten Kaliforniens ergaben Werte zwischen 4 und 14 % Interzeptionsverdunstung (Hamilton und Rowe 1949, zit. in Mitscherlich 1981). Zum Vergleich ergaben Messungen an *Calamagrostis epigejos* Werte zwischen 3,6 und 4,7 % (Millbacher 1992), und in einem Krummseggenrasen (*Caricion curvula*) 7 % Interzeptionsverdunstung (Wieser 1983, zit. in Lepkowitz 1998). *Calluna vulgaris* erreicht bedeutend höhere Werte von 20 bis 30 % (Leyton et al. 1966, zit. in Mitscherlich 1981).

## **5.7 Variabilität der Interzeption und des Kronendurchlasses**

### **5.7.1 Blattflächenhaltung und Bestandsstruktur**

Die Ausführungen gelten nur innerhalb des Bestandes. Durch die Verwendung von jeweils zehn Regenrinnen mit einer Gesamtfläche von 1m<sup>2</sup> wird der Kronendurchlaß relativ genau erfaßt.

Aus der Tabelle 4-2 im Kapitel 4.1.3 ist ersichtlich, daß die höheren Niederschlagsmengen auf der Buchenfläche SR und Fichtenfläche VR mit sehr hoher Genauigkeit erfaßt wurden. Bei geringen Niederschlagsmengen unter 12 mm wäre jedoch eine größere Anzahl Regenrinnen erforderlich gewesen. Auf der Fichtenfläche EE ist durch die Heterogenität des Bestandes und die dadurch bedingten, stark unterschiedlichen Kronendurchlässe die Sammleranzahl für die gewünschte Meßgenauigkeit nicht ausreichend. Auf der Kulturfläche EE mit Bodenvegetation zeigt sich keine Verbesserung der schon relativ hohen Meßgenauigkeit mit zunehmender Niederschlagsmenge.

Es konnte nur auf der Fichtenfläche EE ein gewisser Zusammenhang zwischen dem gemessenen Blattflächenindex über den einzelnen Sammlern und dem Kronendurchlaß gefunden werden (siehe Kapitel 4.6). Auf den anderen Flächen variiert der Blattflächenindex (Werte im Anhang ersichtlich) über den einzelnen Regenrinnen in einem zu engen Rahmen und es überwiegt der Einfluß der standörtlichen Kronenarchitektur. Bei Untersuchungen in verschieden stark durchforsteten Fichtenjungwüchsen fand Hager (1988) einen engen Zusammenhang ( $R^2 = 0,78$ ) zwischen projizierter Blattfläche und Gesamtinterzeption.

Als Ergebnis stellte Weihe (1984) bei Untersuchungen über die Verteilung des Kronendurchlasses auf Buchenflächen fest, daß der Kronendurchlaß bei großer Variation im einzelnen von der inneren zur äußeren Kronenzone leicht zunimmt und sein Maximum in Kronenlücken erreicht. Durch die starke Überlappung auf der Versuchsfläche Buchenfläche SR ist keine derartige Einteilung in Kronenzonen möglich, und es ergibt sich eine komplett zufällige Verteilung des Kronendurchlasses. Dafür sind auch die neben der Kronenarchitektur unterschiedlich stark auf Äste und Blätter wirkende Kräfte verantwortlich. Solche Kräfte sind mit Wind und Regenintensität gegeben. Der unterschiedliche Wind verschiebt die Stellung der Äste und Blätter zueinander. Die Regenintensität variiert neben der Tropfengröße auch die Benetzungskapazität und somit das Verhältnis Stammabfluß zu Kronendurchlaß.

Bei einem Fichtenbestand kommt es bedingt durch den Aufbau der Krone zu einem stärkeren Durchlaß an der Kronenperipherie. Durch Zusammenfallen zweier Kronenträufe konnte zum Beispiel auf der Fichtenfläche EE bei der Regenrinne B9 in beiden Jahren mehr Kronendurchlaß als Freilandniederschlag (103 % 1997) gesammelt werden. Demgegenüber wurden in nur ein paar Meter Entfernung bescheidene 45 % des Freilandniederschlages (Regenrinne B3) gemessen.

Bei den im Kapitel 4.8 gerechneten multiplen linearen Regressionsfunktionen zwischen der Interzeption und dem Blattflächenindex und dem Freilandniederschlag ergibt sich beim Modell *ohne Buche* ein enger Zusammenhang ( $R^2 = 0,95$ ). Beim Modell *alle* ist kein so enger Zusammenhang mehr gegeben ( $R^2 = 0,42$ ). Das Interzeptionsverhalten der Buchenfläche SR mit seiner niedrigen maximalen Speicherkapazität und der wenig gegliederten, einschichtigen Bestandsstruktur unterscheidet sich stark von den anderen, fichtendominierten Probeständen. Bei der durch die Rottenstruktur stark gegliederten Fichtenfläche EE dürfte der Blattflächenindex unterschätzt worden sein, bzw die Interzeption durch die mehrfache Überlappung der Äste einen so hohen Anteil erreicht haben.

### 5.7.2 Wind

Bei steigenden Windgeschwindigkeiten kommt es durch das vermehrte Abschütteln der benetzten Krone zu einer Zunahme des Kronendurchlasses. Bei Untersuchungen an einem Fichtenbestand stellte Heuveldop (1973) fest, daß schon bei geringen Windgeschwindigkeiten der Kronendurchlaß von 20 % bei Windstille bis 95 % bei 5-6 m/s erhöht wird. Böige Winde reduzieren die Wasserspeicherung stärker als gleichmäßige Winde gleicher Stärke.

Die Ergebnisse der gerechneten multiplen Regressionsanalyse (Kapitel 4.7) zeigen, daß sich 55 % der Variabilität der Interzeption auf der Fichtenfläche EE durch die mittlere Windgeschwindigkeit bei der nahen Meßstation Feichtau erklären lassen.

Der Einfluß des Windes kann auf der Buchenfläche SR und Fichtenfläche VR aufgrund fehlender Windmessungen nicht quantifiziert werden. Aber die Auswirkungen von starken Winden, oft gepaart mit hohen Regenintensitäten, auf die Variabilität des Kronendurchlasses ist sicherlich gegeben.

### 5.7.3 Niederschlagsintensität

Bei hoher Niederschlagsintensität fällt der Regen vorwiegend in großen Tropfen. Diese reißen beim Auftreffen auf die Blätter den dort schon angesammelten Niederschlag mit sich. Es wird also weniger Niederschlag zurückgehalten, als bei Niederschlägen geringerer Intensität.

Heuveldop (1973) fand bei der schon erwähnten Untersuchung weiters einen Zusammenhang zwischen Niederschlagsintensität und Interzeptionsverdunstung in Form einer logarithmischen Kurve. Nach dieser lassen sich 79 % der Interzeptionsverdunstung durch die Niederschlagsintensität erklären.

Durch Hinzunahme der mittleren Niederschlagsintensität in die im Kapitel 5.7.2 erwähnte multiple Regressionsanalyse verbessert sich die Erklärbarkeit der Interzeption auf 61 %.

Anhand der hochauflösenden Rain-Logger ist es möglich, Auswirkungen verschiedener Niederschlagsintensitäten zu untersuchen:

- Im September 1997 fielen auf der Buchenfläche SR während dreier Probeturnusse fast idente Niederschlagsmengen, jedoch mit verschiedener Intensität:

3 – 8. September:	8,2 mm Niederschlag mit	16,4 mm/h	
	7,9 mm	0,4 mm/h	
	16,1 mm Niederschlag in Summe		und 83,3 % Kronendurchlaß
8 – 16. September:	15,9 mm	2,2 mm/h	81,8 %
16 – 22. September:	15,4 mm	2,5 mm/h	79,4 %

Von 3 bis 8. September wurden 2 größere Niederschlagsereignisse registriert, wobei die Niederschlagsintensitäten verschieden hoch waren. Dennoch ist der Kronendurchlaß mit 83,3 % aufgrund des Starkregens mit einer Intensität von 16,4 mm/h höher als bei den beiden anderen Probenahmen mit jeweils einem größeren Niederschlag, aber dennoch relativ hoher Intensität. Aufgrund dieser Tatsache liegen alle Kronendurchlaßwerte deutlich über dem Durchschnitt von 72,5 %.

- Auf der Fichtenfläche VR fielen von 2. bis 8. August 1996 16,2 mm Regen mit einer durchschnittlichen Intensität von 11,6 mm/h und kurze Zeit später, die Kronen waren sicher noch nicht abgetrocknet, ein größerer Niederschlag mit 53,6 mm (5,36 mm/h). Der Kronendurchlaß stieg auf 91,5 % gegenüber den Durchschnitt 1996 von 72 %.

Im gleichem Zeitraum ergaben sich auch auf der Fichtenfläche EE und Buchenfläche SR erhöhte Kronendurchlässe von 88,8 % (Durchschnitt 76,1 %) bzw. 88,9 % (Durchschnitt 78,9 %).

## 5.8 Streuinterzeption

Die Messung der Streuinterzeption im Gelände ist mit mehreren Problemen, wie bereits im Kapitel 3.3.3.4 beschrieben, verbunden gewesen.

Die Interzeptionswerte der einzelnen Lysimeter (siehe Kapitel 4.9) streuen in einem sehr weiten Bereich. Die Anzahl der Wiederholungen (5 Lysimeter je Fläche) reicht nur um mög-

liche Trends festzustellen. Für eine exaktere Bestimmung der Streuinterzeption wäre eine wesentlich höhere Anzahl von Lysimetern nötig. Die Schwankungen zwischen den Lysimetern lassen sich auf die Unterschiede in der Streumächtigkeit und im Kleinrelief des Einbauortes (Mulde, Kuppe) zurückführen. Eine geringere Sammeffizienz und damit eine rechnerisch größere Interzeption könnte auch durch den geneigten Einbau und den oberflächennahen, raschen Abfluß an der Oberfläche der Keramikplatte des Lysimeters bedingt sein. Eine weitere Möglichkeit wäre, daß bei hohen Niederschlagsmengen die Sickerwasserrate die Durchflußrate der Keramikplatte bei 0,1 bar Saugspannung übersteigt und das Wasser oberflächlich abfließt.

So liegt etwa auf der Buchenfläche SR das Plattenlysimeter P12 im Einflußbereich des Stammabflusses und konnte daher 1997 mehr Sickerwasser auffangen, als durchschnittlich Bestandsniederschlag auf der Fläche auftraf.

Auf der Fichtenfläche EE sammelten die Plattenlysimeter P31 und P35 wenig Sickerwasser. Die Interzeptionswerte erreichten 1997 über 90 %. Dies dürfte auf die große Mächtigkeit der Feinmoderschichte, durch die starke Überschildung bedingten geringeren Bestandsniederschlag und auf die Kuppenlage zurückzuführen sein. Demgegenüber sind die Interzeptionswerte von Plattenlysimeter P34 in beiden Jahren negativ. Dieser wurde unterhalb eines Felsen in einer kleinen Abflußrinne etabliert (Abbildung 5-2).

Dies sind nur einige Beispiele, um den Einfluß des Kleinreliefs und die dadurch bedingten unterschiedlichen Versickerungsraten auf stark strukturierten Karst aufzuzeigen.



Abbildung 5-2: Teilansicht der Fichtenfläche EE – Eiseneck mit den eingebauten Plattenlysimetern P34 und P35

Auf der Fichtenfläche VR ergaben sich in beiden Jahren hohe Streuinterzeptionswerte über 40 %. Luef (1997) fand bei einem vergleichbaren Bestand unter Verwendung des gleichen Meßprinzips einen Wert von 36 %. Für 25jährige Fichtenbestände im Hunsrück leitete Hoffmann (1982) aus Modelluntersuchungen eine Steigerung der Streuinterzeption von 12,2 % des Freilandniederschlages auf 15,2 bzw. 25,0 % bei Reduktion der Bestandsgrundfläche von 27,8 m<sup>2</sup> auf 14,4 bzw. 9,1 m<sup>2</sup> ab. Die Streuauflage war eine 6 cm mächtige Fichtenrohhumusdecke. Unter den Einfluß einer Laubauflage ergab sich bei Luef (1997) in einem Fichten – Tannen – Buchenmischbestand ein um 7 % geringerer Wert von 29 % als im Fichtenbestand.

Wie zu erwarten ergaben sich auf der Buchenfläche SR geringe Interzeptionswerte der Streuschicht. Hädrich und Heuveldop (1978) fanden während drei Sommerperioden in einer 2 cm mächtigen Lärchen – Buchenstreu Interzeptionswerte von 14,9 % des Freilandniederschlages.

Unter dem Einfluß einer von wenigen cm bis zu 70 cm mächtigen, oft spaltengründigen Alpenmoderauflage ergibt sich ein Durchschnitt der stark unterschiedlichen Einzelergebnisse

von 31 % (1996) bzw. 37 % (1997) Streuinterzeption. Ähnlich hohe Werte ergeben sich auf der Schlagfläche EE, wenn man den beträchtlich höheren Freilandniederschlag berücksichtigt. Auf der Kulturfläche EE sind aufgrund der bereits umgewandelten und etwas geringmächtigeren Humusaufgabe die Interzeptionswerte geringer.

Die Streuinterzeption ist auch von der Ausgangsdurchfeuchtung der Bodenstreu abhängig. Der Benetzungswiderstand ist bei einer ausgetrockneten Auflage groß (hydrophob). Die Speicherkapazität wird erst bei längerer Niederschlagsdauer nach und nach voll ausgeschöpft.

Zu beachten ist, daß das in der Streu gespeicherte Wasser teilweise für die Wasserversorgung der Vegetation verwendet wird. Besonders Fichten haben einen bedeutenden Teil ihrer Feinwurzeln in der Auflage, so daß sehr effektiv Wasser entnommen werden kann. Auf den Probestflächen am Eiseneck (Fichtenfläche EE, Schlagfläche EE) stellt die Auflage den einzigen durchwurzelbaren Bodenraum dar. Das bedeutet, daß hier der Niederschlagsrückhalt in der Auflage die Wasserversorgung des Bestandes sicherstellt.

## 6 Zusammenfassung

Ziel der vorliegenden Arbeit war die Erhebung des Wasserrückhalts von Waldbeständen im Nationalpark Kalkalpen. Weiters wurde versucht, mit statistischen Verfahren die wesentlichen Einflußfaktoren auf die Interzeption der Vegetation und der Bodenstreu abzuleiten.

Die Untersuchungen wurden im Rahmen des interdisziplinären Forschungsprojektes 'Karstforschung im Nationalpark Kalkalpen' durchgeführt.

Hierzu wurden im regenreichen Nordstau des Sengengebirges, mit Jahresniederschlagssummen über 1500 mm, fünf Karststandorte in einem Höhen transekt ausgewählt:

- Buchenfläche SR – Steyernquelle: ein nordexponierter Hang mit 120 jährigem Buchenhalhlenbestand auf 650 m Seehöhe;
- Fichtenfläche VR – Vorderreuterstein: ein nordwestexponierter Hang mit 95 jährigem Fichtenbestand mit eingesprengten Lärchen in 950 m Seehöhe;
- Fichtenfläche EE – Eiseneck: ein lockerer Fichtenaltbestand in Rottenstruktur auf stark verkarsteter südostexponierter Fläche in 1320 m Seehöhe und angrenzender
- Schlagfläche EE – Eiseneck und
- Kulturfläche EE – Eiseneck mit lockerer Fichten- und Lärchenpflanzung und flächendeckender Bodenvegetation auf vergleichbaren Standortseinheiten.

Auf den Probeflächen wurden verschiedene Meßgeräte zur Bestimmung des Freilandniederschlages, Kronendurchlasses und der Streuinterzeption etabliert. Auf der Buchenfläche SR wurden zusätzlich Stammabflußsammler installiert. Der Anteil des Stammabflusses bei Koniferenbeständen ist nach Literaturangaben mit 0 bis 2% des Freilandniederschlages vernachlässigbar. Von Juli bis Oktober 1996, bzw. Juni bis Oktober 1997 wurden wöchentliche Probenahmen durchgeführt. Die ermittelten Werte wurden flächenbezogen hochgerechnet. Als klimatische Steuerparameter wurden die Meßreihen von nahe der Flächen etablierten Klimastationen herangezogen.

Die Freilandniederschlagsmenge auf der Buchenfläche SR war in den Monaten von Juli bis Oktober mit 947 mm (1996) bzw. 907 mm (1997) jeweils mehr als 50 % höher als der langjährige Durchschnitt von 602 mm. Die Niederschlagssummen nehmen im Meßzeitraum (5 Monate) mit der Seehöhe durchschnittlich um 23 mm/100 m zu.

Der Stammabfluß auf der Buchenfläche SR betrug 1996 9,4 % und 1997 9,8 % des Freilandniederschlages. Im Vergleich zu den Literaturdaten ist das ein geringer Anteil. Dies dürfte aber auf die hohen Niederschlagsmengen bzw. -intensitäten und die weit ausladenden und eher hangabwärts orientierten Kronen zurückzuführen sein.

Die Interzeptionsverdunstung war auf der Buchenfläche SR 1996 11,7 % (106 mm) bzw. 1997 17,7 % (195 mm). Auf der Fichtenfläche VR ergaben sich trotz der geringen Überschildung von 0,65 doch relativ hohe Werte von 28 % (249 mm) und 29,8 % (316 mm). Durch die Rottenstruktur der Fichtenfläche EE sind die ermittelten Interzeptionswerte für 1996 mit 23,5 % (251 mm) und 1997 mit 29,5 % (362 mm) geringer als in geschlossenen Beständen. Bei Mitbeziehung der flächendeckenden Schlagvegetation wurden auf der Kulturfläche EE für 1996 11,4 % (120 mm) und 1997 16,4 % (201 mm) Interzeptionsverdunstung ermittelt.

Es besteht eine enge Beziehung Freilandniederschlag – Bestandsniederschlag. Mit linearen Regressionsgleichungen konnten probeflächenweise Bestimmtheitsmaße von  $R^2 = 0,97$  bis 0,98 erreicht werden.

Ein enger Zusammenhang zwischen Blattflächenindex und räumlicher Verteilung des Kronendurchlasses konnte nur auf der Fichtenfläche EE festgestellt werden. In diesem Bestand ist daher die Streuung der Bestandsniederschlagsmenge sehr hoch. Die gewählte Anzahl von Niederschlagssammlern (10 Rinnen à 0,1 m<sup>2</sup> Auffangfläche) reicht daher nur, um den mittleren Kronendurchlaß mit einer Genauigkeit von 24 % abzuschätzen. Durch die Rottenstruktur schwanken die Blattflächenindizes auf diesem Bestand am stärksten. Auf den übrigen Flächen variiert der Blattflächenindex in einem engen Rahmen und es überwiegt der Einfluß der standörtlichen Kronenarchitektur. In diesen Flächen war die Sammleranzahl für eine Bestimmung des Kronendurchlasses mit einer Genauigkeit unter 10 % ausreichend.

Als Klimaparameter, welche die Interzeption entscheidend beeinflussen, konnten unter Verwendung multipler Regressionsanalysen die Niederschlagsintensität und die mittlere Windgeschwindigkeit während des Niederschlages ermittelt werden. Auf der Fichtenfläche EE konnten dadurch 61 % der Variabilität der Interzeption durch diese Klimafaktoren erklärt werden.

Die unter Verwendung von Keramiksaugplattenlysimetern ermittelten Streuinterzeptionswerte zeigten hohe Streuungen innerhalb der Probeflächen, aber auch zwischen den einzelnen Probenahmeturnussen. Die Anzahl der Wiederholungen (5 Lysimeter je Fläche) reichte nur um mögliche Trends festzustellen. So ergaben sich auf der Buchenfläche SR aufgrund der geringen Humusaufgabe niedrige Interzeptionswerte von 16 % und auf der Fichtenfläche VR in

beiden Jahren hohe Werte von über 40 %. Dies bedeutet, daß geringe Niederschlagsmengen nicht ausreichen, um den Bodenwasserspeicher aufzufüllen. Für eine exaktere Bestimmung der Streuinterzeption wäre eine wesentlich höhere Anzahl von Lysimetern nötig gewesen.

Die Einzelergebnisse 1997 streuten auf der Fichtenfläche EE aufgrund des stark unterschiedlichen Kleinreliefs und der Humusmächtigkeit am Einbauort von -30 bis 90 %. Ähnlich Werte ergaben sich auf der Schlagfläche EE. Durch die bereits begonnene Umwandlung der Feinmoderschichte ergaben sich auf der Kulturfläche EE niedrigere Streuinterzeptionen von durchschnittlich 13 %.

Auf der Fichtenfläche EE und der Schlagfläche EE stellt die Auflage den einzigen durchwurzelbaren Bodenraum dar. Das bedeutet, daß hier der Niederschlagsrückhalt in der Auflage die Wasserversorgung des Bestandes sicherstellt.

## 7 Literaturverzeichnis

**Adler, W., Oswald, K. und Fischer, R.** (1994): Exkursionsflora von Österreich. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart und Wien.

**Balazs, A.** (1981): Interzeptionsverdunstung des Waldes im Winterhalbjahr als Bestimmungsgröße des nutzbaren Wasserdargebots. Beiträge zur Hydrologie, Sh 4, Seite 79 – 101

**Baumgartner, A. und Liebscher, H.-J.** (1996): Allgemeine Hydrologie. Quantitative Hydrologie. Berlin – Stuttgart: Gebrüder Borntraeger. 684 S.

**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.

**Benecke, P., Liebscher, H.-J. und Meyer E.** (1980): Forstlich – hydrologische Untersuchungen im Kaufunger Wald. Schriften der Universität Göttingen, Band 63.

**Benecke, P. und van der Ploeg, R.** (1978): Wald und Wasser Teil 2: Quantifizierung des Wasserumsatzes am Beispiel eines Buchen- und eines Fichtenaltbestand im Solling. Forstarchiv 49: Seite 26 – 32.

**Braun-Blanquet, J.** (1964): Pflanzensoziologie 3. Auflage, Springer Verlag Wien.

**Brechtel, H. M** (1970): Wald und Retention - Einfache Methoden zur Bestimmung der lokalen Bedeutung des Waldes für die Hochwasserdämpfung. Deutsch. Gewässerkundl. Mitt., 14 Jg., H. 4, Sonderdruck, Seite 91 - 103.

**Brechtel, H. M** (1975): Ermittlung der Gesamtverdunstung und der Absickerung zum Grundwasser anhand der Wasserbilanzmethode. Bericht, Hess. FVA., Inst. f. Forsthydrol., Seite 1 - 4.

**Cepal, N.** (1967): Interzeption in einem Buchen-, einem Eichen- und einem Kiefernbestand des Belgrader Waldes bei Istanbul. Zentralblatt für das gesamte Forstwesen 84 Jg; Seite 301 – 313.

**DVWK 211/1986** : Ermittlung des Interzeptionsverlustes in Waldbeständen bei Regen. Merkblätter zur Wasserwirtschaft, Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau e. V. Verlag Paul Parey Hamburg und Berlin.

**Eckmüller, O., Katzensteiner, K., Koch, G. und Reimoser, F.** (1994): Naturrauminventur Nationalpark Kalkalpen – Inventurschlüssel. Nationalpark Kalkalpen, OÖ Molln.

**Enders, G.** (1979): Theoretische Topoklimatologie. Forschungsbericht, Nationalparkverwaltung Berchtesgaden.

- Gärtner, A., Haseke, H., Schrutka, R. und Steinwendner, N.** (1994): Atlas der Geologie 1: 20.000 Nationalpark Kalkalpen - 1. Verordnungsabschnitt. Verein Nationalpark Kalkalpen.
- Gerke, H.** (1985): Untersuchungen zum Wasserhaushalt eines Kalkbuchenwald-Ökosystems und zur Wasserbewegung in flachgründigen Böden und im durchwurzelten Kalkgestein als Grundlage zur Modellentwicklung. Bericht des Forschungszentrums Waldökosysteme / Waldsterben der Universität Göttingen, Reihe A, Band 27.
- Glatzel, G.** (1983): Die Messung der Deposition langzeitwirksamer Luftschadstoffe in Wäldern. Vorschläge für ein Österreichisches Meßprogramm. Arbeitsmethoden. Österreichischer Forstverein, FIW. Seite 37f.
- Grunow, J.** (1955): Der Niederschlag im Bergwald. Zentralblatt für das gesamte Forstwesen 74 Jg; Seite 21 – 36.
- Grunow, J.** (1965): Die Niederschlagszurückhaltung in einem Fichtenbestand am Hohenpeißenberg und ihre meßtechnische Erfassung. Zentralblatt für das gesamte Forstwesen 84 Jg; Seite 212 – 229.
- Hädrich, F. und Heuvel dop, J.** (1978): Untersuchung zur Bodenverdunstung in einem Waldbestand. AFJZ, 149 Jg., Heft 1, Seite 1 – 18.
- Hager, H.** (1988): Stammzahlreduktion – Die Auswirkungen auf Wasser-, Energie- und Nährstoffhaushalt von Fichtenjungwüchsen. Forstliche Schriftenreihe, Universität für Bodenkultur, Wien, Band 1.
- Hager, H. und Holzmann, H.** (1997): Hydrologische Funktionen ausgewählter, ausgewählter naturnaher Waldökosysteme in einem alpinen Flußeinzugsgebiet. Projektendbericht i. A. der Österr. Akademie der Wissenschaften, Wien.
- Haseke, H. und Steinwendner, N.** (1993): Atlas der Geomorphologie 1: 20.000 Nationalpark Kalkalpen - 1. Verordnungsabschnitt. Verein Nationalpark Kalkalpen, 20 Kartenblätter, Legende, Textteil.
- Heuvel dop, J.** (1973): Die Größe der Interzeptionsverdunstung in Fichtenkronen abhängig von einzelnen klimatischen Faktoren. AFJZ, 144 Jg., Heft 2, Seite 35 – 41.
- Heuvel dop, J. Mitscherlich, G. und Künstle, E.** (1972): Über Kronendurchlaß, Stammablauf und Interzeptionsverlust von Douglasienbeständen am Süd- und Nordhang. AFJZ, 143 Jg., Heft 6, Seite 117 – 120.
- Hoffmann, H.-D.** (1982): Die Interzeption einer Fichtenstreudecke im Freiland und im Bestand., Beiträge zur Hydrologie, Sh. 4, Seite 103 – 116.
- Katzensteiner, K.** (1995): Wasserhaushalt und –chemismus von Karbonatböden. Interner Forschungsbericht, Institut für Waldökologie, Universität für Bodenkultur Wien.
- Lenz, L. und Weidersich, B.** (1993): Grundlagen der Geologie und Landschaftsformen. 376 Abbildungen und 30 Tabellen, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig – Stuttgart.

- Lepkowitz, P.** (1998): Einflüsse waldbaulicher Behandlungsmaßnahmen auf die Trinkwasserversorgung aus Karstgebieten. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- Licor Inc.** (1991): LAI-2000 Plant Canopy Analyzer, Instruction Manual. Licor Inc., Lincoln, Nebraska, USA.
- Lin, C. P.** (1968): Einflüsse verschiedener Pflanzenbestände auf den Wasserhaushalt in einem Einzugsgebiet. Dissertation. Lud. – Max. Universität München.
- Luef, S.** (1997): Intezeption der Streuschicht von Fichte und Buche. Diplomarbeit an der Universität für Bodenkultur, Wien. 89 S.
- Mahringer, G. und Bogner, M.** (1993): Beschreibung der Klimaverhältnisse im Planungsabschnitt Ost des Nationalparks Kalkalpen für die Jahre 1961 bis 1990. Amt der Oö. Landesregierung Nationalparkplanung im Verein Nationalpark Kalkalpen, Molln.
- Mayer, H.** (1974): Wälder des Ostalpenrandes. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart
- Millbacher, E.** (1990): Wasserhaushalt vergraster Fichtenkulturen auf Pseudogley. Dissertation an der Universität für Bodenkultur, Wien.
- Mitscherlich, G.** (1981): Wald , Wachstum und Umwelt. Band 2: Waldklima und Wasserhaushalt. J. D. Sauerländer, Frankfurt am Main.
- Mitscherlich, G. und Moll, W.** (1970): Untersuchungen über die Niederschlags- und Bodenfeuchtigkeitsverhältnisse in einigen Nadel- und Laubholzbeständen in der Nähe von Freiburg/Br. AFJZ, 141. Jg., Seite 49 – 60 .
- Molchanov, A. A.** (1960): The hydrological role of forests. Academy of Sciences of the U.S.S.R. Institute of Forestry, (Israel Program for Scientific Translations, Jerusalem, 1963), 407 S.
- Moser, M., Eckmüllner, O., Hasenauer, H. und Sterha, H.** (1994): Die Bestimmung von Nadeloberflächen über Elektrooptische Messungen. AFJZ, 166 Jg., Heft 5, Seite 89 – 93.
- Mucina, L., Grabherr, G. und Wallnöfer S.** (1993): Die Pflanzengesellschaften Österreichs –Wälder und Gebüsche. Gustav Fischer Verlag, Jena - Stuttgart - New York.
- Müller, F.** (1977): Die Waldgesellschaften und Standorte des Sengsengebirges und der Mollner Voralpen (Oberösterreich). Mitt. d. Forstl. Bundesversuchsanstalt, Wien. Band 121.
- Weihe, J.** (1984): Die Verteilung des Regens unter Buchenkronen. AFJZ, 156 Jg., Heft 5, Seite 81 – 89.

## 8 Anhang

Die ermittelten Blattflächenindizes der Probeflächen:

Blattflächenindex [ $\text{m}^2/\text{m}^2$ ]						
	Buchen- fläche SR	Fichten- fläche VR	Fichten- fläche EE	Schlag- fläche EE	Kulturfläche EE (in 1 m Höhe)	Kulturfläche EE (auf Bodenniveau)
verwendete Werte	LAI2000	LAIKORR1	LAI2000	LAI2000	LAI2000	LAI2000
<b>Regenrinnen</b>						
B10	4,47	2,89	3,59		0	1,22
B9	4,72	3,08	3,31		0	1,69
B8	4,84	3,20	3,07		0,6	1,3
B7	4,73	3,07	4,04		0	2,08
B6	4,74	2,89	4,06		0	1,19
B5	4,89	3,12	4,04	0	0,09	0,79
B4	4,77	3,30	4,14	0	0,04	1,02
B3	4,70		4,07	0	0	1,77
B2	4,70	3,42	3,12	0	0	2,59
B1	4,80	2,91	2,46	0,95	0	1,37
<b>Mittelwert</b>	<b>4,74</b>	<b>3,14</b>	<b>3,59</b>	<b>0,19</b>	<b>0,073</b>	<b>1,502</b>
<b>Standardabweichung</b>	0,11	0,18	0,58	0,42	0,19	0,54
<b>Variabilität [%]</b>	2,37	5,87	16,10	223,61	256,85	35,78
LAI2000 Meßwert Blattflächenindex Plant Canopy Analyzer						
LAIKORR1 Korrekturfunktion n. Moser et al. (1994) $\text{LAI2000} \cdot 0,0406 \cdot \text{Lorey'sche Mittelhöhe [m]}$						

Tabelle A1: Die ermittelten Blattflächenindizes der Probeflächen

## Vegetationsliste der Probeflächen

- Die Bezeichnung der Artennamen erfolgte nach der Nomenklatur Adler/Oswald/Fischer (1994)
- Vegetationsschicht (genaue Definition siehe Eckmüller et al. (1994)):
  - BS1 1. Baumschicht
  - BS2 2. Baumschicht
  - SS Strauchschicht
  - VKS verholzte Krautschicht – mit Angabe der maximalen Höhe [cm]
  - KE Keimlinge
  - KKS Krautschicht
  - MS Mooschicht (nicht vollständig erfaßt)
- Artmächtigkeit nach Braun-Blanquet (1964) (BrBl)

			Vegetations- schicht	Artmächtigkeit nach BrBl	max.Höhe [ cm]
<b>Buchenfläche SR</b>					
	<i>Fagus sylvatica</i>	Rotbuche	BS1	5b	
	<i>Fagus sylvatica</i>	Rotbuche	BS2	2a	
	<i>Circaea lutetiana</i>	Gemeines Hexenkraut	KKS	+	
	<i>Galium odoratum</i>	Waldmeister	KKS	+	
	<i>Larniastrum galeobdolon</i>	Goldnessel	KKS	+	
	<i>Oxalis acetosella</i>	Wald-Sauerklee	KKS	+	
	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn	VKS	+	10
	<i>Fagus sylvatica</i>	Rotbuche	VKS	+	15
	<i>Fraxinus excelsior</i>	Gemeine Esche	VKS	1	25
	<i>Ulmus glabra</i>	Bergulme	VKS	+	15
<b>Fichtenfläche VR</b>					
	<i>Larix decidua</i>	Lärche	BS1	1	
	<i>Picea abies</i>	Rotfichte	BS1	4b	
	<i>Athyrium filix-femina</i>	Wald-Frauentarn	KKS	+	
	<i>Atropa bella-donna</i>	Tollkirsche	KKS	+	
	<i>Brachypodium sylvaticum</i>	Wald-Zwenke	KKS	+	
	<i>Cardamine trifolia</i>	Kleeblatt-Schaumkraut	KKS	+	
	<i>Carex remota</i>	Winkel-Segge	KKS	+	
	<i>Carex sylvatica</i>	Wald-Segge	KKS	+	
	<i>Galium odoratum</i>	Waldmeister	KKS	+	
	<i>Galium rotundifolium</i>	Rundblättriges Labkraut	KKS	+	
	<i>Hordelymus europaeus</i>	Waldgerste	KKS	+	
	<i>Mycelis muralis</i>	Mauerlattich	KKS	+	
	<i>Oxalis acetosella</i>	Wald-Sauerklee	KKS	+	
	<i>Polystichum aculeatum</i>	Stacheliger Schildfarn	KKS	+	
	<i>Salvia glutinosa</i>	Klebriger Salbei	KKS	+	
	<i>Sanicula europaea</i>	Gewöhnliche Sanikel	KKS	+	
	<i>Viola sp.</i>	Veilchen	KKS	+	
	<i>Picea abies</i>	Rotfichte	KE	+	
	<i>Daphne laureola</i>	Lorbeer-Seidelbast	VKS	+	70
	<i>Fraxinus excelsior</i>	Gemeine Esche	VKS	+	15

Tabelle A2: Vegetationsliste der Probeflächen

			Vegetations- schicht	Artmächtigkeit nach BrBI	max.Höhe [ cm]
Fichtenfläche EE					
	<i>Picea abies</i>	Rotfichte	BS1	3a	
	<i>Picea abies</i>	Rotfichte	BS2	2b	
	<i>Salix appendiculata</i>	Großblättrige Weide	SS	+	
	<i>Adenostyles glabra</i>	Kahler Alpendost	KKS	1	
	<i>Agrostis capillaris</i>	Rotes Straußgras	KKS	+	
	<i>Ajuga reptans</i>	Kriechender Günsel	KKS	+	
	<i>Arabis alpina</i>	Alpen-Gänsekresse	KKS	+	
	<i>Asplenium trichomanes</i>	Schwarzstieliger Streifenfarn	KKS	+	
	<i>Asplenium viride</i>	Grüner Streifenfarn	KKS	+	
	<i>Calamagrostis varia</i>	Berg-Reitgras	KKS	1	
	<i>Campanula cochlearifolia</i>	Kleine Glockenblume	KKS	+	
	<i>Campanula scheuchzeri</i>	Scheuchzers Glockenblume	KKS	+	
	<i>Carduus defloratus</i>	Alpen-Distel	KKS	+	
	<i>Cirsium erisithales</i>	Klebrige Kratzdistel	KKS	+	
	<i>Cystopteris fragilis</i>	Zerbrechlicher Blasenfarn	KKS	+	
	<i>Deschampsia cespitosa</i>	Rasen-Schmiele	KKS	+	
	<i>Digitalis grandiflora</i>	Großblütiger gelber Fingerhut	KKS	+	
	<i>Dryopteris filix-mas</i>	Gemeiner Wurmfarne	KKS	+	
	<i>Epilobium montanum</i>	Berg-Weidenröschen	KKS	+	
	<i>Fragaria vesca</i>	Wald-Erdbeere	KKS	+	
	<i>Galium anisophyllum</i>	Verschiedenblättriges Labkraut	KKS	+	
	<i>Gymnocarpium robertianum</i>	Ruprechtsfarn	KKS	+	
	<i>Homogyne alpina</i>	Gemeiner Alpenlattich	KKS	+	
	<i>Huperzia selago</i>	Tannen-Teufelsklaue	KKS	+	
	<i>Hypericum maculatum</i>	Geflecktes Johanniskraut	KKS	+	
	<i>Luzula sylvatica</i>	Wald-Hainsimse	KKS	+	
	<i>Lycopodium annotinum</i>	Sprossender Bärlapp	KKS	+	
	<i>Mycelis muralis</i>	Mauerlattich	KKS	+	
	<i>Oxalis acetosella</i>	Wald-Sauerklee	KKS	+	
	<i>Poa nemoralis</i>	Hain-Rispengras	KKS	+	
	<i>Polystichum aculeatum</i>	Stacheliger Schildfarn	KKS	+	
	<i>Polystichum lonchitis</i>	Lanzen-Schildfarn	KKS	+	
	<i>Saxifraga rotundifolia</i>	Rundblättriger Steinbrech	KKS	+	
	<i>Sedum album</i>	Weißer Fetthenne	KKS	+	
	<i>Thymus pulegioides</i>	Arznei-Thymian	KKS	+	
	<i>Valeriana tripteris</i>	Dreischnittiger Baldrian	KKS	+	
	<i>Ctenidium molluscum</i>	Kamm-Moos	MS	+	
	<i>Dicranum scoparium</i>	Besenartiges Gabelzahnmoos	MS	+	
	<i>Hylocomium splendens</i>	Etagenmoos	MS	+	
	<i>Polytrichum sp.</i>	Haarmützenmoos	MS	+	
	<i>Tortella tortuosa</i>	Gekräuseltes Spiralzahnmoos	MS	+	
	<i>Acer pseudoplatanus</i>	Bergahorn	VKS	+	30
	<i>Picea abies</i>	Rotfichte	VKS	+	90
	<i>Salix appendiculata</i>	Großblättrige Weide	VKS	+	70
	<i>Sorbus aucuparia</i>	Vogelbeere, Eberesche	VKS	+	100
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Heidelbeere	VKS	+	25

Fortsetzung Tabelle A2: Vegetationsliste der Probestellen

			Vegetations- schicht	Artmächtigkeit nach BrBI	max.Höhe [ cm]
Kulturlfläche EE					
	<i>Larix decidua</i>	Lärche	SS	2a	
	<i>Picea abies</i>	Rotfichte	SS	2b	
	<i>Arabis alpina</i>	Alpen-Gänsekresse	KKS	+	
	<i>Asplenium viride</i>	Grüner Streifenfarn	KKS	+	
	<i>Bromus ramosus</i>	Wald-Trespe	KKS	+	
	<i>Calamagrostis epigejos</i>	Land-Reitgras	KKS	+	
	<i>Calamagrostis varia</i>	Berg-Reitgras	KKS	1	
	<i>Cystopteris fragilis</i>	Zerbrechlicher Blasenfarn	KKS	+	
	<i>Deschampsia cespitosa</i>	Rasen-Schmiele	KKS	+	
	<i>Digitalis grandiflora</i>	Großblütiger gelber Fingerhut	KKS	+	
	<i>Dryopteris dilatata</i>	Breiter Wurmfarne	KKS	+	
	<i>Dryopteris filix-mas</i>	Gemeiner Wurmfarne	KKS	+	
	<i>Epilobium montanum</i>	Berg-Weidenröschen	KKS	+	
	<i>Eupatorium cannabinum</i>	Wasserdost	KKS	+	
	<i>Fragaria vesca</i>	Wald-Erdbeere	KKS	+	
	<i>Gymnocarpium robertianum</i>	Ruprechtsfarn	KKS	+	
	<i>Hypericum maculatum</i>	Geflecktes Johanniskraut	KKS	+	
	<i>Luzula sylvatica</i>	Wald-Hainsimse	KKS	1	
	<i>Lysimachia nemorum</i>	Hain-Gilbweiderich	KKS	+	
	<i>Myosotis sylvatica</i>	Wald-Vergißmeinnicht	KKS	+	
	<i>Oxalis acetosella</i>	Wald-Sauerklee	KKS	+	
	<i>Polystichum aculeatum</i>	Stacheliger Schildfarn	KKS	+	
	<i>Polystichum lonchitis</i>	Lanzen-Schildfarn	KKS	+	
	<i>Ranunculus lanuginosus</i>	Wolliger Hahnenfuß	KKS	+	
	<i>Saxifraga rotundifolia</i>	Rundblättriger Steinbrech	KKS	+	
	<i>Scrophularia nodosa</i>	Knoten-Braunwurz	KKS	+	
	<i>Senecio ovatus</i>	Fuchs'sches Greiskraut	KKS	+	
	<i>Urtica dioica</i>	Große Brennnessel	KKS	+	
	<i>Ctenidium molluscum</i>	Kamm-Moos	MS	+	
	<i>Dicranum scoparium</i>	Besenartiges Gabelzahnmoos	MS	+	
	<i>Hylocomium splendens</i>	Etagenmoos	MS	+	
	<i>Polytrichum sp.</i>	Haarmützenmoos	MS	+	
	<i>Thuidium tamariscinum</i>	Thujamoos	MS	+	
	<i>Tortella tortuosa</i>	Gekräuseltes Spiralzahnmoos	MS	+	
	<i>Larix decidua</i>	Lärche	VKS	+	110
	<i>Lonicera alpigena</i>	Alpen-Heckenkirsche	VKS	+	80
	<i>Picea abies</i>	Rotfichte	VKS	+	130
	<i>Rubus idaeus</i>	Himbeere	VKS	3b	
	<i>Salix caprea</i>	Salweide	VKS	+	45
	<i>Sambucus racemosa</i>	Traubenholunder	VKS	+	120
	<i>Sorbus aucuparia</i>	Vogelbeere, Eberesche	VKS	+	65
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Heidelbeere	VKS	+	25

Fortsetzung Tabelle A2: Vegetationsliste der Probestellen

			Vegetations- schicht	Artmächtigkeit nach BrBI	max.Höhe [ cm]
Schlagfläche EE					
	<i>Adenostyles glabra</i>	Kahler Alpendost	KKS	+	
	<i>Asarum europaeum</i>	Haselwurz	KKS	+	
	<i>Calamagrostis varia</i>	Berg-Reitgras	KKS	+	
	<i>Gymnocarpium robertianum</i>	Ruprechtsfarn	KKS	+	
	<i>Hypericum maculatum</i>	Geflecktes Johanniskraut	KKS	+	
	<i>Luzula sylvatica</i>	Wald-Hainsimse	KKS	+	
	<i>Oxalis acetosella</i>	Wald-Sauerklee	KKS	+	
	<i>Polystichum aculeatum</i>	Stacheliger Schildfarn	KKS	+	
	<i>Polystichum lonchitis</i>	Lanzen-Schildfarn	KKS	+	
	<i>Urtica dioica</i>	Große Brennessel	KKS	+	
	<i>Ctenidium molluscum</i>	Kamm-Moos	MS	+	
	<i>Dicranum scoparium</i>	Besenartiges Gabelzahnmoos	MS	+	
	<i>Picea abies</i>	Rotfichte	VKS	+	35
	<i>Rubus idaeus</i>	Himbeere	VKS	+	
	<i>Sorbus aucuparia</i>	Vogelbeere, Eberesche	VKS	+	40
	<i>Vaccinium myrtillus</i>	Heidelbeere	VKS	+	25

Fortsetzung Tabelle A2: Vegetationsliste der Probeflächen

- Flächenbeschreibungen

Auf den folgenden Seiten sind die Probeflächen nach den nach modifizierten Kriterien der Naturrauminventur (Eckmüller et al. (1994) in Tabellenform beschrieben:

	Buchenfläche SR	Fichtenfläche VR	Fichtenfläche EE	Schlagfläche EE	Kulturfläche EE
<b>Makrorelief (r &gt;30m)</b>					
Seehöhe	680	940	1310	1280	1280
Exposition	Nord	Nordwest	Südost	Ost	Ost
Neigung [%]	55	35	35	40	40
Geländeform	Mittelhang	Mittelhang	Mittelhang	Mittelhang	Mittelhang
<b>Mesorelief (r = 30m)</b>					
Lokalklima	-	-	-	-	-
Exposition	Nord	Nordwest	Südost	Ost	Ost
Neigung [%]	55	32	50	15	25
Geländeform	Mittelhang	Mittelhang	Mittelhang	Hangverflachung	Rücken
Geologie - Gelände	Kalk	Kalk	Kalk	Kalk	Kalk
Geologie - Karte	Schutt	Wettersteinkalk	Hierlatzkalk	Hierlatzkalk	Hierlatzkalk
Geologie - Lockergestein	Braunlehm	Braunlehm	Kalk	Kalk	Kalk
Korngröße - Lockergestein	schluffig - tonig	schluffig - tonig	steinig - schuttig	steinig - schuttig/blockig	steinig - schuttig/blockig
Geomorphologische Einheit					
konkav / konvex	intermediärer	intermediärer	konkav - konvex	konkav - konvex	konkav - konvex
Anthropogene Einflüsse	-	-	-	Kahlschlag	-
<b>Probefläche</b>					
Bodenerosion/Akkumulation	-	-	-	-	-
Bodenerosion Zustand	-	-	-	-	-
Bodenerosion Ursache	-	-	-	-	-
Bodenerosion Ausdehnung n/10	-	-	-	-	-
Humuserosion /Akkumulation Ursache	Neigung / Wasserabfluß	-	Neigung / Wasserabfluß	-	-
Humuserosion Ausdehnung n/10	3	-	-	-	-
Humusakkumulation Ausdehnung n/10	3	-	1	-	-
Bodenverdichtung Ursache	-	-	-	-	-
Bodenverdichtung Ausdehnung	-	-	-	-	-
<b>Kleinrelief</b>					
ausgeglichen	ja	ja	nein	nein	nein
Rinnen,Gräben,Furchen (natürlich)	0	0	1	2	0
Rinnen,Gräben,Furchen (nutzungsbed.)	0	0	0	0	0
Buckel,Schichtköpfe	nein	nein	ja	ja	nein
Windwuffeller mit Rohboden	0	0	0	0	0
Windwuffeller ohne Rohboden	0	0	0	0	0
Felsanteil gesamt	0	0	4	2	<1
Felsanteil mit Flechten	0	0	0	0	0
Felsanteil mit Moosen	0	0	3	2	0
Karsterscheinungen	0	0	3	1	0

Tabelle A3: Flächenbeschreibung der Probeflächen

	<b>Buchenfläche SR</b>	<b>Fichtenfläche VR</b>	<b>Fichtenfläche EE</b>	<b>Schlagfläche EE</b>	<b>Kulturfläche EE</b>
Gründigkeit Minimum	15	20	0	0	0
Gründigkeit Maximum	60	75	50	55	55
Gründigkeit Median	40	45	25	25	30
Wasserhaushaltsklasse	frisch	frisch	mäßig frisch	mäßig frisch	mäßig frisch
Oberflächenwasser	-	-	-	-	-
Grundwasser	-	-	-	-	-
Stauwasser	leichter Pseudogley	Pseudogley	-	-	-
Hangwasser	-	-	-	-	-
Betriebsart	Hochwald	Hochwald	Hochwald	Hochwald	Hochwald
Wildökologischer Bestandstyp	Baumholz	Baumholz	Baumholz mit Rottenstruktur	Äsungjungwuchs	Deckungsjungwuchs
Waldfunktion	Schutzwald	nicht Schutzwald	Schutzwald	Schutzwald	Schutzwald
Verjüngungsnotwendigkeit	ja	nein	ja	ja	nein
Verjüngungszieltyp	Bu - LH	Fi - Ta - Bu			
Verjüngungszustand	zu geringe Stammzahl und Mischung				
mangelnde Baumarten in der Verjüngung	Bu - LH	Fi - Ta - Bu			
Verjüngungshemmnisse:					
Schalenwidverbiß	ja	ja	ja	ja	ja
Nagetierverbiß	ja				
Fegung					ja
Lichtmangel					
Vergrasung					ja
Verkrautung					
Schneegleiten			ja		ja
Samenbäume fehlen		ja	ja		
Erosion					
sonstiges			Humustyp	Äste	
mangelnde Baumarten in der Verjüngung		Ta - Bu	Ta		
Baumartenanteile aktuell:					
Fichte		dominant	dominant		
Tanne					
Lärche		beigemischt			
Buche	dominant		ingesprengt		
Bergahorn	ingesprengt				
Esche	ingesprengt				
Bergulme	ingesprengt				
Baumartenanteile potentiell natürlich:					
Fichte		obligat beigemischt	wahrscheinlich dominant	wahrscheinlich dominant	wahrscheinlich dominant
Tanne		obligat beigemischt	obligat beigemischt	obligat beigemischt	obligat beigemischt
Lärche					

	<b>Buchenfläche SR</b>	<b>Fichtenfläche VR</b>	<b>Fichtenfläche EE</b>	<b>Schlagfläche EE</b>	<b>Kulturfläche EE</b>
Buche	wahrscheinlich dominant	wahrscheinlich dominant	obligat beigemischt	obligat beigemischt	obligat beigemischt
Bergahorn	obligat beigemischt	möglich		möglich	möglich
Esche	möglich				
Bergulme	obligat beigemischt				
Forstliche Endnutzung:					
Intensität	-	-	-	Kleinkahlschlag	Kleinkahlschlag
Nutzungsgeschichte	-	-	-	bis 10 Jahre	mehr als 10 Jahre
Forstliche Vormutzung:					
Intensität	-	mäßige Auslesedurchforstung	-	-	
Nutzungsgeschichte	-	bis 10 Jahre zurück	-	-	
Totholzvolumen (1/ 100 m³)	2	9	0	35	11
Totholz liegend (< 10 cm)	wenig	wenig	wenig	sehr viel	wenig
Totholz anthropogen	nein	ja	nein	ja	nein
Gesamtdeckung auf Bodenniveau:					
1.Baumschicht	90	65	30	0	0
2.Baumschicht	10	0	20	0	0
Strauchschicht	0	0	5	0	25
Krautschicht gesamt	<3	3	20	3	80
Krautschicht Holzgewächse	<3	3	<3	<3	<3
Krautschicht Nadelholz	0	<3	<3	<3	<3
Krautschicht Laubholz	<3	<3	<3	<3	<3
Krautschicht Sträucher	0	0	<3	0	<3
Krautschicht Zwergsträucher	0	<3	0	0	0
Krautschicht Rubus- und Ribesarten	0	0	0	<3	40
Gräser	0	<3	5	<3	30
Kräuter	<3	<3	10	<3	10
Farne	0	<3	<3	<3	5
Moosschicht	0	<3	3	<3	10
Gesamtdeckung in 1,3 m über Boden:					
Nadelholz aller Schichten:	0	65	40	0	<3
Laubholz aller Schichten:	95	<3	0	0	3
Störungszeigertyp					
	-	-	-	Licht/Schlagzeiger	Licht/Schlagzeiger
Höhe 1.Baumschicht	36	32	33	0	0
Höhe 2.Baumschicht	24	22	22	0	0
Höhe Strauchschicht	12	11	11	0	4
Schichtung des Bestandes:					
1.Baumschicht	ausgeprägt vorhanden	ausgeprägt vorhanden	angedeutet vorhanden	-	-
2.Baumschicht	angedeutet vorhanden	-	angedeutet vorhanden	-	-
Strauchschicht	-	-	-	-	angedeutet vorhanden
Alter des Bestandes	120	60	160	0	15
potentiell natürliche Waldgesellschaft	ASPEFAGE 1	ASPEFAGE 2	ADENPICE	ADENPICE	ADENPICE

