

# **Untersuchung der direkten und diffusen Lichtverteilung in Bestandeslücken im verjüngungsökologisch minimalen Grenzbereich des Gebirgswaldes**

**von**

**Urs Walser**

*Referent*

Prof. Dr. J.-Ph. Schütz

*Korreferent*

Dr. M. Frehner

*Betreuer*

J.-J. Thormann



Diplomarbeit

**an der Abteilung für Forstwissenschaften  
der ETH Zürich**

# Inhaltsverzeichnis

---

	<i>Seite</i>
<b>Begriffe, Abkürzungen und Erklärungen</b>	3
<b>1. Einleitung</b>	5
1.1. Problemstellung, Zielsetzung, Hypothesen	5
1.2. Untersuchungsschwerpunkt	6
1.3. Bisherige Untersuchungen	7
<b>2. Material und Methode</b>	10
2.1. Beschreibung der Untersuchungsgebiete	10
2.1.1. Lage und Standort	10
2.1.2. Klima	12
2.1.3. Heutiger Waldzustand	13
2.2. Beschreibung der Bestandeslücken	14
2.3. Aufnahmeverfahren	17
2.4. Datenerfassung und –auswertung	18
2.4.1. Lückendarstellung	18
2.4.1.1. Aufnahme der Randbäume	18
2.4.1.2. Auswertung der Randbäume	18
2.4.2. Fischaugenphotos	19
2.4.2.1. Aufnahme der Fischaugenphotos	19
2.4.2.2. Auswertung der Fischaugenphotos	19
2.4.2.2.1. Bildbearbeitung	19
2.4.2.2.2. Bildauswertung	22

## Begriffe, Abkürzungen und Erklärungen

Damit der Text lesefreundlicher ist, wurde zum Teil auf eine exakte Wiedergabe einzelner Begriffe verzichtet. Die Begriffe werden deshalb nachfolgend beschrieben. Des weiteren werden einige Punkte und Sachverhalte erklärt, welche beim Lesen der Arbeit **vorausgesetzt** werden.

### - Sonnenscheindauer

Unter der **Sonnenscheindauer** wird in dieser Arbeit die tägliche, durchschnittliche, **potentielle** Sonnenscheindauer im Juni in einer bestimmten Bestandeslücke verstanden.

Die **potentielle** Sonnenscheindauer bezeichnet den Zeitraum, während dem die Sonne bei völliger Wolkenlosigkeit scheinen würde, unter Berücksichtigung der Horizontüberhöhung (auch Bergschatten genannt). Kunz (1983, S.8) bezeichnet sie als „effektiv mögliche Sonnenscheindauer.“

Die **durchschnittliche** Sonnenscheindauer bezieht sich auf die **Stichprobenpunkte** der Lücken.

Wenn es also heisst: die Lücke X erhält 2 Stunden Sonne, dann ist gemeint: die durchschnittliche, potentielle Sonnenscheindauer der Stichprobenpunkte in der Lücke X beträgt im Juni pro Tag 2 Stunden.

### - Räumliche Tendenz der Stichprobenpunkte mit gleicher Sonnenscheindauer

Von einer räumlichen **Tendenz** der Stichprobenpunkte von gleicher Sonnenscheindauer wird dann gesprochen, wenn mehr als 3 unmittelbar neben einander liegende Stichprobenpunkte eine Sonnenscheindauer aufweisen, die ähnlich hoch ist. Ähnlich hoch bedeutet: die Differenz der Sonnenscheindauer zwischen den gegenüberliegenden Stichprobenpunkten ist nicht grösser als eine halbe Stunde.

### - Bestandesöffnung

Unter Bestandesöffnung wird in dieser Arbeit der sichtbare Himmelsanteil unmittelbar oberhalb der Bestandeslücke verstanden. Der seitliche Himmelsanteil wird nicht berücksichtigt. Am besten stellt man sich die Bestandesöffnung als einen Schacht ohne Deckel vor: der umgebende Bestand wäre dann der Schacht - eine Betonwand, welche kein Licht durchlässt - und die Schachtöffnung die eigentliche Bestandesöffnung, durch welche allein die Sonnenstrahlen auf den Schachtboden gelangen können.

### - Bestandeslücke

Unter dem Begriff Bestandeslücke wird sowohl der sichtbare Himmelsanteil oberhalb als auch seitlich zur Lücke verstanden. Der Bestand spielt also für den direkten und diffusen Lichteinfall ebenfalls eine Rolle, im Gegensatz zur Bestandesöffnung.

### - Diffuse Strahlung

„Die Strahlung, welche von einer ebenen Fläche aus dem Halbraum über ihr (ausgenommen dem Raumwinkel der Sonnenscheibe) empfangen wird“ (Kunz 1983, S.9). In dieser Arbeit wird unter der diffusen Strahlung der unbedeckte Himmelsanteil verstanden.

### - Direkte Strahlung

„Die Strahlung, welche aus dem Raumwinkel der Sonnenscheibe auf eine Fläche fällt. Steht die Fläche in senkrechtem Winkel zur Strahlungsrichtung, so spricht man auch von der direkten Normal - Strahlung“ (Kunz 1983, S.9). In dieser Arbeit wird unter direkter Strahlung die potentielle tägliche Sonnenscheindauer in Stunden im Juni verstanden.

### - Licht

„Licht ist definiert als der Anteil der elektromagnetischen Strahlung im Wellenlängenbereich 380 - 760 nm, der vom menschlichen Auge erfasst werden kann“ (Brunner, 1993, S. 16).

### - Vergleich der Lücken untereinander

Damit die unterschiedlichen Lücken miteinander verglichen werden können, wurden die Bilder unterschiedlich stark korrigiert. Es wird unterschieden zwischen 3 Arten von unterschiedlich stark korrigierten Bildern. Sie werden in drei Bearbeitungsstufen unterteilt, nämlich in Bearbeitungsstufe A, B und C.

Bei der Bearbeitungsstufe A wird das Bild nicht oder nur leicht korrigiert. Die Bilder der Bearbeitungsstufe A geben bei einem Vergleich mit den Bildern der Bearbeitungsstufe B bzw. C darüber Auskunft, wie stark die jeweilige Korrektur ist. Ein Vergleich der Lücken anhand der Bearbeitungsstufe A ist nicht sinnvoll, weil die Lücken trotz gleicher Grösse unterschiedlich aufgebaut sind (vgl. Kapitel 2.4.).

Bei der Bearbeitungsstufe B soll versucht werden, alle Bilder gleich stark zu korrigieren, damit es möglich ist, die Lücken miteinander zu vergleichen. Fehlende Abschlüsse und ausufernde Bestandesränder wurden schwarz eingefärbt. **Bei einem Vergleich der Lücken wird immer von den Resultaten der Bearbeitungsstufe B ausgegangen.** Es handelt sich hier um eine idealisierte Modelllücke. Falls nichts anderes erwähnt wird, ist bei der Beschreibung der Lücke immer die idealisierte Modelllücke gemeint.

Schliesslich wird bei der Bearbeitungsstufe C der umgebende Bestand schwarz eingefärbt, so dass nur mehr die effektive Bestandesöffnung sichtbar ist. Die Resultate der Bearbeitungsstufe C sollen Auskunft darüber geben, wie viel diffuses bzw. direktes Licht durch die Bestandesöffnung selber und wie viel nur durch den Bestand auf den Waldboden der Lücken gelangt.

Die Bearbeitung der Bilder, insbesondere jene von Bearbeitungsstufe B, ist natürlich stark abhängig von der persönlichen Vorstellung von der idealen Form einer Bestandeslücke. Der effektive diffuse bzw. direkte Lichtanteil einer ideal aufgebauten Bestandeslücke dürfte zwischen den Resultaten der Bearbeitungsstufe A und C zu liegen kommen.

# 1. Einleitung

## 1.1. Problemstellung, Zielsetzung, Hypothesen

Das Licht ist für das Aufwachsen der Verjüngung im Gebirgswald einer der limitierendsten Faktoren. Man unterscheidet zwischen direktem und diffusem Licht. Die Bedeutung der direkten Strahlung für das Aufwachsen der Fichten wurde schon lange erkannt.

Der Einfluss der diffusen Strahlung auf das Wachstum wurde lange Zeit vernachlässigt. Imbeck und Ott (1987) konnten im Lusiwald keine eindeutige Beziehung zwischen dem Wachstum der Fichte und der diffusen Strahlung nachweisen. Frehner (2001 a, b) wies hingegen nach, dass die diffuse Strahlung im subalpinen Fichtenwald das Wachstum der jungen Fichten wesentlich beeinflusst. Frehner (2001 a, b) empfiehlt einen unbedeckten Himmelsanteil von mindestens 20% für das Aufwachsen der Fichten.

Diese Angaben kann man in der Forstpraxis relativ schlecht umsetzen. Bis heute ist es nicht möglich, anhand einer einfachen Methode das diffuse Licht direkt im Feld zu bestimmen. Auch ist es nach wie vor unklar, wie hoch der prozentuale Anteil der diffusen und direkten Lichtverteilung in Bestandeslücken unterschiedlicher Grösse ist. Beim direkten Licht kann die potentielle Sonnenscheindauer direkt im Feld mit einem Horizontoscop relativ einfach bestimmt werden kann (Tonne 1954, Schütz 1995, Frehner 2001 a).

Es gibt relativ genaue Angaben über die Grösse von Lücken bezüglich Lawinengefahr, Steinschlag, direktem Sonnenlicht, über die diffuse und direkte Lichtverteilung in Bestandeslücken, weiss man nach wie vor wenig.

In dieser Arbeit wird die Verteilung des diffusen und direkten Lichtes in Bestandeslücken unterschiedlicher Grösse, Exposition und Ausrichtung untersucht. Folgende Fragen und mögliche Antworten (**Hypothesen**) sollen das **Ziel der Untersuchung** aufzeigen:

1. Wie hängt die Verteilung der direkten und diffusen Strahlung von Grösse und Form der Bestandeslücke ab?

Die **räumliche Verteilung** der direkten und diffusen Strahlung ist stets gleich bei gleicher Ausrichtung und Exposition, **unabhängig** von Grösse und Form:

Die direkte Strahlung ist am höchsten:

- in den nordexponierten Lücken im talwärts gelegenen Teil der Lücke (Imbeck und Ott 1987).
- in den südexponierten Lücken im oberen Teil der Lücke (Brang 1996)
- in den ost- bzw. westexponierten Lücken zwischen der räumlichen Verteilung der süd- bzw. nordexponierten Lücken.

Die diffuse Strahlung ist in der Lückenmitte am höchsten und nimmt anschliessend zum Lückenrand ab.

2. Die **Höhe** der direkten und diffusen Strahlung ist **abhängig** von der Grösse und Form der Lücke.

Grösse: Die durchschnittliche tägliche effektive Sonnenscheindauer im Juni beträgt in den nordexponierten

- grossen Lücken (50 m lang 10m –15m breit): mehr als 2 Stunden (Imbeck u. Ott 1987).
- mittelgrossen Lücken (16m lang 5m bis 10 m breit): ca. 2 Stunden
- kleinen Lücken (12 m lang 5-8m breit): 1- 2 Stunden.

Die diffuse Strahlung ist bei den grossen und mittelgrossen Lücken grösser als 20 % und bei der kleinen Lücke kleiner als 20%.

Form: Die durchschnittliche direkte Strahlung ist bei den schlitzförmigen Lücken höher als bei den kreisförmigen. Die diffuse Strahlung ist bei den runden Lücken höher als bei den schlitzförmigen.

3. Wie steht es mit der räumlichen Verteilung der direkten und diffusen Strahlung in unterschiedlichen **Expositionen**?

Die **räumliche Verteilung** und die **Höhe** der direkten und diffusen Strahlung sind **abhängig** von der Exposition: südexponierte Hänge erhalten durchschnittlich doppelt soviel direktes Licht wie nordexponierte Hänge; die Werte der west- und ostexponierten Hänge liegen dazwischen.

4. Was für eine Auswirkung hat eine Änderung der **Ausrichtung** von langen schlitzförmigen Lücken auf die direkte und diffuse Lichtverteilung?

Im Kapitel **Diskussion** soll der Frage nachgegangen werden, welche **Form** der Bestandeslücke bezüglich Verteilung des diffusen und direkten Lichtes für die Verjüngung am günstigsten ist. Die Lücke muss eine minimale diffuse und direkte Lichtverteilung ermöglichen. Ich schlage vor, dass diese Lichtverteilung mindestens folgende Werte aufweisen muss:

**- diffuses Licht**

Über 50 % der Stichprobenpunkte müssen mehr als 20 % diffuses Licht aufweisen. Die Stichprobenpunkte sind mehr oder weniger gleichmässig über die gesamte Fläche verteilt.

**- direktes Licht**

Über 30% der Stichprobenpunkte müssen mehr als 2 Stunden tägliche potentielle Sonnenscheindauer im Juni aufweisen. Die Stichprobenpunkte sind mehr oder weniger gleichmässig über die gesamte Fläche verteilt. Welche Bestandeslücke erbringt mindestens diese Resultate für die Verteilung des diffusen und direkten Lichtes?

## 1.2. Untersuchungsschwerpunkt

Nachfolgend soll der durch den Titel der Arbeit abgesteckte Schwerpunkt der Untersuchung präzisiert werden.

### - Untersuchung der direkten und diffusen Lichtverteilung

in Bestandeslücken im verjüngungsökologisch minimalen Grenzbereich des Gebirgswaldes

Das **diffuse Licht** wurde nach dem **unbedeckten Himmelsanteil in %** berechnet. Der **unbedeckte Himmelsanteil** ist der Teil des Himmels, welcher weder vom Gelände noch von den Baumkronen abgedeckt wird. Mit Hilfe von Fischaugenphotos kann er bestimmt werden. Er gibt „bis zu einem gewissen Grad ein Mass für die diffuse Einstrahlung“ (Imbeck und Ott, 1987). Die Berechnung des diffusen und direkten Lichtes geschah mit Hilfe von Fischaugenfotos wie bei den Untersuchungen von Frehner (2001a).

Das **direkte Licht** wurde in bezug auf die **potentielle tägliche Sonnenscheindauer** untersucht. Die **potentielle tägliche Sonnenscheindauer** wurde für den Monat **Juni** ausgewertet, weil nach Frehner (2001 a, S. 122) nur geringe Unterschiede entstehen, „wenn die Sonnenscheindauer im Juni durch die Sonnenscheindauer pro Jahr ersetzt wird.“ Die **potentielle** Sonnenscheindauer repräsentiert nach Imbeck und Ott (1987) - dort als effektiv mögliche Sonnenscheindauer bezeichnet - die direkte Sonnenscheindauer genügend. Die Beschreibung der diffusen und direkten **Lichtverteilung** beschränkt sich auf die Stichprobenpunkte, welche durch den beschriebenen Raster (im Kapitel 2.3.) vorgegeben sind.

Untersuchung der direkten und diffusen Lichtverteilung

### - in Bestandeslücken

im verjüngungsökologisch minimalen Grenzbereich des Gebirgswaldes

Die Auswahl der Lücken ist beschränkt auf **sinnvolle Grössen**. Dies gilt sowohl in bezug auf ihre maximale als auch auf ihre minimale Grösse.

Die **maximale** Grösse einer Bestandeslücke ist bestimmt durch folgendes:

- Lawinengefährdung, Schneeablagerung:

Die Lücke muss in der Falllinie bei 70% Hangneigung kleiner sein als 50 m (von Krone zu Krone) (Ott et al. 1997, Wasser 1996).

- Steinschlag:

Die Lücke muss in der Falllinie bei 60% Hangneigung kleiner sein als 20 m (von Stamm zu Stamm) (Stammzahl > 400/ha, BHD > 40cm) (Ott et al. 1997, Wasser 1996).

Die Untersuchungen von Imbeck und Ott (1987) haben gezeigt, dass in den noch sinnvoll maximal grossen Lücken bezüglich Lawinengefährdung, das diffuse und direkte Licht kein limitierender Faktor für das Aufwachsen der Fichten darstellt - in Nordexposition.

Auf die Untersuchung solch grosser Lücken wurde deshalb verzichtet. Die Untersuchung soll sich ja auf den verjüngungsökologisch minimalen Grenzbereich konzentrieren. Deshalb sind die untersuchten grössten Lücken in bezug auf ihre Breite ein wenig kleiner als jene von Imbeck und Ott (1987), in bezug auf ihre Länge sind sie aber etwa gleich.

Die **minimale** Grösse einer Bestandeslücke ist gegeben durch:

-diffuses und direktes Licht

Die Lücken sollten mindestens 20% diffuses Licht aufweisen, bzw. mindestens 2 Stunden tägliche potentielle Sonnenscheindauer im Juni (Frehner 2001a, b).

Bezüglich **Form** der Bestandeslücken beschränkt sich die Untersuchung auf die beiden häufigsten: die runden und die schlitzförmigen.

Untersuchung der direkten und diffusen Lichtverteilung in Bestandeslücken

- im verjüngungsökologisch minimalen Grenzbereich des Gebirgswaldes

Unter verjüngungsökologischem Grenzbereich bezüglich direkter Strahlung wird der von Frehner (2001a) vorgeschlagene Wert von 2 Stunden potentieller Sonnenscheindauer im Juni und in bezug auf die diffuse Strahlung mindestens 20 % unbedeckter Himmelsanteil verstanden. Unter Verjüngung werden bei dieser Untersuchung Bäume mit einer Endhöhe von 1,3 m verstanden (=Aufwuchs). Die Aufnahme der Fischaugenphotos erfolgte dementsprechend auf einer Höhe von 1,3m.

Die Aufnahmen der Lücken beschränkten sich auf einen Höhenbereich von ca. 1600 m.ü.M.

## 1.3. Bisherige Untersuchungen

Warum soll gerade die Lichtverteilung in den Bestandeslücken untersucht werden? Spielen doch andere Faktoren für die Ansamung, die Keimung und für das Wachstum der Fichte eine ebenso bedeutende Rolle wie beispielsweise Vegetationskonkurrenz (Hochstauden, Zwergsträucher, Deckung der Krautschicht, Moosschicht), Ausaperungszeitpunkt, Niederschlag (Interzeption durch den Bestand), schneemechanische Schäden, schwarzer Schneeschimmel etc. (Imbeck und Ott 1987, Lüscher 1990, Brang 1996, Mayer 1997, Ott et al. 1997, Frehner 2001a).

### Bedeutung des direkten Lichtes für das Aufwachsen der Fichten

In vielen Untersuchungen wurde die Bedeutung des **direkten Lichtes** für das Fichtenwachstum bestätigt (Imbeck und Ott 1987, Lüscher 1990, Brang 1996, Mayer 1997, Frehner 1989, 2001a,b).

Frehner (2001a, b) kam zum Schluss, dass am **Nordhang** zunehmende Sonnenscheindauer und zunehmend diffuses Licht sich günstig auf die Keimung, Ansamung und das Wachstum der Fichte auswirken. Am **Südhang** hingegen wirken sich nach Frehner (2001a, b) wenig Sonnenscheindauer und zunehmend diffuses Licht positiv auf Keimung und Ansamung der Fichten aus. Nach Frehner (2001a) dürfte für das Wachstum der Fichte vor allem die Sonnenscheindauer im Juni relevant sein. Die Sonnenscheindauer der übrigen Monate hat einen geringeren Einfluss auf das Wachstum der Fichte.

In der Versuchsfläche Stillberg stellte man fest, dass Unterschiede im Höhenzuwachs der Bäumchen mit dem relativen Bestrahlungsunterschied zusammenhängen (Schönenberger, 1988). Das galt nicht bei Standorten, bei denen andere Umweltfaktoren überwiegen. Nach Turner (1966) zählt subalpin vor allem die direkte Strahlung zu einem der wichtigsten Einflussfaktoren für die Verjüngung.

Die Sonnenstrahlen haben auch indirekt in bezug auf den Wärme- und Wasserhaushalt eine grosse Bedeutung (Turner 1966). Die Wärme im Wurzelraum ist für das Überleben und Wachstum der Verjüngung der Fichte in der subalpinen Stufe entscheidend (Imbeck und Ott 1987, Frehner 1989, 2001a, Lüscher 1990, Brang 1996, Day et al 1989). Zwischen der Wärme im Wurzelraum und der Sonneneinstrahlung gibt es einen engen Zusammenhang (Brang 1996).

### **Notwendiges direktes Licht für das Aufwachsen der Fichten**

Nach Frehner (2001b) benötigen junge Fichten an nordexponierten Hängen für ein gutes Wachstum **mindestens 2 Stunden** tägliche Sonnenscheindauer im Juni. Imbeck und Ott (1987) empfahlen **mindestens 1,5 Stunden**. Ein Wachstum junger Fichten an nordexponierten Hängen wäre nach Frehner (2001a) aber auch unter einer Stunde täglicher Sonnenscheindauer im Juni möglich. Brang (1996) kam zu den gleichen Ergebnissen wie Imbeck und Ott (1987) und Frehner (1989, 2000a).

An südexponierten Hängen empfiehlt Brang (1996) pro Tag mind. 0,5 Stunden Sonne im Juni. Sämlinge haben andere Ansprüche an das Sonnenlicht (Sonnenscheindauer) als der Aufwuchs. Sie brauchen auf Humusunterlage max. 1,5 Stunden Sonne im Juni bzw. auf Mineralerde in etwa 1 Stunde Sonnenscheindauer (Brang 1996). Nach Ott et al. (1997) sollte die Sonnenscheindauer am Südhang auf Humusaufgabe für Keimlinge maximal 1,5 Stunden betragen; auf Rohboden ist die maximale Sonnenscheindauer bedeutungslos.

### **Bedeutung des diffusen Lichtes für das Aufwachsen der Fichten**

In bezug auf die Bedeutung des diffusen Lichtes für das Wachstum der Fichten gibt es in der Literatur unterschiedliche Angaben. Für Chazdon (1988) ist die Meinung, dass das diffuse Licht entscheidend für das Pflanzenwachstum ist, nicht haltbar (Chazdon 1988 in Brunner 1993).

Imbeck und Ott (1987) konnten keinen Einfluss der diffusen Strahlung auf das Fichtenwachstum feststellen.

Nach Burschel (1977) und Mosandl (1984) zählt hingegen montan die diffuse Strahlung zu den wichtigsten Einflussfaktoren für die Verjüngung. Nach Lüscher (1996) ist sie in der Montanstufe ebenfalls wesentlich. Nach Frehner (2001a) hat das diffuse Licht auf das Wachstum der Fichten einen positiven Einfluss sowohl am Nord- wie auch am Südhang.

Einleuchtend ist die Feststellung von Burschel (1997), dass die Assimilationsleistung bei den Forstpflanzen normalerweise bei höchstem Lichtgenuss am grössten ist. Falls aber, insbesondere bei Freiflächen, Frostgefahr, Austrocknungsgefahr und Unkrautkonkurrenz hinzu kommen, ist der Zuwachs im Halbschatten am höchsten. Hier könnte das diffuse Licht eine bedeutende Rolle spielen. Die Untersuchungen von Frehner (2001a) sind diesbezüglich interessant: der Vegetationstyp hat einen entscheidenden Einfluss auf das diffuse bzw. direkte Licht. Beim Vegetationstyp Heidelbeere beeinflusst die Sonnenscheindauer im Juni die Gesamthöhe der Fichten stärker als das diffuse Licht. Beim Vegetationstyp Alpenwaldfarn ergab sich das gegenteilige Resultat: hier beeinflusst das diffuse Licht die Gesamthöhe der Fichte wesentlich stärker als die Sonnenscheindauer. Wie gross auch immer der Einfluss des diffusen Lichtes auf das Fichtenwachstum ist, es kann jedenfalls die direkte Sonneneinstrahlung nicht ersetzen (Brang, 1996).



### Notwendiges diffuses Licht für das Aufwachsen der Fichten

Frehner (2001a) schlägt für das Aufwachsen der Fichte in der subalpinen Stufe einen diffusen Lichtanteil von mindestens 20% vor. Für die montane Stufe schlägt Lüscher (1990) einen diffusen Lichtanteil von 25 –40 % vor, für eine optimale Aufwuchsbedingung. Durch gezielten Eingriff kann das direkte und diffuse Licht gefördert werden. Die ebenfalls bedeutenden Faktoren wie Vegetationskonkurrenz, Niederschlag etc. werden durch eine solche Korrektur aber indirekt auch beeinflusst.

### Lückengrösse: Wie gross sollte eine Lücke im Minimum sein ?

Überlegungen in bezug auf Lückengrösse und Sonnenscheindauer im Gebirgswald wurden bereits anfangs dieses Jahrhunderts gemacht. Trepp (1955) schlägt vor, dass eine Lücke im nordexponierten Hochstauden - Fichtenwald etwa 1½ Baumhöhen lang und eine halbe Baumhöhe breit sein soll. Die Schlitzlöcher sollen nach Trepp (1955) schräg zur Falllinie angelegt werden, um Sonnenlicht parallel zur Schlitzrichtung auf den Boden zu bringen. Ott et al. (1997) macht in bezug auf die Breite der Schlitzlöcher einen ähnlichen Vorschlag wie Trepp (1955): die Schlitzlöcher sollen nicht breiter sein als  $\frac{1}{3} - \frac{1}{2}$  der Baumhöhe. Lüscher (1990) schlägt bezüglich Breite des Schlitzloches das Herausnehmen von 3 (-10) (ca. 1-5 Aren) Bäumen zur Einleitung der Verjüngung an subalpinen, nordexponierten Hängen vor. Durch kleine Öffnungen von Schneisen kann das Seitenlicht problemlos ins Bestandesinnere gelenkt werden, gezielt auf die Stelle, wo Naturverjüngung aufkommen soll (Bischoff, 1987). Für die Verjüngung geeignet sind kleine Geländerrücken, Baumstrünke, tiefe Baumkronen etc. (Ott, 1997, Frehner 2001a, Brang, 1996). An solchen Kleinstandorten braucht es manchmal nur eine Stunde mehr Licht und Wärme pro Tag und bereits setzt Verjüngung ein. Im Bezug auf die Schlitzrichtung hat Brang (1996) diverse Vorschläge gemacht.

### Untersuchung über die Lichtverteilung in Bestandeslücken

Imbeck und Ott (1987) untersuchten in zwei angelegten Lücken im Lusiwald die direkte Lichtverteilung. Von der Grösse her entsprechen diese Lücken der maximal zulässigen Grösse bezüglich Lawinengefährdung. Die durchschnittliche, tägliche, potentielle Sonnenscheindauer (bei Imbeck und Ott (1987) als effektive Sonnenscheindauer bezeichnet) im Juni betrug in den beiden Bestandeslücken 2,8 Stunden. Stichproben mit hoher Sonnenscheindauer sind vor allem im unteren mittleren Bestandesrand anzutreffen.

### Morgen oder Abendsonne?

Nach Bischoff (1987) genügt für das Aufwachsen der Verjüngung im inneralpinen Raum und an föhnbeeinflussten Hängen der Voralpen das Schlagen von schmalen Schneisen von ein bis maximal drei hintereinander stehenden Baumkronen gegen die **Morgensonne** hin. An nordwärts exponierten Hängen sollte die Schneisenöffnung etwas breiter sein. Damit kein Freilandklima entsteht, dürfen aber nicht zu grosse runde Lücken geschlagen werden.

In hochstaudenreichen, kühlen Nordhanglagen der Voralpen braucht die Naturverjüngung bedeutend mehr Wärmezufuhr. Dort sind nach Bischoff 1987, ähnlich zum Vorschlag von Trepp (1955), Öffnungen von ein bis zwei Baumhöhen in der Länge und von einer halben bis dreiviertel Baumhöhen in der Breite nötig. Die Schneise wird in kühlen Lagen mit Vorteil gegen die **Abendsonne** hin geöffnet (Bischoff 1987).

## 2. Material und Methode

### 2.1. Beschreibung der Untersuchungsgebiete

Die Untersuchung wurde im ETH-Lehrwald **Sedrun** (GR) Uaul Surein, im südexponierten Gegenhang Rueras sowie im Lusiwald oberhalb von **Davos-Laret** (GR) durchgeführt.

Die beiden Untersuchungsstandorte sind sich bezüglich Aufbau und Zusammensetzung ähnlich und werden deshalb im gleichen Unterkapitel vorgestellt. Nachfolgend eine kurze Beschreibung der drei Standorte.

#### 2.1.1. Lage und Standort

##### Sedrun

###### - Nordhang (Uaul Surrein)

Die untersuchten Lücken am 70% steilen, NNW-exponierten ETH-Lehrwald Uaul Surrein befinden sich auf einer Höhe von 1600 m ü.M. Im ETH-Lehrwald Uaul Surrein wurden von Brang (1996) und Frehner (2001a) in bezug auf die Ansamung, Keimung und das Wachstum der Fichten zahlreiche ökologische Untersuchungen durchgeführt.

Den Lehrwald der ETH hat Trepp (1979) pflanzensoziologisch kartiert. Bis ca. 1600 m.ü.M. kartierte Trepp (1979) einen Alpenlattich-Fichtenwald (57) mit Übergang zum Labkraut-Tannen-Fichtenwald (51). Darüber befindet sich bis ca. 1660 m ü.M. ein Alpenlattich-Fichtenwald mit Heidelbeere (57V) oder mit Wollreitgras (57C). Über 1660 m ü.M. wächst ein Hochstauden-Fichtenwald mit Alpenwaldfarn (60A) (Frehner 2001a nach Ott et al. 1997). Die geologische Unterlage besteht aus muskowitzreichen Paragneisen des Tavetscher Zwischenmassivs (Niggli 1944).

###### - Südhang (Rueras)

Der Untersuchungsstandort am gegenüberliegenden 65% steilen, südexponierten Hang liegt mit 1620 m ü.M. etwa gleich hoch wie die untersuchten Lücken am Nordhang.

Bei der Waldgesellschaft dürfte es sich um einen Schneesimsen-Fichtenwald (55\*, nach Ott et al. 1997) handeln.

Die geologische Unterlage unterscheidet sich ebenfalls vom nordexponierten Hang. Sie besteht aus verschiefertem Altkristallin des Aaremassivs (Niggli, 1940-43).

In der *Abb. 1* ist die Lage der beiden Untersuchungsstandorte angegeben.



*Abb. 1:* Lage der Untersuchungsstandorte in Sedrun Nordhang (Uaul Surrein) und Südhang (Rueras) (Ausschnitt aus der Landeskarte 256 Disentis, 1: 50'000)

Die jeweils vom gegenüberliegenden Hang aufgenommenen Abbildungen zeigen links den Nordhang (Uaul Surrein) (Abb. 2) und rechts den südexponierten Gegenhang (Rueras) (Abb. 3). Die Zahlen geben den Ort der aufgenommenen Lücken an.



Abb. 2: Ansicht des Nordhangs (Uaul Surrein)  
(Sommer, 2000)

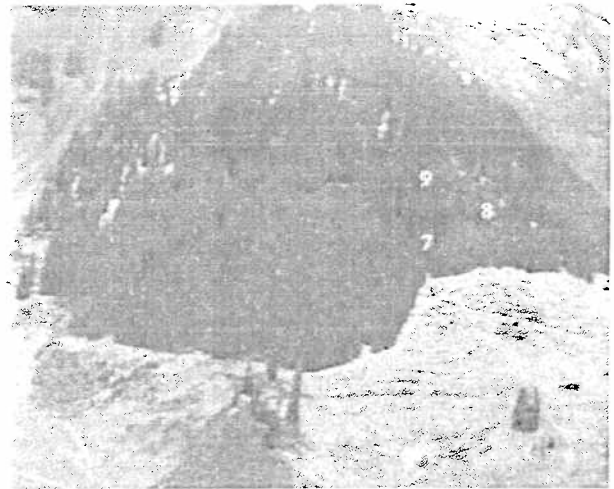
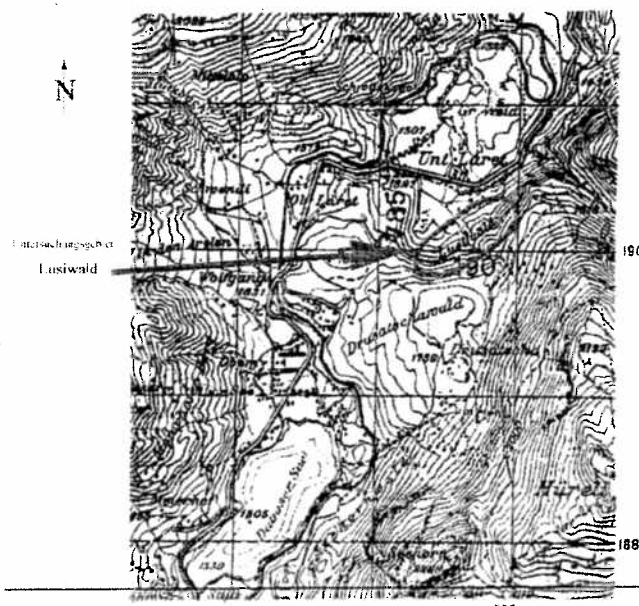


Abb. 3: Ansicht des Südhangs (Rueras)  
(Frühling, 2000)

## Davos

### Lusiwald

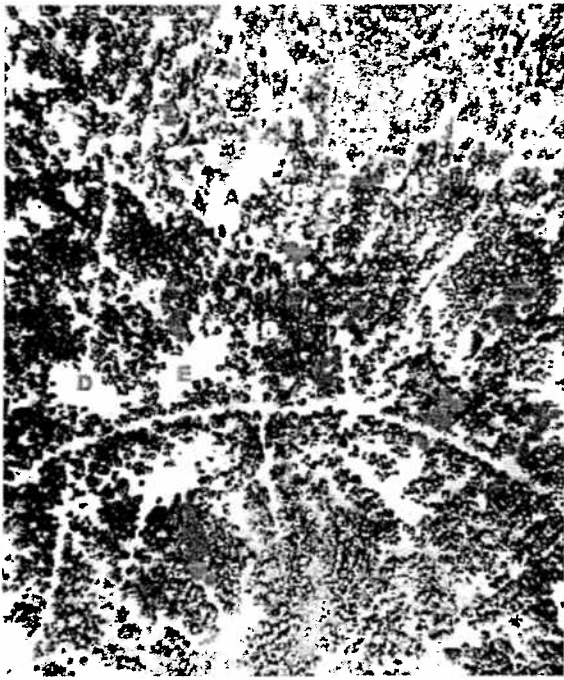
Der NNW exponierte und bis zu 42° steile Lusiwald oberhalb Davos-Laret liegt auf einer Höhe von 1510 – 1740 m ü.M. Seit 1979 wurden dort von der WSL (auch SLF) und der Professur für Waldbau der ETH Zürich waldbauliche und schneekundliche Untersuchungen durchgeführt (Imbeck und Ott, 1987, Sommerhalder, 1991, 1992, Meyer-Grass 1992). Bei der Waldgesellschaft handelt es sich um einen typischen Hochstauden-Fichtenwald (60) (nach Ott et al. 1997). Trepp (1955) bezeichnet sie als Hochstauden-Alpenfichtenwald (picetum subalpinum adenostyletosum).



Der Untergrund ist ein spätglazialer Schuttkegel aus saurem Kristallin (Gneise und Tonschiefer). Der nährstoffreiche und biologisch sehr aktive Boden ist eine Mull-Hangbraunerde (Sommerhalder 1991).

Aus Abb. 4 ist die Lage des Untersuchungsstandortes Lusiwald (Davos) ersichtlich.

Abb. 4: Lage des Untersuchungsstandortes Lusiwald (Davos) (Ausschnitt aus der Landeskarte 248 Prättigau, 1: 50'000)



Die Luftbildaufnahme zeigt den Lusiwald im Jahre 1988 (Abb. 5). Sie ist nur noch im oberen Teil aktuell, wo auch die Untersuchung durchgeführt wurde. Der untere Teil wurden infolge von Vivian stark verändert. Die Zahlen zeigen den Ort der untersuchten Lücken an. Die zwei Lücken im unteren Teil (gekennzeichnet mit D und E) sind 1981 angelegt worden. In ihnen wurden zahlreiche ökologische Untersuchungen durchgeführt (Imbeck und Ott 1987). In den drei oberen Lücken (gekennzeichnet mit A, B und C) wurden umfangreiche schneekundliche Untersuchungen durchgeführt (Meyer-Grass 1992).

Abb. 5: Luftbildaufnahme vom Lusiwald (Nov.1988) (Sommerhalder, 1991, leicht modifiziert).

Zusammenfassend:

Die beiden Standorte Uaul Surrein (Sedrun) und Lusiwald (Davos) sind sich bezüglich Exposition, Hangneigung, Höhe über Meer sehr ähnlich. Rueras (Sedrun) unterscheidet sich bezüglich der Exposition von den beiden anderen Standorten.

## 2.1.2. Klima

Auch das Klima der beiden Untersuchungsstandorte Uaul Surrein, Rueras (Sedrun) und Lusiwald (Davos) ist ähnlich. Beide Standorte liegen in den Zwischenalpen, im Übergangsbereich vom ozeanischen zum kontinentalen Klima. Die nachfolgende Tabelle zeigt die Klimawerte der nächstgelegenen Klimastationen Davos-Dorf, Disentis und Sedrun.

Parameter	Davos	Messperiode	Disentis / Sedrun	Messperiode
Jahresmitteltemperatur	2,8 ° C	1901-1990	6,5 ° C	1948-1960
Temperaturminimum	-6,1° C (Januar)	1901-1990	-3,2 ° C (Januar)	1948-1960
Temperaturmaximum	12,1° C (Juli)	1901-1990	13,0 ° C (Juli)	1948-1960
Mittlerer jährlicher Niederschlag	1150 mm	1941-1989	1200 mm	1948-1960
Anzahl Tage mit Schneedecke	175 (Nov bis April)	1949/50- 1967/68	151 Tage	1971 -1981
Mittlere Schneehöhe	22- 90 cm	1949/50- 1967/68	200 cm	1971 -1981

Tab. 1: Klimawerte der Messstation Davos-Dorf, Disentis und Sedrun der Schweiz. Meteorologischen Anstalt (SMA).

Die Niederschlagswerte im Untersuchungsstandort Lusiwald dürften zwischen den Niederschlagswerten von Davos (1159 mm) und Klosters (1285 mm) liegen. Das Klima im Lusiwald liegt im Übergangsbereich zwischen dem ozeanisch geprägten Klima des Prättigaus und dem kontinental geprägten Klima von Davos (Imbeck und Ott 1987).

Das Klima in Sedrun ist gemässigt ozeanisch geprägt. Im Untersuchungsstandort dürfte die Jahresmitteltemperatur bei einem Temperaturgradienten von 0,6 °C pro 100 m (Gensler 1978 in Brang 1996) im Mittel 2,5 ° tiefer sein als die Jahresmitteltemperatur von Disentis.

Die Temperaturunterschiede zwischen dem untersuchten Hang von NNW - und dem Südhang dürften (verursacht durch die Sonneneinstrahlung) beträchtlich sein. Nach Becker (1982) beträgt der Wärmeunterschied zwischen einem südexponierten 40 Grad steilen Hang und einem gleich steilen nordexponierten Hang über 100%.

### 2.1.3. Heutiger Waldzustand – Waldentwicklung

Der Waldaufbau (-textur, struktur etc.) beeinflusst die Lichtverhältnisse in den Lücken wesentlich. Nachfolgend soll deshalb eine kurz Beschreibung der Untersuchungsstandorte bezüglich Waldaufbau folgen.

#### **Sedrun**

##### **Nordhang (Uaul Surrein)**

Der untersuchte Wald „Uaul Surrein“ ist wahrscheinlich nach Grosskahlschlag entstanden (Brang, 1996). Er zeichnet sich durch ein Mosaik von kleinen und grösseren (bis 1 ha) unbestockten Flächen unter- und oberhalb der untersuchten Lücken aus. Die Entwicklungsstufe entspricht in etwa einem mittelstarken Baumholz. Der Bestand ist einschichtig und besteht mehrheitlich aus Fichten.

Der grösste Teil dieser unbestockten Flächen ist die Folge des Sturms Vivian im Jahre 1990. Abbildungen des Waldes vor und nach Vivian sind in der Arbeit von Frehner (2001a, S.36 u. 37) zu finden. Ein anderer Grund für das Fehlen der Bestockung und der Verjüngung sind die waldfeindlichen Bedingungen in den Runsen (üppige Bodenvegetation, mangelnde Wärme, diffus aufgelichtete Flächen, Schneeschimmelbefall und die übergrossen Wildpopulationen). War früher das Hauptproblem der Verbiss durch Schaf- und Ziegenherden, ist es heute der Verbiss durch das Wild. Nach Bissegger (1989) wurden im Herbst 1986 und 1987 mehr als 50% der Fichten zwischen 10 und 130 cm Höhe verbissen.

##### **Südhang (Rueras)**

Der untersuchte Wald auf der Südseite von Sedrun liegt in einem Jagdbanngebiet. Dieses sehr dichte, einschichtige, starke Stangenholz hat man kürzlich durchforstet. Im Jahre 1932 – 1945 wurde auf dieser Talseite eine Aufforstung durchgeführt. Die Pflanzungen gedeihen gut, an wenigen trockenen, exponierten Stellen leidet die Fichte unter Hitze. Die Vogelbeere wurde als Vorbau verwendet. Weil sie nur an trockenen Stellen gepflanzt wurde, gedeiht sie schlecht. Die Fichten haben Mühe im direkten Sonnenlicht aufzukommen. Jene unter dem Schutz der Erlen kommen besser auf. Ein durchgehender Vorbau von Vogelbeeren wäre wünschenswert gewesen (Frehner, Mitteilung).

## Davos

### Lusiwald

Der Lusiwald wurde zwischen 1860 und 1870 weitgehend abgeholzt, das zeigt Abb. 6. (Sommerhalder, 1991, Imbeck und Ott, 1987, Ott et al. 1997). Der Bestand ist stammzahlreich, einschichtig und gleichförmig. Die Entwicklungsstufe entspricht der eines mittleren Baumholzes. Durchforstungen fanden bis 1980 praktisch keine statt. (Sommerhalder, 1991, Imbeck und Ott 1987). Es ist daher nicht verwunderlich, wenn Schneedruckschäden relativ häufig sind. Grössere Schäden verursachten der Sturm Vivian 1990 und nachfolgender Borkenkäfer. Ein Vergleich zwischen den Abbildungen 6 und 7 zeigt eindrücklich, wie sich der Wald innerhalb eines Jahrhunderts entwickelt hat.



Abb. 6: Versuchsgebiet Lusiwald bei Davos (links oben) am Ende des 19. Jahrhunderts. Im Vordergrund Schwarzsee und Davos Laret. (Fotograf unbekannt, ca. 1890).



Abb. 7: Versuchsgebiet Lusiwald heute vom selben Standort aus wie Abbildung (Aufnahme: SLF, 2. 8. 90).

Beide Abb. (inkl. Kommentar) sind der Arbeit von Sommerhalder (1991) entnommen.

### Zusammenfassend:

Die Waldentwicklung im Lusiwald und in Uaul Surrein ist ähnlich. Beide Wälder wurden wahrscheinlich im vorletzten Jahrhundert abgeholzt und regelmässig von Ziegen und Schafen beweidet. Anschliessend wuchsen die Fichten überdicht an. Beide Wälder wurden 1990 durch den Sturm Vivan und den anschliessenden Borkenkäferbefall stark verändert. Sie repräsentieren – was ihre Entstehung betrifft – einen grossen Teil der schweizerischen Gebirgswälder (Imbeck und Ott, 1987). Durch den geringen Wilddruck und durch Bodenverletzung und –schürfungen infolge Beweidung konnten sich die Fichten überdicht ansamen. Die so entstandenen Bestände sind deshalb sehr stammzahlreich, gleichförmig und einschichtig.

## 2.2. Beschreibung der Bestandeslücken

Die Form der Bestandeslücken lässt sich in schlitzförmige und runde einteilen. Der grösste Teil der untersuchten Lücken ist schlitzförmig. Unter dem Sammelbegriff schlitzförmige Bestandeslücken werden Lücken verstanden, die mindestens 1,5 mal länger als breit sind. Alle übrigen Lücken bezeichne ich als rund.

Die Grösse der Bestandeslücken ist sehr unterschiedlich. Die grössten Bestandeslücken sind ca. 1/3 bis 1/2 Baumhöhe breit. Das entspricht der Breite, welche von Trepp (1955) und Ott et al. (1997) in der subalpinen Stufe als maximal vernünftig vorgeschlagen wurde. Die kleinsten Bestandeslücken sind etwa 15 mal kleiner als die grössten. Gemäss Voruntersuchungen mit dem Horizontoscop scheint die Sonne im Juni in diesen kleinen Lücken weniger als 2 Stunden.

Eine exakte Darstellung der Lücken kann aus dem Anhang entnommen werden.

## - Schlitzförmige Bestandeslücken

### A. Grosse Bestandeslücken

Die grossen schlitzförmigen Lücken sind mit einer Länge von mehr als 50m sehr lang; in bezug auf ihre Breite sind sie mit 10m – 15m eher schmal. Die Ausrichtung der Lücken 1 und 2 ist gleich, im Gegensatz zur Lücke 3, welche gegensätzlich ausgerichtet ist. Der durchschnittliche BHD der Randbäume ist bei allen Lücken mit 38cm in etwa gleich hoch (vgl. Tab. 2). Detailliertere Angaben zu den Randbäumen sind dem Anhang zu entnehmen. Die Anzahl Stichproben pro Lücke ist unterschiedlich. Sie war durch das Versuchsdesign (siehe Kapitel 2.3. Aufnahmeverfahren) gegeben. Die Lücken wurden 1987/88 durch E. Ott (ETH), M. Frehner (ETH) und Revierförster T. Beer (Gemeinde Tujetsch) angelegt (Frehner, 2001a). Brang (1996) führte in diesen Lücken Verjüngungsökologische Untersuchungen durch.

	Lückennummer	Standort Exposition		Ausrichtung		Hangneigung (längs zur Lücke)	Länge	Breite	Randbäume		Anzahl Stichproben
									BHD	Anzahl	
1. Lücke	1	Sedrun	N	315 <sup>g</sup>	NW	22%	72m	10m	38cm	67	39
2. Lücke	2	Sedrun	N	320 <sup>g</sup>	NW	50%	50m	15m	39cm	63	39
3. Lücke	3	Sedrun	N	25 <sup>g</sup>	NE	40%	70m	10m	37cm	87	31

Tab. 2: Darstellung der grossen schlitzförmigen Bestandeslücken

### B. Mittलगrosse Bestandeslücken

Die beiden mittelgrossen Bestandeslücken wurden in Davos aufgenommen. Sie sind in bezug auf ihre Länge um einiges kleiner als die grossen schlitzförmigen Bestandeslücken. Die Ausrichtung ist vergleichbar mit jener der zwei grossen schlitzförmigen Bestandeslücken 1 und 2 (vgl. Tab. 3). Wahrscheinlich wurden die Lücken 1981 für schneekundliche Untersuchungen angelegt (Meyer-Grass 1992).

	Lückennummer	Standort Exposition		Ausrichtung		Hangneigung (längs zur Lücke)	Länge	Breite	Randbäume		Anzahl Stichproben
									BHD	Anzahl	
1. Lücke	11	Davos	N	335 <sup>g</sup>	NW	10%	16m	5m/9m	37cm	17	18
2. Lücke	12	Davos	N	295 <sup>g</sup>	W	0%	16m	10m	41cm	13	20

Tab. 3: Darstellung der mittelgrossen schlitzförmigen Bestandeslücken

### C. Kleine Bestandeslücken

Die kleinen Bestandeslücken weisen in bezug auf Ausrichtung, Hangneigung, Länge und Breite eine grosse Variation auf, das zeigt Tab. 4. Sie unterscheiden sich vor allem hinsichtlich ihrer Breite von den mittelgrossen Bestandeslücken. Alle Lücken sind natürlich entstanden.

	Lückennummer	Standort Exposition		Ausrichtung		Hangneigung (längs zur Lücke)	Länge	Breite	Randbäume		Anzahl Stichproben
									BHD	Anzahl	
1. Lücke	13	Davos	N	295 <sup>g</sup>	W	8-15%	12m	5 m	37cm	12	9
2. Lücke	15	Davos	N	390 <sup>g</sup>	N	85%	12m	8m	36cm	10	14
3. Lücke	16	Davos	N	295 <sup>g</sup>	W	5%	10m	5m	34cm	12	13
4. Lücke	4	Sedrun	N	365 <sup>g</sup>	NW	0% (quer)	12m	5 m	37cm	13	5
5. Lücke	5	Sedrun	N	65 <sup>g</sup>	NE	45% (längs)	15m	5m	48cm	14	4
6. Lücke	9	Sedrun	S	320 <sup>g</sup>	NWW	25%	7.5m	4m	28cm	15	6

Tab. 4: Darstellung der kleinen schlitzförmigen Bestandeslücken

## - Runde Bestandeslücken

### A. Grosse Bestandeslücken

Die grosse runde Bestandeslücke befindet sich, im Vergleich zu den vorhergehenden Lücken, im flachen Gelände. Der durchschnittliche BHD der Randbäume ist mit 29 cm tiefer als bei den schlitzförmigen Lücken.

	Lückennummer	Standort Exposition		Ausrichtung		Hangneigung (längs zur Lücke)	Länge	Breite	Randbäume		Anzahl Stichproben
									BHD	Anzahl	
1. Lücke	14	Davos	N	300 <sup>g</sup>	W	0	14m	13m	29	14	19

Tab. 5: Darstellung der grossen runden Bestandeslücken

### B. Mittलगrosse Bestandeslücken

Tab. 6 zeigt die beiden untersuchten mittelgrossen, runden Bestandeslücken: die 1. Lücke wurde in Sedrun aufgenommen, die 2. Lücke in Davos.

	Lückennummer	Standort Exposition		Ausrichtung		Hangneigung (längs zur Lücke)	Länge	Breite	Randbäume		Anzahl Stichproben
									BHD	Anzahl	
1. Lücke	6	Sedrun	N	375 <sup>g</sup>	NNW	65%	18m	10m	33	22	20
2. Lücke	10	Davos	N	10 <sup>g</sup>	NNE	75%	18m	16m	33	14	44

Tab. 6: Darstellung der mittelgrossen, runden Bestandeslücken

### C. Kleine Bestandeslücken

Die beiden kleinen, runden Bestandeslücken befinden sich am südexponierten Hang „Rueras“, oberhalb von Sedrun. Der umgebende Bestand ist ein Stangeholz (siehe Tab. 7).

	Lückennummer	Standort Exposition		Ausrichtung		Hangneigung (längs zur Lücke)	Länge	Breite	Randbäume		Anzahl Stichproben
									BHD	Anzahl	
1. Lücke	7	Sedrun	S	365 <sup>g</sup>	NW	70%	10m	8m	24	10	24
2. Lücke	8	Sedrun	S	--	---	70%	12m	10m	25	11	7

Tab. 7: Darstellung der kleinen runden Bestandeslücken

Wie aus den Tabellen ersichtlich ist, wurden am NNW gerichteten Hang in Sedrun vor allem grosse, lange schlitzförmige Lücken untersucht. In Davos und am Südhang von Sedrun sind vor allem kleine runde Bestandeslücken aufgenommen worden. Die grossen und mittelgrossen schlitzförmigen Lücken wurden angelegt, die übrigen Lücken sind natürlich entstanden.

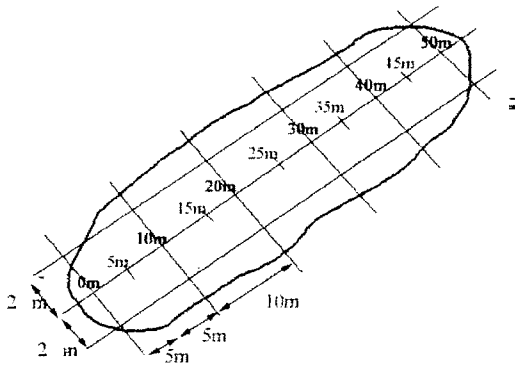


## 2.3. Aufnahmeverfahren

Die Literatur ergab keine befriedigende Auskunft über die erforderliche Anzahl Stichproben bezüglich Untersuchung der diffusen und direkten Strahlung in Bestandeslücken. Aus diesem Grund wurden Voruntersuchungen in grossen und kleinen Bestandeslücken durchgeführt.

Voruntersuchungen, insbesondere bei der Lücke 1 am Nordhang von Sedrun, haben gezeigt, dass die diffuse und direkte Strahlung parallel und quer zur Lückenrichtung Schwankungen unterliegt. Das hängt vor allem mit den unregelmässigen Bestandeslückenrändern zusammen. Einige Lücken wiesen Ausbuchtungen, andere fehlende Abschlüsse auf. Das diffuse Licht wurde mit dem Horizontoscop (Tonne 1954) grob ermittelt. Die auf das Helligkeitsnetz von Tonne (1954) gezeichneten Horizontogramme wurden von Hand ausgewertet. Das direkte Licht wurde mit dem Horizontoscop (Tonne 1954) grob ermittelt.

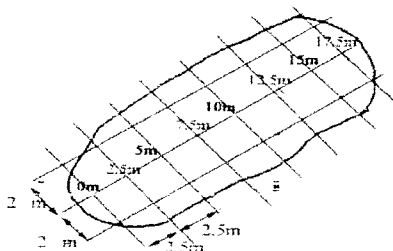
Im Vergleich zum Abstand zwischen den einzelnen Messungen waren die Schwankungen der diffusen und direkten Strahlung parallel zur Lückenrichtung kleiner als quer zur Lückenrichtung. Aus diesem Grund wurde folgendes Untersuchungsdesign für grosse Lücken gewählt:



Das diffuse und direkte Licht wurde parallel zur Lücke in der Mitte in einem Abstand von 5 Metern untersucht. Quer zur Lückenrichtung sind bei den grossen Lücken alle 10 Metern Aufnahmen gemacht worden, in einem Abstand von 2 Metern (siehe *Abb. 8*).

*Abb. 8* : Untersuchungsdesign für grosse Lücken

Bei kleinen Lücken wurde das Untersuchungsdesign feinmaschiger gewählt; mit Ausnahme der Lücke 10 in Davos, bei welcher die Voruntersuchungen mit einem noch feinmaschigeren Netz durchgeführt wurde, wurde das folgende Untersuchungsdesign gewählt:



Die Aufnahmen wurden längs und quer zur Lücke gemacht in den Schnittpunkten des rechteckigen Netzverbandes von 2 m Breite und 2,5m Länge (siehe *Abb. 9*).

*Abb. 9* : Untersuchungsdesign für kleine Lücken

Damit die Aufnahmen bei den relativ seltenen günstigen Wetterbedingungen möglichst effizient durchgeführt werden konnten, wurden die Stichprobenpunkte vor der Aufnahme vermessen und verpflockt.

## 2.4. Datenerfassung und -auswertung

### 2.4.1. Lückendarstellung

#### 2.4.1.1. Aufnahme der Randbäume

Für eine exakte Darstellung der Lücken wurden mehrere Merkmale der Randbäume aufgenommen (siehe *Tab.8*). Randbäumen grenzen eine Lücke ab. Es wurden nur solche aufgenommen, welche die Lücke unmittelbar abgrenzen, ihre Kronen berühren sich gegenseitig und die Kronenränder sind nicht zu weit voneinander entfernt. Insgesamt wurden über 360 Randbäume aufgenommen. Die aufgeführten Messgrößen wurden auf einen Block geschrieben und anschliessend in eine Excel-Tabelle eingegeben. Das Vorgehen zur Einmessung der Bäume erfolgte nach Zingg (1988).

*Tab. 8* zeigt, welche Messgrößen von den Randbäumen aufgenommen worden sind:

	Messgrösse	Aufnahmegesetz	Messeinheit	Genauigkeit
1.	Baumhöhe	Vertex	M	Dm
2.	BHD	Messband	Cm	Cm
3.	Kronenradius	Messstab	M	0,5-1m
4.	Kronenansatz	Visuell	% Baumlänge	¼ Baumlänge
5.	Kronenausrichtung	Kompass	S,N,W,E	+/- 50 °
6.	Koordinaten			
	<i>Hangneigung, Azimut</i>	Fernrohrbussole,	% / g	0,1-0,4m
	<i>Distanz</i>	Vertex, Messband.	M	

*Tab. 8:* aufgenommene Messgrößen der Randbäume (Details siehe Anhang )

#### 2.4.1.2. Auswertung der Randbäume

Die Berechnung der Koordinaten erfolgte mit Hilfe des Datenerfassungsprogramms EKHU95 von B. Ramp (WSL). Der Situierungspunkt wurde für die Berechnung der Koordinaten jeweils auf den Koordinatenwert 2000/4000 festgelegt. Diese Koordinaten haben keinen Bezug zu einem Kartenwerk. Die Darstellung der Daten war durch das Programm Ekhdk9 (Version 2) möglich. Dieses Programm wurde mir ebenfalls von B. Ramp zur Verfügung gestellt. Die neue Version ermöglicht dem Benutzer sowohl den Kronenradius als auch den Stammradius darzustellen. Der Kronenradius wurde in vielen Fällen unterschätzt, das zeigen die Darstellungen der Lücken mit Kronen- und Stammradius im Anhang

## 2.4.2. Fischaugenphotos

### 2.4.2.1. Aufnahme der Fischaugenphotos

Fischaugenphotos zur Schätzung der Sonnenscheindauer wurden bereits in den sechziger Jahren verwendet (Anderson, 1964). Sie wurden zu diesem Zweck in vielen Untersuchungen angewandt (Frehner, 2001a, Imbeck und Ott 1987, Lüscher 1990, Thormann 1997). Die Verteilung des diffusen Lichtes wurde indirekt durch die Auswertung der Fischaugenphotos ermittelt. Auf die Untersuchung des diffusen Lichtes mit dem „LAI – 2000 Plant Canopy Analyser“ wurde verzichtet, da bei vielen Untersuchungen die Resultate der Auswertung mit dem LAI-Analyser mit jenen der Photoauswertungen übereinstimmten (Thormann 1997, 2001). Zu erwähnen ist, dass im dunklen Bereich die Strahlung mit der Messmethode LAI-Analyser unterschätzt wird. Ein detaillierter Vergleich zwischen den beiden Messmethoden findet sich in Thormann 1997/2001.

Fischaugenphotos zur Schätzung der direkten und diffusen Strahlung haben zudem den Vorteil, dass man die direkte Sonnenscheindauer während dem Tag und über das ganze Jahr berechnen kann. Das ist mit dem LAI nicht möglich.

Nach Brunner (1993) reicht die Lichtmenge in geschlossenen Bestandeslöchern bis zu Lichtmengen, die auf Freiflächen gemessen werden können. Aus diesem Grund werden in Bestandeslöchern mit Vorteil hemisphärische Fotos für die Berechnung der diffusen und direkten Lichtverteilung verwendet (Brunner, 1993, Anderson, 1964).

Für die Fischaugenphotos wurde eine Kamera (Minolta, Objektiv MD Fish-eye rokkor 1:4 mit Brennweite  $f = 7,5$  mm) von der WSL Birmensdorf verwendet. Es wurden ausschliesslich feinkörnige Schwarzweissfilme (Ilford, FP4, 125 ASA) gebraucht. Die Kamera wurde auf einem Stativ oberhalb der verpflochten Messpunkte auf einer Höhe von 1,3 Metern horizontiert. Mit Hilfe eines Kompasses wurde die Kamera anschliessend nach Norden ausgerichtet. Pro Stichprobenpunkt wurden 1 bis 3 Aufnahmen mit unterschiedlicher Belichtungszeit gemacht. Die Messung der erforderlichen Belichtungszeit erfolgte bei jeder Aufnahme neu. Sie wurde mit einem zweiten Photoapparat ermittelt. Dieses Aufnahmeverfahren wurde von Brunner (1993) vorgeschlagen.

Die Aufnahmen fanden bei gleichmässig bedecktem Himmel (Bewölkung) oder während der Abend- oder Morgendämmerung statt. Die Wetterbedingungen waren zum Aufnahmezeitpunkt im Juli nicht günstig. Aus diesem Grund wurden die meisten Aufnahmen während der Abend- bzw. Morgendämmerung gemacht. Einige fehlende Aufnahmen sind im Herbst nachgeholt worden.

### 2.4.2.2. Auswertung der Fischaugenphotos

#### 2.4.2.2.1. Bildbearbeitung

Die ausgewählten Negative wurden mit einem Diascanner der ETH (Nikon Coolscan III) eingescannt, Auflösung: 2700\*2700 dpi, Grösse: ca 5 MB pro Bild). Anschliessend wurden die digitalisierten Bilder auf CD gebrannt. Einen Teil der Negative liess ich von einem Photolabor (Kodak, Wädenswil) einscannen (Photo CD: Auflösung 3000\*2100 dpi, Grösse: 18 MB pro Bild).

Die digitalisierten Bilder bearbeitete ich mit dem Bildbearbeitungsprogramm Adobe Photoshop (Version 5.5.). Die bearbeiteten Bilder lassen sich in 3 Bearbeitungsstufen einteilen:

1. Bearbeitungsstufe A: Spiegelung, minimale Bearbeitung, ev. Schwellenwertfestlegung
2. Bearbeitungsstufe B: A plus Korrektur
3. Bearbeitungsstufe C: B plus Abdunkeln der Bestandesränder

Nachfolgend soll kurz auf die einzelnen Bearbeitungsstufen eingegangen werden.

### - Bearbeitungsstufe A

In der Bearbeitungsstufe A wurden die Bilder minimal bearbeitet.

Für eine bessere Orientierung wurden alle Bilder gespiegelt. Der obere Teil des Bildes zeigt Richtung Süden (hangaufwärts). Eine Ausnahme bilden die Aufnahmen vom südexponierten Hang Rueras (Sedrun). Hier zeigt der obere Teil des Bildes Richtung Norden. Bei einigen Bildern wurde anschliessend die Horizontüberhöhung (auch Bergschatten genannt) leicht schwarz eingefärbt, da sie zum Teil von der Sonne beschienene helle Partien aufwies.

Bei einigen qualitativ schlechten Bildern erfolgte die Festsetzung des Schwellenwertes im Photoshop nach Vorschlag von Brunner (1993) jeweils mehrfach in der Bildmitte und am äusseren Rand.

Bei den übrigen Bildern wurde auf eine mehrfache Festlegung des Schwellenwertes im Bildbearbeitungsprogramm Photoshop aus folgenden Gründen verzichtet:

- Eine präzise Registrierung von Bildern, bei denen der Schwellenwert bereits im vornherein festgelegt ist, ist mit dem Auswertungsprogramm „gap analyzer“ (siehe folgendes Kapitel) schwierig bis unmöglich.
- Der Schwellenwert im Auswertungsprogramm gap analyzer muss einzeln nochmals bestimmt werden.
- Es waren keine Unterschiede zwischen Bildern mit mehrfach bzw. einfach festgelegtem Schwellenwert auszumachen.

### -Bearbeitungsstufe B

In der Bearbeitungsstufe B korrigierte ich ausufernde Bestandespartien, fehlende Abschlüsse infolge mangelnder Bestockung, lockere Bestockung etc. Die Korrektur der Bilder ist notwendig, um Vergleiche zwischen den Lücken zu ermöglichen. Es wurde versucht, die einzelnen Bilder nach einheitlichen Kriterien zu korrigieren. Die Korrektur erfolgt nur dort, wo sie wirklich auch notwendig ist (siehe Beispiel unten).



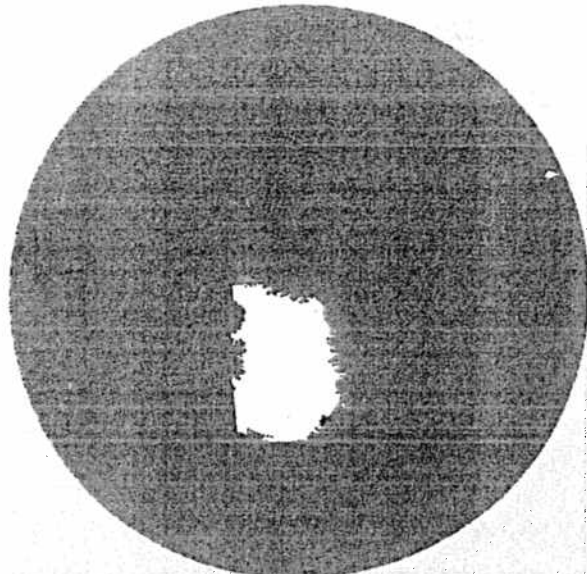
Abb. 10 und 11: Vergleich vor und nach der Korrektur einer Schlitzöffnung; korrigiert wurde ein Weg mitten durch die Lücke (1 und 2), ein fehlender Abschluss (3), sowie ein ausufernder Bestandesrand (4).

### -Bearbeitungsstufe C

Die Bilder der Bearbeitungsstufe B wurden übernommen und weiterverarbeitet (siehe Beispiel *Abb. 12* Bearbeitungsstufe B) Der umgebende Bestand ist bei der Bearbeitungsstufe C schwarz eingefärbt. Wie das Beispiel aus der *Abb. 13* zeigt, ist nur noch die effektive Bestandesöffnung zu sehen.



*Abb. 12:* Bearbeitungsstufe B



*Abb. 13:* Bearbeitungsstufe C

### Zusammenfassend

Die Bilder wurden unterschiedlich stark bearbeitet bzw. korrigiert. Bei der Bearbeitungsstufe A wurden die Bilder minimal bearbeitet (keine Korrektur), bei der Bearbeitungsstufe B sind ausufernde Partien etc. korrigiert worden und bei der Bearbeitungsstufe C wurde schliesslich der gesamte umgebende Bestand schwarz eingefärbt. Bei der Lücke 9 wurde auf eine Korrektur der Bilder aus technischen Gründen verzichtet. Folgende *Tabelle 9* zeigt die Grösse der Korrektur in % an, die bei den Bildern der Bearbeitungsstufe B und C pro Lücke (Mittelwert) gemacht wurde - im Vergleich zu den unkorrigierten Bildern (Bearbeitungsstufe A) (siehe auch Übersichtsgrafik 1 u. 2).

Lückenummer	Bearbeitungsstufe B			Bearbeitungsstufe C		
	Max.	min.	Durchs.	max.	min.	Durchs.
1. Sedrun N	54%	0%	20%	65%	22%	36%
2.	33%	4%	15%	47%	22%	35%
3.	22%	5%	13%	53%	12%	25%
4.	67%	37%	50%	82%	53%	68%
5.	54%	27%	41%	73%	54%	65%
6.	30%	0%	22%	42%	5%	30%
7 Sedrun S	35%	0%	15%	47%	0%	27%
8.	22%	0%	4%	22%	0%	9%
9.	0%	0%	0%	0%	0%	0%
10. Davos N	52%	7%	33%	62%	10%	47%
11.	44%	10%	28%	48%	18%	38%
12.	40%	13%	27%	64%	27%	55%
13.	50%	22%	35%	69%	62%	65%
14.	36%	0%	26%	44%	18%	34%
15.	66%	27%	50%	53%	81%	68%
16.	55%	30%	41%	73%	54%	65%

Weil die Korrekturstärke direkt proportional zur Höhe des diffusen Lichtanteils der Aufnahme ist, konnte sie aus der prozentualen Differenz des diffusen Lichtanteils zwischen den einzelnen Bearbeitungsstufen berechnet werden.

*Tab. 9:* Stärke der Korrektur der Bilder in % der Bearbeitungsstufe B und C

## 2.4.2.2.2. Bildauswertung

Die Auswertung der Bilder erfolgte mit dem Programm „gap light analyzer GLA“ von der Burnaby Universität in British Columbia (Canada) (<http://www.rem.sfu.ca/forestry/index.htm>). Mit diesem Programm ist es möglich, diverse Parameter zu berechnen (Fraser, 1999). Die Auswertung der Bilder erfolgte 9 mal: in bezug auf die Exposition und Bearbeitungsstufe. Es folgt eine kurze Beschreibung der einzelnen Bearbeitungsschritte:

### - Registrierung der Bilder

Damit ein Vergleich zwischen Bildern von gleichem Aufnahmeort, aber unterschiedlicher Bearbeitungsstufe und Exposition möglich war, ist die Registrierung der Bilder mit demselben Aufnahmeort jeweils dieselbe. Jedes Bild wurde anfangs separat registriert und die Registrierungsnummer aufgeschrieben. Die Registrierung der Bilder war zum Teil schwierig, weil die Bildabgrenzung nicht überall klar ersichtlich ist. Die Bilder wurden nach dem geographischen Norden ausgerichtet.

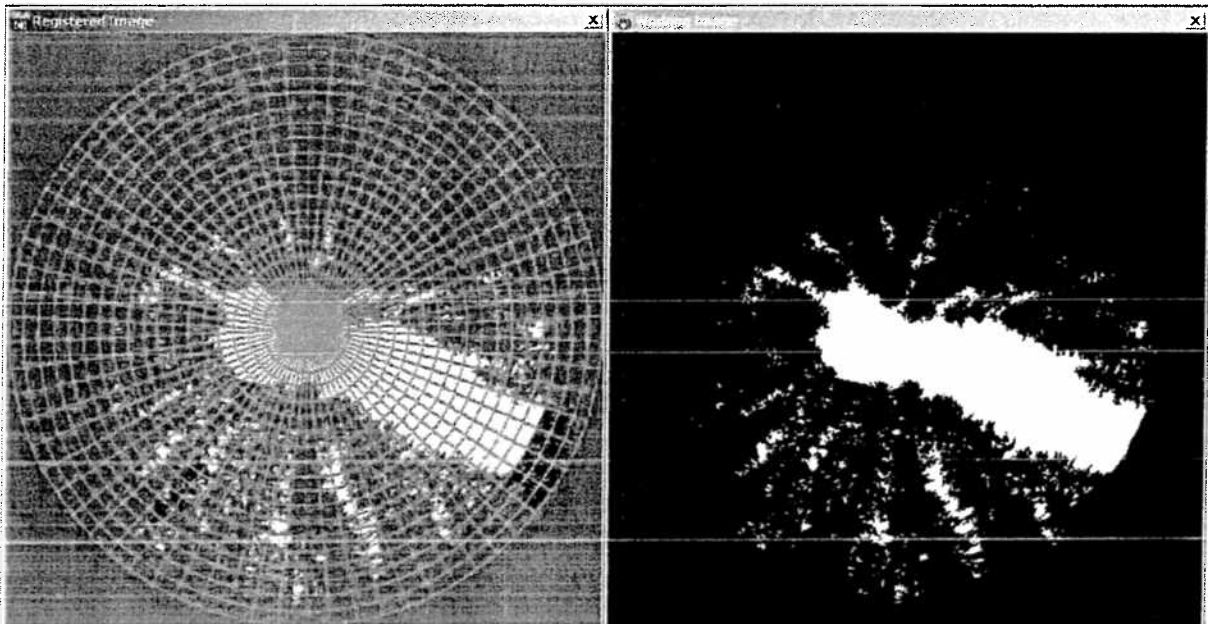
### - Schwellenwertfestlegung

Die Festlegung des Schwellenwertes erfolgte einheitlich. Der Schwellenwert beträgt in der Regel 128, in einigen Ausnahmen aber bis 160.

### - Auswertung

#### Diffuses Licht

Alle Bilder wurden in bezug auf das diffuse Licht in den drei Bearbeitungsstufen A, B und C ausgewertet. Das diffuse Licht wurde nach dem ungewichteten Himmelsanteil (UOC) berechnet, wie in den Arbeiten von Frehner (2001a) und Ott (1987). Lüscher (1990) hingegen berechnete den gewichteten tatsächlich vorhandenen Horizont – nach Anderson (1964). In *Abb. 14* ist ein registriertes Bild mit dem Helligkeitsnetz von Tonne (1954) nach dem ungewichteten Himmelsanteil dargestellt.



*Abb 14:* registriertes Bild mit Helligkeitsnetz von Tonne (1954) (mit 70 Radien und 20 Kreisen) dargestellt nach UOC (ungewichteter tatsächlicher Horizont) (Bearbeitungsstufe A)

### Direktes Licht

Jedes Bild wurde 6 mal ausgewertet: - Bearbeitungsstufe A und C je einmal in bezug auf die Nordexposition und die Bearbeitungsstufe B in bezug auf die 4 Himmelsrichtungen (N, S, W, E – Exposition). Auf eine Auswertung der Bilder in den Nebenexpositionen (SE, SW, NE etc.) wurde unter anderem aus folgenden Gründen verzichtet:

1. Die genaue Festlegung der Nordrichtung war bei der Bildauswertung nicht möglich, da kein Referenzpunkt aufgenommen wurde, ausser dass der obere Bildbereich Richtung Norden zeigt. Für die Festlegung eines Referenzpunktes wäre eine 2. Person notwendig gewesen, welche beispielsweise die Nordrichtung mit einem Jalon angezeigt hätte.
2. Mit dem Programm „gap light analyzer“ ist die Auswertung von Nebenexpositionen nicht möglich. Man hätte sämtliche Bilder zuerst mit einem Bildbearbeitungsprogramm (z. B. Adobe Photoshop) bearbeiten müssen.

Die Berechnung der Sonnenscheindauer im Juni erfolgte mit dem Programm Excel, weil das Programm „gap analyzer“ nur die Sonnenscheindauer pro Tag berechnet.

Die folgende *Tabelle 10* zeigt die Eingangsgrößen, welche für die Berechnung des direkten und diffusen Lichtes verwendet worden sind:

Nr.	Parameter	Uaul Surrein (Sedrun)	Rueras (Sedrun)	Lusiwald (Davos)
1.	- Projection Distortion	- Polar	- Polar	- Polar
2.	- site geogr. Breite:	46 : 40 : 18 : Norden	46: 41: 02 : Norden	46 : 49 : 10 : Norden
3.	Geogr. Länge:	008 : 45 : 53 : Ost	008 : 45 : 00 : Ost	009 : 51 : 20 : Ost
4.	-solar time step:	1 min	1 min	1 min
5.	- sky Regions: Azimuth Regions / Zenith Regions	70 /20	70 /20	70 /20
6.	-Growing Season	15 Mai bis 3 Oktober	15 Mai bis 3 Oktober	15 Mai bis 3 Oktober
7.	-Solar Constant	1367 $wm^2$	1367 $wm^2$	1367 $wm^2$
8.	-Cloudiness index (kt)	0,5	0,5	0,5
9.	-Spectral Fraction	0,5	0,5	0,5

Tab. 10: Konfigurationseinstellung im Auswertungsprogramm „gap analyzer“

Das Helligkeitsnetz wurde mit 70 Azimuth regions bzw. 20 Zenith regions feinmaschig gewählt (vgl. auch *Abb. 14*), weil nach Fraser (1999) die Qualität der Berechnung des diffusen Lichtanteils mit zunehmender Feinmaschigkeit steigt. Der Nachteil eines feinmaschigen Helligkeitsnetzes besteht in der relativ langsamen Auswertungszeit von einer halben Minute pro Bild. Für die Berechnung des direkten Lichtes wurden Sonnenflecken von einer Minute mitberücksichtigt, weil nach Chazdon (1988) Sonnenflecken von wenigen Minuten eine bedeutende Rolle für die Stoffproduktion von Pflanzen spielen (Sonnenflecken: Perioden von kurzer Sonnenscheindauer).

Die schräg gedruckten Parameter sind vollständigshalber angegeben. Sie haben keinen Einfluss auf die berechneten Werte. Die Parameter sind für die Berechnung der effektiven direkten Sonnenscheindauer notwendig. Die Angaben zur Vegetationsperiode sind berechnet aus Werten der Klimastation Disentis (annetz 1990 – 2000). Die Definition der Vegetationsperiode folgt jener von Gensler (1946).

Weitere Informationen zum Programm sind zu entnehmen dem Benutzerhandbuch: Fraser, S. (1999): gap light analyzer (GLA): Users Manual and Program Documentation, Version 2.0, Burnaby Universität British Columbia, Canada.

## 3. Ergebnisse

### 3.1. Direkte Strahlung

#### 3.1.1. Verteilung der direkten Strahlung in Abhängigkeit von der Lückengrösse

Die unterschiedlichen Lücken müssen für einen Vergleich bezüglich direkter Lichtverteilung die gleiche Exposition, die gleiche Richtung und einen ähnlichen Bestandesaufbau aufweisen. Aus diesem Grund wurden alle Lücken in dieselbe Exposition und Richtung gebracht und ausufernde Bestandesränder und fehlende Abschlüsse korrigiert. Sämtliche Lücken wurden zum Vergleich in Nordexposition gedreht. Die Ausrichtung der Lücken erfolgte in NWW-SEE Richtung, da die meisten Lücken diese Ausrichtung bereits aufwiesen und nach Brang (1996) die Ansamungsgunst bei einer Ausrichtung der Lücke in dieser Richtung bei nordexponierten Hängen als sehr gut eingestuft wird.

Bei der Beschreibung der Lücke wird, sofern nicht anders erwähnt, immer von der idealisierten „Modelllücke“ (Bearbeitungsstufe B) ausgegangen.

Im folgenden werden die beiden Typen von Lücken, das heisst zuerst die schlitzförmigen, dann die kreisförmigen, detaillierter beschrieben. Die Reihenfolge der vorgestellten Lücken ist die gleiche wie in den Tabellen 3-8 im Kapitel 1.2.2..

##### 3.1.1.1. Schlitzförmige Bestandeslücken

###### 3.1.1.1.1. Verteilung der Sonnenscheindauer innerhalb der Bestandeslücken

#### A Grosse schlitzförmige Bestandeslücken (Nr. 1, 2 und 3 Uaul Surrein (Sedrun))

##### In Zahlen

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten grossen, schlitzförmigen Bestandeslücken beträgt zwischen 1,4 und 1,9 Stunden im Juni. Das sind die Mittelwerte der Modelllücken, bei denen ausufernde Partien und fehlende Abschlüsse bei den Bestandeslücken korrigiert wurden (siehe Tab. 11 : Bearbeitungsstufe B, **fett**).

Die Auswertung der unkorrigierten Bilder (Bearbeitungsstufe A) zeigt jedoch, dass die durchschnittliche Sonnenscheindauer in Wirklichkeit höher ist; insbesondere die Bestandeslücke 2 weist eine höhere durchschnittliche Sonnenscheindauer auf. Der Grund für die grosse Differenz zwischen der durchschnittlichen Sonnenscheindauer in der effektiven Bestandeslücke (Bearbeitungsstufe A) und in der Modelllücke (Bearbeitungsstufe B) liegt bei der Bestandeslücke 1 in der Korrektur der Bilder, vor allem im unteren Bereich der Lücke, wegen fehlender Randbäume.

Bearbeitungsstufe	Lücken Nr.	Bearbeitungsstufe B (Modelllücke ideal aufgebaut)			Bearbeitungsstufe C (nur Öffnung)			Bearbeitungsstufe A (effektiv)		
		Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.
1. Lücke	1	<b>1,4</b>	4,2	0,1	0,8	3,7	0,0	2,6	4,9	0,9
2. Lücke	2	<b>1,9</b>	4,6	0,4	1,0	3,8	0,0	3,8	6,2	1,3
3. Lücke	3	<b>1,7</b>	4,9	0,3	1,1	4,6	0,0	2,8	6,2	1,2

Tab. 11: durchschnittliche, maximale und minimale potentielle tägliche Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **schlitzförmigen grossen Bestandeslücken** (Bearbeitungsstufe B, C und A)



Die Sonnenstrahlen, die direkt von oben durch die Bestandesöffnung auf den Waldboden gelangen, machen mit einem Anteil von 0,8 Stunden (Lücke 1) bis 1,1 Stunden (Lücke 2) etwas mehr als die Hälfte der durchschnittlichen, täglichen, potentiellen Sonnenscheindauer im Juni aus (Tab. 11 Bearbeitungsstufe C).

Die Differenz zwischen der Sonnenscheindauer der Bestandesöffnung (Bearbeitungsstufe C) und in der Modelllücke (Bearbeitungsstufe B) ergibt den Anteil Sonnenstrahlen, welche durch den Bestand auf den Boden gelangen. Sie machen folglich etwas weniger als die Hälfte der durchschnittlichen, täglichen, potentiellen Sonnenscheindauer im Juni aus (Tab. 11).

Die in Tab. 11 angegebenen Mittelwerte geben keine Auskunft über die Häufigkeit der Stichprobenpunkte mit einer bestimmten Sonnenscheindauer und sind deshalb nur beschränkt aussagekräftig. Die folgende Tab. 12 zeigt deshalb eine Aufteilung der Stichprobenpunkte mit unterschiedlicher Sonnenscheindauer. Es wird unterschieden zwischen Stichprobenpunkten mit einer Sonnenscheindauer von:

1. über 2 Stunden
2. zwischen 1,5 und 2 Stunden
3. zwischen 1 und 1,5 Stunden
4. zwischen 0,5 und 1 Stunden
5. zwischen 0 und 0,5 Stunden.

In der Bestandeslücke 1 haben 26%, in der Bestandeslücke 2 41% und in der Bestandeslücke 3 32 % der Stichprobenpunkte mehr als 2 Stunden Sonne im Juni. Der Anteil der Sonnenscheindauer unter 1 Stunde ist bei der Bestandeslücke 1 mit 41% und in der Bestandeslücke 3 mit 51 % relativ hoch. Die Bestandeslücke 2 weist dagegen mit 18% einen relativ geringen Anteil von Stichprobenpunkten mit weniger als 1 Stunde potentieller täglicher Sonnenscheindauer im Juni auf (vgl. Tab. 12).

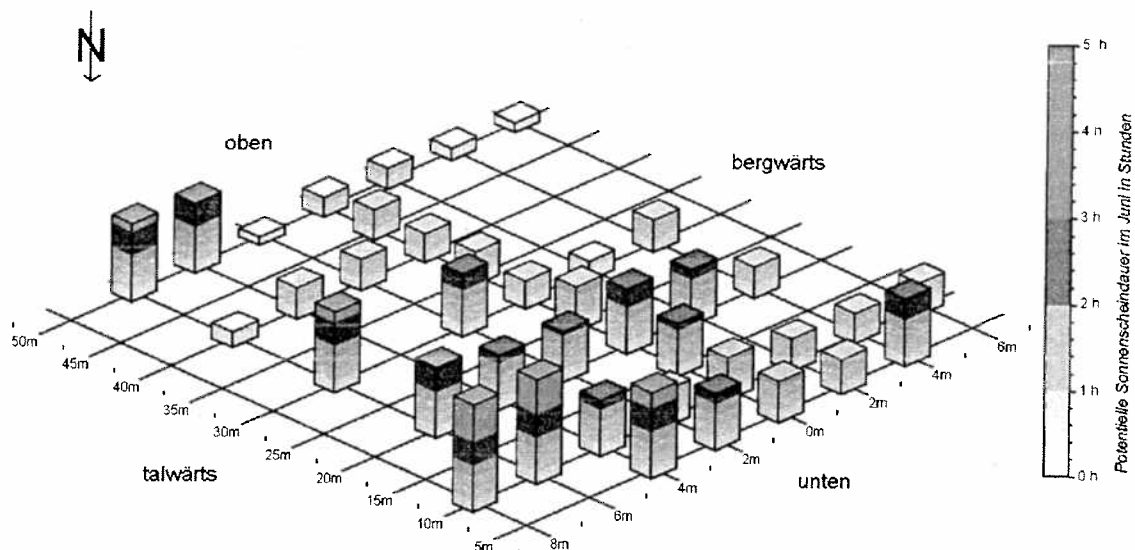
Bearbeitungsstufe B Sonnenscheindauer im Juni	1. Lücke		2. Lücke		3. Lücke	
	%	absolut	%	absolut	%	absolut
< 0,5 h	10	4	5	2	16	5
0,5 h - 1 h	31	12	13	5	35	11
1 h - 1,5 h	21	8	26	10	6	2
1,5 h - 2 h	13	5	15	6	10	3
> 2 h	26	10	41	16	32	10
Total Stichprobenpkt.		39		39		31

Tab. 12: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **schlitzförmigen grossen Bestandeslücken** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B)

### Räumliche Verteilung

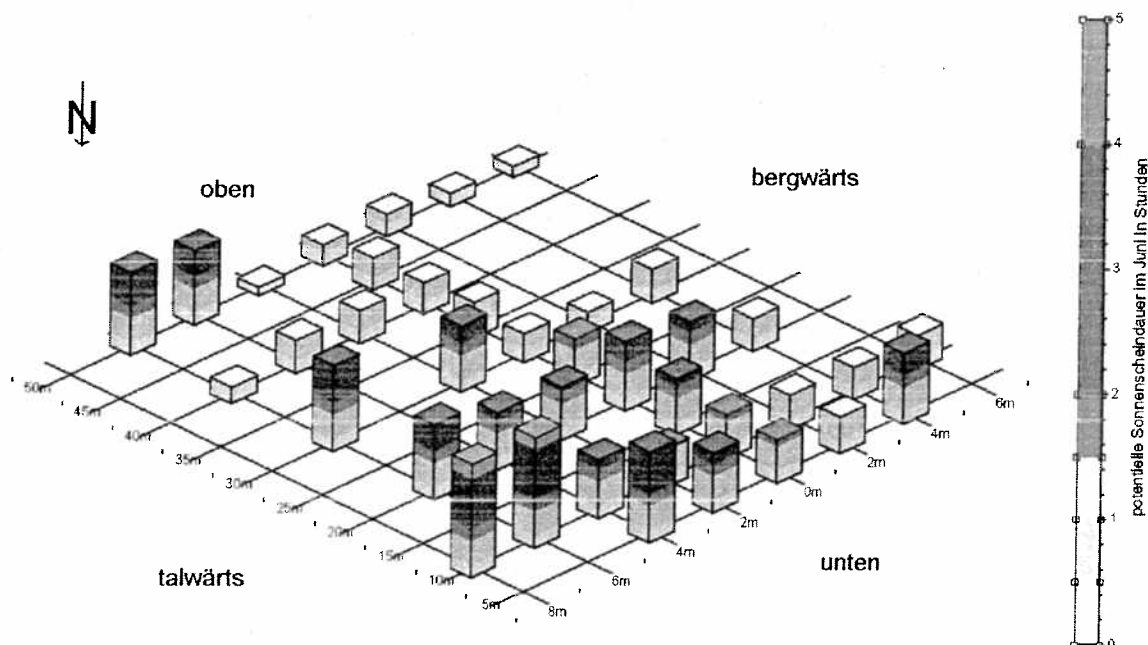
Auf die Beschreibung der räumlichen Verteilung der Sonnenscheindauer wird im Kapitel 3.1.2. näher eingegangen. Im folgenden wird kurz das Wichtigste erläutert. Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer ist in den drei grossen schlitzförmigen Modelllücken ähnlich. Es zeigt sich, dass Stichprobenpunkte mit mehr als zwei Stunden Sonne mehrheitlich am talseitigen Rand der Bestandeslücken zu finden sind.

Die *Abbildung 15* zeigt die räumliche Verteilung der Sonnenscheindauer in der schlitzförmigen Modelllücke 2. Die *Abbildung 16* zeigt deren Bestandesöffnung. Die graphischen Darstellungen der schlitzförmigen Lücken 1 und 2 sind der *Übersichtsgrafik 1* zu entnehmen. Der hohe direkte Lichtanteil zeigt sich sehr deutlich im unteren und talwärts liegenden Lückenrand.



*Abb. 15:* Verteilung der Sonnenscheindauer in der schlitzförmigen nordexponierten Bestandeslücke 2 mit Ausrichtung NWW-SEE (Bearbeitungsstufe B)

*Abbildung 16* (Bearbeitungsstufe C) zeigt noch deutlicher den positiven Einfluss der Bestandesöffnung auf die Höhe der Sonnenscheindauer. Die Bestandesöffnung bewirkt, dass im talwärts gelegenen Bestandesrand die erforderlichen 2 Stunden Sonnenscheindauer erreicht werden.



*Abb.16:* Verteilung der Sonnenscheindauer der schlitzförmigen nordexponierten Bestandeslücke 2 mit Ausrichtung NWW-SEE (Bearbeitungsstufe C)

Bei den effektiven Bestandeslücken hingegen ist eine räumliche Tendenz der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer praktisch nicht ersichtlich, ausser dass Stichprobenpunkte mit weniger als 2 Stunden Sonnenscheindauer vor allem an den Bestandesrändern zu finden sind.

## Fazit

Die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer im Juni beträgt in den grossen schlitzförmigen Modelllücken weniger als 2 Stunden. Etwa 30% der Stichprobenpunkte weisen mehr als 2 Stunden direktes Licht auf. Diese befinden sich mehrheitlich am talseitigen Rand der Lücken.

## B Mittelgrosse schlitzförmige Bestandeslücken

(Nr. 11 und 12 Davos)

Bearbeitungsstufe	Lücken Nr.	B. (Modelllücke ideal aufgebaut)			C. (nur Öffnung)			A. (effektiv)		
		Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.
1. Lücke	11	1,3	2,8	0,0	0,8	2,0	0,0	1,7	3,2	0,7
2. Lücke	12	0,8	2,8	0,0	0,3	1,8	0,0	1,0	2,9	0,0

Tab. 13: durchschnittliche, maximale und minimale potentielle tägliche Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **schlitzförmigen mittelgrossen Bestandeslücken** (Bearbeitungsstufe B, C und A)

## In Zahlen

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer ist in der mittelgrossen Bestandeslücke Nr. 1 mit 1,3 Stunden, im Vergleich zur Sonnenscheindauer in den grossen schlitzförmigen Lücken, relativ hoch. Die Bestandeslücke 2 hingegen weist mit durchschnittlich 0,8 Stunden täglicher Sonne eine relativ geringe durchschnittliche Sonnenscheindauer im Juni auf. Die Differenz zwischen der maximalen - und minimalen Sonnenscheindauer ist mit 2,8 Stunden relativ hoch (vgl. Tab. 13). Die Bearbeitungsstufen A und C wiesen, wie erwartet, deutlich höhere bzw. tiefere durchschnittliche Sonnenscheindauer auf.

Die Lücke 1 weist nur gerade 3 Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonne auf; das zeigt Tab. 14. Bei der Lücke 2 sind es nur 2 Stichprobenpunkte mit einer Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden im Juni (vgl. Tab. 14). Mehr als die Hälfte der Stichprobenpunkte weisen in dieser Lücke eine Sonnenscheindauer von weniger als 1 Stunde auf – im Gegensatz zur Lücke 1, bei der der grösste Teil der Stichprobenpunkte eine Sonnenscheindauer von mehr als 1,5 Stunden aufweist.

Bearbeitungsstufe B	1. Lücke		2. Lücke	
	%	absolut	%	absolut
< 0,5 h	11	2	45	9
0,5 h – 1 h	22	4	25	5
1 h – 1,5 h	11	2	20	4
1,5 h – 2 h	39	7	0	0
> 2 h	17	3	10	2
Total Stichprobenpkt.		18		20

Tab. 14: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **schlitzförmigen mittelgrossen Bestandeslücken** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B)

## Räumliche Verteilung

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer ist nicht mehr so eindeutig wie bei den grossen schlitzförmigen Lücken. Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer sind vor allem im unteren Teil der Bestandeslücke zu finden. Die Tendenz der räumlichen Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer ist jedoch nicht mehr so eindeutig, weil weniger Stichprobenpunkte im Vergleich zu den grossen Lücken aufgenommen wurden. Die Darstellung der räumlichen Verteilung der Stichprobenpunkte unterschiedlicher Sonnenscheindauer findet sich in *Übersichtsgrafik 1*.

## Fazit:

Die mittelgrossen Modelllücken weisen mit 1,3 bzw. 0,8 Stunden eine geringe Sonnenscheindauer auf. Weniger als 20 % der Stichproben haben eine Sonnenscheindauer von mehr als 2. Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer finden sich vor allem in unteren Bestandesrand.

### C Kleine schlitzförmige Bestandeslücken (Nr. 13, 15, 16 Davos; 4, 5 Uaul Surrein, 9 Rueras (Sedrun))

Bearbeitungsstufe	Lücken Nr.	B. (Modelllücke ideal aufgebaut)			C. (nur Öffnung)			A. (effektiv)		
		Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.
1. Lücke	13	0,7	1,4	0,4	0,0	0,0	0,0	1,1	2,3	0,2
2. Lücke	15	0,3	0,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,7	3,7	0,1
3. Lücke	16	0,9	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	1,4	2,1	0,7
4. Lücke	4	0,7	1,0	0,3	0,0	0,0	0,0	1,8	2,5	1,5
5. Lücke	5	0,6	0,7	0,5	0,0	0,0	0,0	0,9	1,2	0,5
6. Lücke	9	0,1	0,3	0,0	--	--	--	--	--	--

Tab. 15: durchschnittliche, maximale und minimale potentielle tägliche Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **schlitzförmigen kleinen Bestandeslücken** (Bearbeitungsstufe B, C und A)

#### In Zahlen

Die empfohlene tägliche Sonnenscheindauer im Juni von 2 Stunden wird in den kleinen Modelllücken bei weitem nicht erfüllt. Die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer beträgt in allen kleinen Lücken weniger als 1 Stunde im Juni (Tab. 15 Bearbeitungsstufe B).

Interessant ist, dass keine Sonnenstrahlen durch die Bestandesöffnung auf den Waldboden gelangen. Alle Sonnenstrahlen gelangen durch den Bestand selber auf den Waldboden. Die Sonnenscheindauer wird also nicht unmittelbar durch die Bestandesöffnung der Lücke selbst, sondern durch den Aufbau des Bestandes bestimmt (Tab. 15 Bearbeitungsstufe C).

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer der effektiven Lücken ist zum Teil wesentlich höher als die Sonnenscheindauer der Modelllücken (Tab 15 Bearbeitungsstufe A-B), weil die kleinen Lücken im Verhältnis zu ihrer Grösse am stärksten korrigiert werden mussten (vgl. Kapitel 2.4.2.2.1.).

Der Unterschied zwischen den Maximal- und Minimalwerten ist in der effektiven Lücke beträchtlich. Er lässt sich meines Erachtens nur aus dem ungleichmässig aufgebauten Bestand erklären (Tab. 15 Bearbeitungsstufe A).

Die untenstehende Tabelle 16 zeigt die Anzahl Stichprobenpunkte in den kleinen schlitzförmigen Lücken mit ähnlicher Sonnenscheindauer. Kein einziger Stichprobenpunkt der kleinen Lücken weist eine Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden auf, die meisten Werte liegen unter 1 Stunde Sonnenscheindauer.

Lücke	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Sonnenscheindauer im Juni	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut
< 0,5 h	2	12	1	2	0	7
0,5 h - 1 h	5	2	7	1	4	0
1 h - 1,5 h	2	0	4	2	0	0
1,5 h - 2 h	0	0	2	0	0	0
> 2 h	0	0	0	0	0	0
<b>Total Stichprobenpkt.</b>	9	14	14	5	4	7
Bearbeitungsstufe B						

Tab. 16: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **schlitzförmigen kleinen Bestandeslücken** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B)

#### Räumliche Verteilung

Eine Tendenz einer räumlichen Anhäufung von Stichprobenpunkten von gleich hoher Sonnenscheindauer lässt sich nicht ausmachen, da bei diesen Lücken (im Baumholz) die Höhe der Sonnenscheindauer zu 100% vom Bestandaufbau abhängt – und dieser ist bekanntlich variabel (vgl. *Übersichtsgrafik 1*).

#### Fazit

Die durchschnittliche, tägliche Sonnenscheindauer ist bei allen Lücken kleiner als 1 Stunde. Die kleinen Lücken weisen keinen Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer auf. Eine räumliche Tendenz von Stichprobenpunkten mit gleich hoher Sonnenscheindauer lässt sich in diesen Lücken nicht ausmachen.

### 3.1.1.1.2. Verteilung der Sonnenscheindauer im Vergleich zwischen den Bestandeslücken

#### In Zahlen

In der untenstehenden *Tabelle 17* sind zum Vergleich alle drei unterschiedlich grossen schlitzförmigen Bestandeslücken aufgeführt. Sie zeigt übersichtsmässig, dass die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer im Juni von den grossen Bestandeslücken zu den kleinen Bestandeslücken abnimmt. In den grossen Bestandeslücken beträgt sie ca. 1,5 – 2 Stunden, in den mittelgrossen Bestandeslücken ca. 1 Stunde und in den kleinen Bestandeslücken weniger als 1 Stunde.

Bearbeitungsstufe B	A Grosse Bestandeslücke			B Mittelgrosse		C Kleine Bestandeslücke					
	1.	2.	3.	1.	2.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Lückennummer	1	2	3	11	12	13	15	16	4	5	9
Allgemein											
Mittelwert	1,4	1,9	1,7	1,3	0,8	0,7	0,3	0,9	0,7	0,6	0,1
Max.	4,2	4,6	4,9	2,8	2,8	1,4	0,6	1,8	1,0	0,7	0,3
Min.	0,1	0,4	0,3	0,0	0,0	0,4	0,1	0,1	0,3	0,5	0,0
Sonnenscheindauer im Juni						absolut	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut
< 0,5 h	10	5	16	11	45	2	12	1	2	0	7
0,5 h – 1 h	31	13	35	22	25	5	2	7	1	4	0
1 h – 1,5 h	21	26	6	11	20	2	0	4	2	0	0
1,5 h – 2 h	13	15	10	39	0	0	0	2	0	0	0
> 2 h	26	41	32	17	10	0	0	0	0	0	0

Tab. 17: Übersicht: durchschnittliche, maximale, minimale und tägliche Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten schlitzförmigen Bestandeslücken (Bearbeitungsstufe B)

Der prozentuale Anteil von Stichprobenpunkten mit mehr als 2 Stunden täglicher Sonnenscheindauer im Juni beträgt bei den

- grossen schlitzförmigen Bestandeslücken 26 bis 41 %,
- bei den mittelgrossen Lücken 17 % bzw. 10 %
- bei den kleinen Bestandeslücken 0%

Die Höhe der Sonnenscheindauer hängt also direkt von der Grösse der Bestandeslücke ab. Die graphischen Darstellungen in *Übersichtsgrafik 1* zeigen eindrücklich, wie die Sonnenscheindauer mit abnehmender Lückengrösse abnimmt.

#### - Vergleich der Sonnenscheindauer mit Bearbeitungsstufe C

Wenn man nur den Anteil Sonnenstrahlen berücksichtigt, welcher ausschliesslich durch die Bestandesöffnung auf den Waldboden gelangt, verringert sich die durchschnittliche Sonnenscheindauer im Juni bei allen Bestandeslücken massiv (vgl. *Tab. 18* Bearbeitungsstufe C). Sie macht bei den grossen Bestandeslücken etwas mehr als die Hälfte der gesamten Sonnenscheindauer aus (vgl. *Tab. 17* mit *Tab. 18*). Bei den kleinen Bestandeslücken kommen bereits keine Sonnenstrahlen mehr durch die Bestandesöffnung auf den Waldboden. Alle Bestandesöffnungen haben Stichprobenpunkte, die überhaupt keine Sonnenstrahlen mehr bekommen (vgl. *Tab. 18* Bearbeitungsstufe c)

Bearbeitungsstufe C	A Grosse Bestandeslücke			B Mittelgrosse		C Kleine Bestandeslücke					
	1.	2.	3.	1.	2.	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Lückennummer	1	2	3	11	12	13	15	16	4	5	9
Mittelwert	0,8	1,0	1,1	0,8	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Max.	3,7	3,8	4,6	2,0	1,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Min.	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tab. 18: Übersicht: durchschnittliche, maximale und minimale tägliche Sonnenscheindauer in h im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten schlitzförmigen Bestandesöffnungen (Bearbeitungsstufe C)

Je kleiner die Lücke ist, desto bedeutender ist folglich der Anteil Sonnenstrahlen, welcher indirekt durch den Bestand auf den Waldboden gelangt. Bei den mittelgrossen Lücken kommen bereits 40% (Lücke1) bzw. 60 % (Lücke2) der Sonnenstrahlen durch den Bestand auf den Waldboden, und bei den untersuchten kleinen nordexponierten Lücken sind es bereits 100% der Sonnenstrahlen, welche indirekt durch den Bestand auf den Waldboden gelangen.

### **Räumliche Verteilung**

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer (siehe *Übersichtsgrafik 1*) ist innerhalb der drei unterschiedlichen nordexponierten grossen Modelllücken vergleichbar:

Bei den grossen Bestandeslücken ist eine klare Tendenz von Stichprobenpunkten mit gleich hoher Sonnenscheindauer auffällig. Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer befinden sich mehrheitlich am talwärts gelegenen Bestandesrand.

Bei den mittelgrossen Bestandeslücken befinden sich Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer ebenfalls mehrheitlich am unteren Bestandesrand.

Bei den kleinen Bestandesöffnungen ist keine räumliche Tendenz der Verteilung von Stichprobenpunkten mit gleich hoher Sonnenscheindauer feststellbar, da bei diesen Lücken die Höhe der Sonnenscheindauer zu 100% vom Bestandaufbau abhängt - und dieser ist bekanntlich variabel.

Je geringer der Einfluss des Bestandes auf die Höhe der Sonnenscheindauer ist, desto eindeutiger ist die räumliche Tendenz von Stichprobenpunkten mit ähnlicher Sonnenscheindauer: bei den effektiven Lücken (Bearbeitungsstufe A) ist die räumliche Tendenz von Stichprobenpunkten mit ähnlicher Sonnenscheindauer nur schwach erkennbar, bei den Modelllücken (Bearbeitungsstufe B) zeigt sich bereits eine klare Tendenz und bei der Bestandesöffnung (Bearbeitungsstufe C) ist der Einfluss der Öffnung deutlich zu sehen.

Erstaunlich ist, dass nur die grossen Bestandeslücken (und die mittelgrosse Bestandeslücke 1) Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer aufweisen, die durch die Bestandesöffnung auf den Waldboden gelangen. Nur die grossen schlitzförmigen Bestandesöffnungen weisen Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer auf.

Im Kapitel 3.1.2 wird detaillierter auf die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit ähnlicher Sonnenscheindauer eingegangen.

### **Fazit:**

Je kleiner die Lücke ist, desto geringer ist die durchschnittliche Sonnenscheindauer und desto höher ist der Einfluss der Bestandesstruktur auf die Höhe des direkten Lichtes. Die räumliche Verteilung der Sonnenscheindauer ist in den jeweils gleich grossen Lücken ähnlich: sie befinden sich am talseitigen oder unteren Bestandesrand.

### 3.1.1.2. Runde Bestandeslücken

#### 3.1.1.2.1. Verteilung der Sonnenscheindauer innerhalb der Bestandeslücken

##### A Grosse runde Bestandeslücke

(Nr. 16 Davos)

##### In Zahlen

Die grosse runde idealisierte Modelllücke weist mit 2,2 Stunden und die effektive Lücke mit 4,8 Stunden eine hohe durchschnittliche Sonnenscheindauer im Juni auf. Die Differenz der maximalen und minimalen Sonnenscheindauer zwischen den einzelnen Stichprobenpunkten der Modelllücke ist mit 4 Stunden beachtlich.

Bearbeitungsstufe	Lücken Nr.	B. (Modelllücke ideal aufgebaut)			C. (nur Öffnung)			A. (effektiv)		
		Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.
1. Lücke	14	2,2	4,4	0,4	1,8	3,8	0,0	4,8	6,4	2,0

Tab. 19: durchschnittliche, maximale und minimale potentielle tägliche Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in der NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **runden grossen Bestandeslücke** (Bearbeitungsstufe B, C und A)

Die grosse runde Modelllücke ist nur beschränkt vergleichbar mit den übrigen Lücken, da sie im Gegensatz zu den übrigen Lücken im flachen Gelände liegt. Wegen fehlender Randbäume war die Korrektur der Lücke äusserst schwierig.

1. Lücke		
Bearbeitungsstufe B		
Sonnenscheindauer im Juni	%	absolut
< 0,5 h	11	2
0,5 h - 1 h	26	5
1 h - 1,5 h	21	4
1,5 h - 2 h	0	0
> 2 h	42	8
Total Stichprobenpkt.		19

Der Anteil Stichprobenpunkte mit einer durchschnittlichen Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden ist etwa gleich hoch wie jene mit weniger als 1 Stunde durchschnittlicher Sonnenscheindauer, das zeigt Tab. 20. Fast die Hälfte der Stichprobenpunkte weist eine Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden auf.

Tab. 20: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in der NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **runden grossen Bestandeslücke** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B)

##### Räumliche Verteilung

Es ist eine klare Tendenz der räumlichen Verteilung der Stichprobenpunkte von gleich hoher Sonnenscheindauer feststellbar. Die graphische Darstellung der Modelllücke in der *Übersichtsgrafik 2* (S.36) zeigt, dass sich die Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer im unteren Teil der Lücke befinden. Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte in der Modelllücke und in der Bestandesöffnung ist ähnlich.

##### B Mittelgrosse runde Bestandeslücken

(Nr. 10 Davos, Nr. 7 Uaul Surrein (Sedrun))

##### In Zahlen

Die untenstehende Tab. 21 zeigt die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer der runden, mittelgrossen Lücken im Juni. Sie beträgt für die Modelllücke 1 0,8 Stunden und für die Modelllücke 2 1,0 Stunden.

Bearbeitungsstufe	Lückennr.	B. (Modelllücke ideal aufgebaut)			C. (nur Öffnung)			A. (effektiv)		
		Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.
1. Lücke	6	0,8	3,1	0,1	0,4	2,8	0,0	1,5	4,3	0,0
2. Lücke	10	1,0	3,2	0,0	0,3	2,0	0,0	1,3	4,2	0,0

Tab. 21: durchschnittliche, maximale und minimale potentielle tägliche Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **runden mittelgrossen Bestandeslücken** (Bearbeitungsstufe B, C und A)

Die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer im Juni ist in den mittelgrossen Modelllücken mit ca. 1 Stunde etwa gleich hoch wie bei den kleinen schlitzförmigen Modelllücken. Die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer im Juni in den effektiven Bestandeslücken ist mit 1,5 Stunden in der Lücke 1 und 1,3 Stunden in der Lücke 2 ein wenig höher als 1 Stunde (Bearbeitungsstufe A). Im Gegensatz zu den kleinen schlitzförmigen Bestandeslücken erreicht aber hier die Hälfte der Sonnenstrahlen den Waldboden direkt durch die Bestandesöffnung (siehe Tab. 21 Bearbeitungsstufe C). Die Differenz zwischen den Stichprobenpunkten mit der höchsten bzw. kleinsten Sonnenscheindauer ist mit über 3 Stunden beträchtlich (Tab. 21).

Bearbeitungsstufe B	1. Lücke		2. Lücke	
	%	absolut	%	absolut
Sonnenscheindauer im Juni				
< 0,5 h	30	6	41	18
0,5 h - 1 h	45	9	30	13
1 h - 1,5 h	10	2	7	3
1,5 h - 2 h	5	1	5	2
> 2 h	10	2	18	8

Die exakte Verteilung der Stichprobenpunkte von Lücke 1 und 2 mit annähernd gleich hoher Sonnenscheindauer ist aus Tab. 22 ersichtlich. Aus ihr geht zudem hervor, dass bei beiden Lücken der Anteil Stichprobenpunkte mit weniger als einer Stunde Sonnenscheindauer relativ hoch ist.

Tab. 22: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **runden mittelgrossen Bestandeslücke** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B)

### Räumliche Verteilung

Die räumliche Verteilung von Stichprobenpunkten mit hoher Sonnenscheindauer der mittelgrossen Modelllücke 2 ist vergleichbar mit jener der grossen runden Modelllücke: erwartungsgemäss befinden sich Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer im unteren Teil der Bestandeslücke. (vgl. *Übersichtsgrafik 2*). Die mittelgrosse Bestandeslücke 1 lässt in bezug auf die räumliche Verteilung von Stichprobenpunkten mit hoher Sonnenscheindauer keine räumliche Tendenz erkennen. Wie aus Tab. 22 ersichtlich ist, gibt es in der Bestandeslücke 1 bloss zwei Stichprobenpunkte mit einer Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden. Die effektive Lücke weist hingegen eine räumliche Tendenz von Stichprobenpunkten mit hoher Sonnenscheindauer im unteren Teil der Bestandeslücke auf (vgl. *Übersichtsgrafik 2* (Bearbeitungsstufe A)).

## C Kleine runde Bestandeslücken

(Nr. 8 und Nr. 9 Rueras (Sedrun))

### In Zahlen

Die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer ist in den kleinen runden Bestandeslücken mit ca. 1 Stunde gleich gross wie in den mittelgrossen runden Bestandeslücken (siehe Tab. 23). Die Umgebung dieser beiden Lücken ist aber ein Stangenholz, im Gegensatz zu den mittelgrossen runden Bestandeslücken. Die Randbäume sind also weniger hoch als bei den mittelgrossen runden Bestandeslücken. Das erklärt auch die ungefähr gleich hohe durchschnittliche Sonnenscheindauer im Juni wie in den mittelgrossen Bestandeslücken.

Bearbeitungsstufe	Lückenname	B. (Modelllücke ideal aufgebaut)			C. (nur Öffnung)			A. (effektiv)		
		Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.	Mittelwert	max.	min.
Lücke 1	7	1,4	3,9	0,0	1,1	3,1	0,0	1,7	4,6	0,1
Lücke 2	8	0,8	3,0	0,0	0,6	3,0	0,0	0,8	3,0	0,0

Tab. 23: durchschnittliche, maximale und minimale potentielle tägliche Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **runden, kleinen Bestandeslücken** (Bearbeitungsstufe B, C und A)



Bearbeitungsstufe B	1. Lücke		2. Lücke	
	%	absolut	%	absolut
Sonnenscheindauer im Juni				
< 0,5 h	30	8	65	11
0,5 h – 1 h	15	0	6	1
1 h – 1,5 h	7	6	12	2
1,5 h – 2 h	15	4	0	0
> 2 h	33	9	18	3

Tab. 24 zeigt, dass Stichprobenpunkte mit ähnlich hoher Sonnenscheindauer in der Bestandeslücke 1 gleichmässiger verteilt sind, im Vergleich zur Bestandeslücke 2. In der Bestandeslücke 2 hat es, im Gegensatz zur Bestandeslücke 1, mehr Stichprobenpunkte, bei denen die tägliche Sonnenscheindauer weniger als 1 Stunde im Juni beträgt.

Tab.24: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **runden kleinen Bestandeslücken** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B)

### Räumliche Verteilung

Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer befinden sich mehrheitlich im unteren Teil der Bestandeslücke; insbesondere im südlichen Teil der Lücke. Eine ausführlichere Beschreibung der räumlichen Verteilung der Stichproben mit ähnlicher Sonnenscheindauer folgt in Kapitel 3.1.2..

### 3.1.1.2.2. Verteilung der Sonnenscheindauer im Vergleich zwischen den Bestandeslücken

#### In Zahlen

Ein Vergleich der Lücken von unterschiedlicher Grösse und Form ist nur mit Vorbehalt möglich, weil im Gegensatz zu den übrigen Lücken

- die grosse runde Lücke im flachen Gelände liegt
- bei der kleinen runden Lücke die Entwicklungsstufe des umgebenden Bestandes ein Stangenholz ist

Ein Vergleich ist deshalb zugegebenermassen nur bei den mittel grossen Bestandeslücken möglich.

Eine Abnahme der durchschnittlichen Sonnenscheindauer im Juni mit abnehmender Lückengrösse ist deshalb aus der untenstehenden *Tabelle 25* nicht ersichtlich: die mittelgrossen und kleinen Lücken weisen mit ca. 1 Stunde in etwa die gleich hohe durchschnittliche Sonnenscheindauer im Juni auf. Die hohe durchschnittliche Sonnenscheindauer der runden grossen Lücke 1 von 2,2 Stunden lässt sich ebenfalls aus der Tatsache erklären, dass sie im flachen Gelände liegt.

Bearbeitungsstufe B	Grosse Lücke	Mittelgrosse Lücke		Kleine Lücke	
	1.	1.	2.	1.	2.
Lückennummer	14	6	10	7	8
Mittelwert	2,2	0,8	1,0	1,4	0,8
Max.	4,4	3,1	3,2	3,9	3,0
Min.	0,4	0,1	0,0	0,0	0,0
Sonnenscheindauer im Juni	%	%	%	%	%
< 0,5 h	11	30	41	30	65
0,5 h – 1 h	26	45	30	15	6
1 h – 1,5 h	21	10	7	7	12
1,5 h – 2 h	0	5	5	15	0
> 2 h	42	10	18	33	18

Tab. 25: Übersicht: durchschnittliche, maximale, minimale und tägliche Sonnenscheindauer in h im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten schlitzförmigen Bestandeslücken (Bearbeitungsstufe B)

Der Anteil von Stichprobenpunkten mit weniger als 1 Stunde Sonnenscheindauer ist bei allen Lücken mit 30% bzw. mit über 30% relativ hoch (vgl. Tab. 25).

### Räumliche Verteilung

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte gleich hoher Sonnenscheindauer ist, abgesehen von der mittelgrossen Bestandeslücke 1, klar ersichtlich. Am meisten Sonne im Juni erhält vor allem der untere und der auf der Südseite gelegene Teil der Bestandeslücke. Interessant ist ein Vergleich der Modelllücke mit der Bestandesöffnung bei unterschiedlicher Entwicklungsstufe:

Bei den kleinen Lücken, bei denen der umgebende Bestand ein Stangenholz ist, kommen nur gerade ca. 20% der Sonnenstrahlen indirekt durch den Bestand auf den Waldboden. Bei den übrigen runden Lücken sind es 50 –70% der Sonnenstrahlen, welche durch den Bestand auf den Waldboden gelangen. Eine detailliertere Beschreibung der räumlichen Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer folgt im Kapitel 3.1.2.

### 3.1.1.3. Vergleich der schlitzförmigen und runden Bestandeslücken

#### In Zahlen

Die allgemeine **Vermutung**, dass mit abnehmender Lückengrösse bei gleichen Standortverhältnissen (hier: bei gleicher Entwicklungsstufe und Hangneigung), die Höhe des direkten Lichtes abnimmt, kann bei beiden Lückenformen bestätigt werden. Der Anteil von Stichprobenpunkten mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer nimmt mit abnehmender Lückengrösse ab:

- bei den grossen Lücken weisen über 30% der Stichprobenpunkte eine potentielle Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden auf.
- bei den mittelgrossen Lücken sind es weniger als 20% der Stichprobenpunkte mit einer potentiellen Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden und bei den
- kleinen schlitzförmigen Lücken gibt es keine Stichprobenpunkte mit einer Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden.

Hingegen kann für alle Lücken mit ähnlichen Standortverhältnissen die **Hypothese** nicht bestätigt werden, dass die durchschnittliche Sonnenscheindauer

- bei den grossen Lücken grösser als 2 Stunden ist
- bei den mittelgrossen ca. 2 Stunden und
- bei den kleinen Bestandeslücken 1 bis 2 Stunden.

Die grosse runde Lücke erfüllt zwar das Kriterium von mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer im Juni, sie ist aber, wie erwähnt (nicht repräsentativ) wegen dem flachen Gelände.

Die **Hypothese**, dass die durchschnittliche Sonnenscheindauer in den schlitzförmigen Lücken im Vergleich zu den runden Lücken höher ist, kann weder widerlegt noch bestätigt werden, weil diesbezüglich ein Vergleich zwischen den beiden Lückenformen – den schlitzförmigen und runden - nur mit Vorbehalt möglich ist, da sie in bezug auf Standort, Form und Grösse unterschiedlich sind. In bezug auf den Standort sind nur die mittelgrossen Lücken vergleichbar. Die grosse und die kleinen Lücken weisen andere standörtliche Verhältnisse auf.

Die runden und schlitzförmigen Lücken weisen tendenziell bei ähnlicher Grösse eine gleich hohe durchschnittliche Sonnenscheindauer auf. Eine Ausnahme bildet die grosse runde und die kleine runde Bestandeslücke: hier ist die durchschnittliche Sonnenscheindauer höher im Vergleich zu den schlitzförmigen gleich grossen Lücken, weil bei den kleinen Lücken die Entwicklungsstufe des umgebenden Bestandes und bei der grossen Lücke die Hangneigung anders ist.

#### Räumliche Verteilung

Die **Hypothese** in bezug auf die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit ähnlicher Sonnenscheindauer kann bei den grossen und mittelgrossen Lückenformen bestätigt werden. Die räumliche Verteilung von Stichprobenpunkten mit gleich hoher Sonnenscheindauer ist ähnlich: Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer sind am nordexponierten Hang in der Regel am talwärts gelegenen Lückenrand (eher bei den schlitzförmigen Lücken) zu finden - vgl. auch Imbeck und Ott 1987 - und im unteren Lückenrand (eher bei den runden Lücken).

Bei den kleinen schlitzförmigen Lücken ist keine Tendenz von Stichprobenpunkten mit ähnlicher Sonnenscheindauer feststellbar, im Gegensatz zu den kleinen runden Bestandeslücken. Die runden Bestandeslücken sind jedoch im Vergleich zu den schlitzförmigen Lücken ein wenig grösser, und zudem ist die Entwicklungsstufe des umgebenden Bestandes ein Stangenholz.



3.1.1. Verteilung der direkten Strahlung in Abhängigkeit von der Lückengrösse

Übersichtsgrafik 2

3.1.1.2. Runde Bestandeslücken

GROSS Nr. 1

Lücke 14 Dornes

Bearbeitungsstufe A										Bearbeitungsstufe B										Bearbeitungsstufe C																	
Nord					Süd					Nord					Süd					Nord					Süd												
oben	12,5	10m	7,5m	5m	2,5m	0m	0,5	-1	-1,5	-2	SUM	oben	12,5	10m	7,5m	5m	2,5m	0m	0,5	-1	-1,5	-2	SUM	oben	12,5	10m	7,5m	5m	2,5m	0m	0,5	-1	-1,5	-2	SUM		
6m												6m												6m													
4m	4,5	4,8	5,1	2,0	4,5	3,0						4m	1,0	0,4	0,4	0,5	1,2	1,2	2	1	3			4m	0,7	0,2	0,2	0,0	0,5	1,2							
2m	5,3	5,8	5,8	3,5								2m	1,4	0,6	0,6	0,9								2m	0,8	0,6	0,3	0,6									
0m												0m												0m													
2m	6,4	5,8	5,8	6,2								2m	4,1	4,0	4,3	4,3								2m	3,8	3,7	3,8										
4m												4m												4m													
unten												unten												unten													
Mittelwert												Mittelwert												Mittelwert													
max.	4,8											max.	4,4	0,4										max.	1,6												
min.	5,4	2,0										min.	0,4	0,4										min.	3,8	0,0											
SUMME							0	0	0	0	19	SUMME											19	SUMME													
Prozent							0	0	0	0	100	Prozent											100	Prozent													

MITTELGROSS Nr. 1

Lücke 8 Sedrun Nordhang

Bearbeitungsstufe A							Bearbeitungsstufe B							Bearbeitungsstufe C							
Nord			Süd				Nord			Süd				Nord			Süd				
oben	4m	2m	0m	2m	4m	6m	oben	4m	2m	0m	2m	4m	6m	oben	4m	2m	0m	2m	4m	6m	
17,5m							17,5m							17,5m							
15m	0,4	0,0	0,5	1,0			15m	0,1	0,1	0,3	1,1			15m	0,0	0,0	0,0	0,7			
12,5m							12,5m							12,5m	0,0	0,0	0,1	0,3			
10m	0,2	0,7	1,9	4,3			10m	0,2	0,7	0,7	3,3			10m	0,0	0,0	0,1	0,3			
7,5m							7,5m	0,2	0,6					7,5m	0,0	0,1					
5m	1,2	2,7	2,2	0,7	0,6		5m	0,4	0,7	1,0	0,7	0,5		5m	0,0	0,2	0,7	0,1	0,0		
2,5m							2,5m							2,5m	0,0	0,0					
0m	1,5	2,4	3,1				0m	0,5	0,1	0,9	1,9			0m	0,0	0,0	0,2	1,5			
unten							unten							unten							
Mittelwert							Mittelwert							Mittelwert							
max.	1,5						max.	0,5						max.	0,4						
min.	4,3	0,0					min.	3,1	0,1				min.	2,8	0,0						
SUMME							SUMME							SUMME							
Prozent							Prozent							Prozent							

MITTELGROSS Nr. 2

Lücke 8 Davos

Bearbeitungsstufe A										Bearbeitungsstufe B										Bearbeitungsstufe C																			
Nord					Süd					Nord					Süd					Nord					Süd														
oben	6m	4m	2m	0m	2m	4m	6m	0,5	-1	-1,5	-2	SUM	oben	6m	4m	2m	0m	2m	4m	6m	0,5	-1	-1,5	-2	SUM	oben	6m	4m	2m	0m	2m	4m	6m	0,5	-1	-1,5	-2	SUM	
0m	0,0	0,4	0,8	1,0	0,5							0m	0,0	0,3	0,5	0,4	0,7							0m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0										
2m	0,9	0,4	0,7	0,5	1,0	0,6						2m	0,8	0,3	0,7	0,5	0,7	0,4						2m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0										
4m	0,3	0,0	0,5	0,4	0,7							4m	0,2	0,0	0,5	0,3	0,4	0,4						4m	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0										
6m	0,4	1,4	0,6	0,7								6m	0,4	0,8	0,6	0,5								6m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0										
8m	0,3	0,2	0,2	0,2	0,7							8m	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5							8m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0										
10m	0,3	1,2	0,2	0,4	2,3							10m	1,0	1,0	0,2	0,4	1,1							10m	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0										
12m	0,4	2,4	0,7	2,2								12m	0,7	0,7	1,9	2,3								12m	1,8	0,6	0,8	0,3	1										
14m	0,3	2,2	0,2	2,7	3,6							14m	0,2	0,2	1,8	2,8								14m	1,0	1,8	1,0	1,8	1										
16m	0,3	2,8	1,0	3,2								16m	0,2	0,2	0,8	3,2								16m	1,5	1,9	0,1	3,2	1										
unten												unten												unten															
Mittelwert												Mittelwert												Mittelwert															
max.	1,3											max.	1,0											max.	0,3														
min.	4,2	0,0										min.	3,2	0,0									min.	2,0	0,0														
SUMME							34	12	5	0	13	44	SUMME										44	SUMME															
Prozent							36	27	11	0	30	100	Prozent										100	Prozent															

KLEIN Nr. 1

Lücke 8 Sedrun Südhang (Stangeholz)

Bearbeitungsstufe A							Bearbeitungsstufe B							Bearbeitungsstufe C						
Nord			Süd				Nord			Süd				Nord			Süd			
oben	4m	2m	0m	2m	4m	6m	oben	4m	2m	0m	2m	4m	6m	oben	4m	2m	0m	2m	4m	6m
0m	0,2	0,5	1,6	1,6	0,8		0m	0,2	0,0	1,5	0,3	0,3	3	0m	0,7	1,3	0,2	0,0		
2,5m	1,3	0,4	1,6	0,1	0,1		2,5m	1,8	0,8	0,8	0,1	0,1	2	2,5m	0,4	0,0	0,2	0,0		
5m	0,4	0,4	1,4	1,5	0,2		5m	0,3	0,2	1,4	0,9	0,2	1	5m	0,3	0,1	1,3	0,8		
7,5m	0,6	2,0	1,6	1,4	0,2		7,5m	0,8	0,6	1,8	0,8	0,2	1	7,5m	0,4	1,6	1,4	0,2	0,0	
10m	0,2	2,8	0,9				10m	0,2	0,2	0,2			1	10m	0,3	0,2	0,1			
12,5m	0,3	2,2	1,8	0,5			12,5m	0,2	0,2	1,4	0,5		2	12,5m	0,1	1,0	0,3	0,0		
unten							unten						0	unten						
Mittelwert							Mittelwert							Mittelwert						
max.	1,7						max.	1,4						max.	1,1					
min.	4,6	0,1					min.	3,9	0,0				min.	3,1	0,0					
SUMME							SUMME							SUMME						

## 3.1.2. Verteilung der direkten Strahlung in Abhängigkeit von der Exposition

In diesem Kapitel wird auf folgende Frage näher eingegangen: Was für einen Einfluss hat die Exposition auf die Sonnenscheindauer im Juni in den Bestandeslücken gleicher Ausrichtung, gleicher Hangneigung und unterschiedlicher Größe? Insbesondere wird auf die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer näher eingegangen. Aus diesem Grund werden die Lücken detailliert beschrieben.

Die Gliederung des Kapitels folgt dem vorangegangenen: zuerst werden die schlitzförmigen Lücken, dann die runden Bestandesöffnungen vorgestellt.

### 3.1.2.1. Schlitzförmige Bestandeslücken

#### 3.1.2.1.1. Verteilung der Sonnenscheindauer innerhalb der Bestandeslücken

##### **A Grosse schlitzförmige Bestandeslücken** (Nr. 1, 2 und 3 Uaul Surrein (Sedrun))

Nachfolgend wird die grosse, schlitzförmige Bestandeslücke 2 eingehender beschrieben, da sie eine einheitliche Form und eine gleichmässige Abgrenzung durch Randbäume aufweist und deshalb leicht korrigiert werden konnte. Zum Vergleich werden die beiden anderen grossen, schlitzförmigen Bestandeslücken 1 und 3 bei Abweichungen von der Bestandeslücke 2 einbezogen. Auf eine nähere Beschreibung dieser beiden Lücken wird verzichtet, da die Resultate ähnlich sind wie in Bestandeslücke 2. Die graphischen Darstellungen zu den Lücken sind in der *Übersichtsgrafik 3a* (S.50) zu entnehmen.

##### **In Zahlen**

In der *nordexponierten* Bestandeslücke 2 weisen 41 % der Stichprobenpunkte mehr als 2 Stunden tägliche Sonnenscheindauer im Juni auf, das ist aus *Tab. 26* ersichtlich. Im Vergleich zu den *nordexponierten* Bestandeslücken 1 und 3 sind das ca. 10% mehr Stichprobenpunkte mit einer Sonnenscheindauer von über 2 Stunden (vgl. *Tab. in Übersichtsgrafik 3 S.50*). Die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer beträgt, wie bereits in Kapitel 3.1.1.1. beschrieben, 1,9 Stunden im Juni.

Schlitzförmige Bestandeslücke 2 gross								
Exposition	Nord		Süd		West		Ost	
Lücke 2 - Sedrun								
Sonnenscheindauer im Juni	%	absolut	%	absolut	in %	absolut	in %	absolut
< 0,5 h	3	1	10	4	3	1	5	2
0,5 h - 1 h	15	6	8	3	5	2	5	2
1 h - 1,5 h	26	10	5	2	10	4	8	3
1,5 h - 2 h	15	6	5	2	28	11	8	3
> 2 h	41	16	72	28	54	21	74	29
<b>Mittelwert</b>	1,9		3,0		2,1		2,5	
<b>Max</b>	4,6		5,8		3,6		5,0	
<b>Min</b>	0,4		0,1		0,4		0,1	

*Tab. 26:* Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni bei unterschiedlicher Exposition in der **schlitzförmigen grossen Bestandeslücke 2** in % und absolut, inkl. Mittelwert, maximaler und minimaler Wert (Bearbeitungsstufe B).

Die *südexponierte* Bestandeslücke weist mit über 70% einen hohen Anteil an Stichprobenpunkten mit mehr als 2 Stunden täglicher Junisonne auf. Die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer im Juni

ist im Vergleich zu den anderen Bestandeslücken mit 3,0 Stunden am zweithöchsten. Auffallend ist die grosse Differenz zwischen den Maximal- und Minimalwerten von über 5 Stunden (vgl. *Tab. 26*). Bei den *westexponierten* Bestandeslücken haben über 50 % der Stichprobenpunkte mehr als 2 Stunden Sonne im Juni. Eine Ausnahme bildet die Bestandeslücke 3, bei der nur gerade ca. 20% der Stichproben mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer aufweisen. Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit ähnlicher Sonnenscheindauer scheint nach *Abb. 17* (S.39) in der Bestandeslücke 2 am ausgeglichensten zu sein. Dieser Eindruck bestätigt sich insofern, als die Differenz zwischen der maximalen und minimalen Sonnenscheindauer in der westexponierten Bestandeslücke am kleinsten ist (vgl. *Tab 26*).

Bei der *ostexponierten* Bestandeslücke weisen  $\frac{3}{4}$  der Stichprobenpunkte mehr als 2 Stunden Sonne im Juni auf. Das ist ähnlich wie in der südexponierten Bestandeslücke. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer von 2,5 Stunden im Juni ist höher als in der westexponierten Bestandeslücke (vgl. *Tab. 26*).

### Zusammenfassend

Die unterschiedlich grossen Bestandeslücken 1, 2 und 3 zeigen bezüglich Exposition, mit Ausnahme der westexponierten Bestandeslücke 3, eine ähnlich hohe Anzahl Stichprobenpunkte mit einer Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden auf:

- am Nordhang erhalten etwa  $\frac{1}{3}$  bis  $\frac{2}{5}$  aller Stichprobenpunkte mehr als 2 Stunden Sonne im Juni (siehe *Tab. in Übersichtsgrafik 3 und Tab. 26*).
- an den ost-, west- bzw. südexponierten Hängen weisen  $\frac{2}{3}$  der Stichprobenpunkte eine Sonnenscheindauer von über 2 Stunden auf.

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer ist in den südexponierten Bestandeslücken am höchsten und in den nordexponierten Lücken am kleinsten. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer der ost- und westexponierten Bestandeslücken liegt zwischen den Werten der süd- und nordexponierten Bestandeslücken.

### Räumliche Beschreibung

Die nachfolgende Beschreibung bezieht sich auf *Abb. 17*, welche einen Eindruck von der räumlichen Verteilung der Stichprobenpunkte unterschiedlicher Sonnenscheindauer in der grossen schlitzförmigen Bestandeslücke 2 gibt.

In der *nordexponierten* Bestandeslücke befinden sich Stichprobenpunkte mit **mehr als 2 Stunden** Sonnenscheindauer am talwärts gelegenen Bestandesrand der Lücke - insbesondere im unteren Teil. Die gleich hohe Anzahl von Stichprobenpunkten mit einer Sonnenscheindauer von **1 bis 2 Stunden** ist auf der gegenüberliegenden Seite des Schlitzes zu finden - am bergwärts gelegenen Teil der Lücke. Stichprobenpunkte mit **weniger als 1 Stunde** täglicher Sonnenscheindauer im Juni sind am oberen bergwärts gelegenen Teil der Lücke. Der Wechsel von Stichprobenpunkten mit sehr hoher bzw. geringer Sonnenscheindauer ist fliegend (siehe *Abb. 17*).

In der *südexponierten* Bestandeslücke sind die Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden täglicher Junisonne, abgesehen vom unteren Teil der Bestandeslücke, auf die gesamte Bestandeslücke verteilt (vgl. *Abb. 17*). Die restlichen 30 % der Stichprobenpunkte **mit weniger als 2 Stunden** Sonne im Juni befinden sich mehrheitlich im unteren Teil der Bestandeslücke. Der **abrupte Wechsel** zwischen Stichprobenpunkten mit sehr hoher und niedriger Sonnenscheindauer im unteren Teil des Bestandes ist auffällig: Praktisch alle Stichprobenpunkte, die mehr als 15 m vom unteren Bestandesrand entfernt sind, weisen mehr als 2 Stunden tägliche Sonne im Juni auf. Die meisten Stichprobenpunkte, die sich näher zum Bestandesrand hin befinden, weisen dagegen weniger als 1 Stunde tägliche Junisonne auf.

In der *westexponierten* Bestandeslücke befinden sich die Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer mehrheitlich am bergseitigen unteren Teil der Bestandeslücke. Stichprobenpunkte mit weniger als 2 Stunden Sonne im Juni befinden sich, wie beim nordexponierten Hang, im oberen Teil der Bestandeslücke.

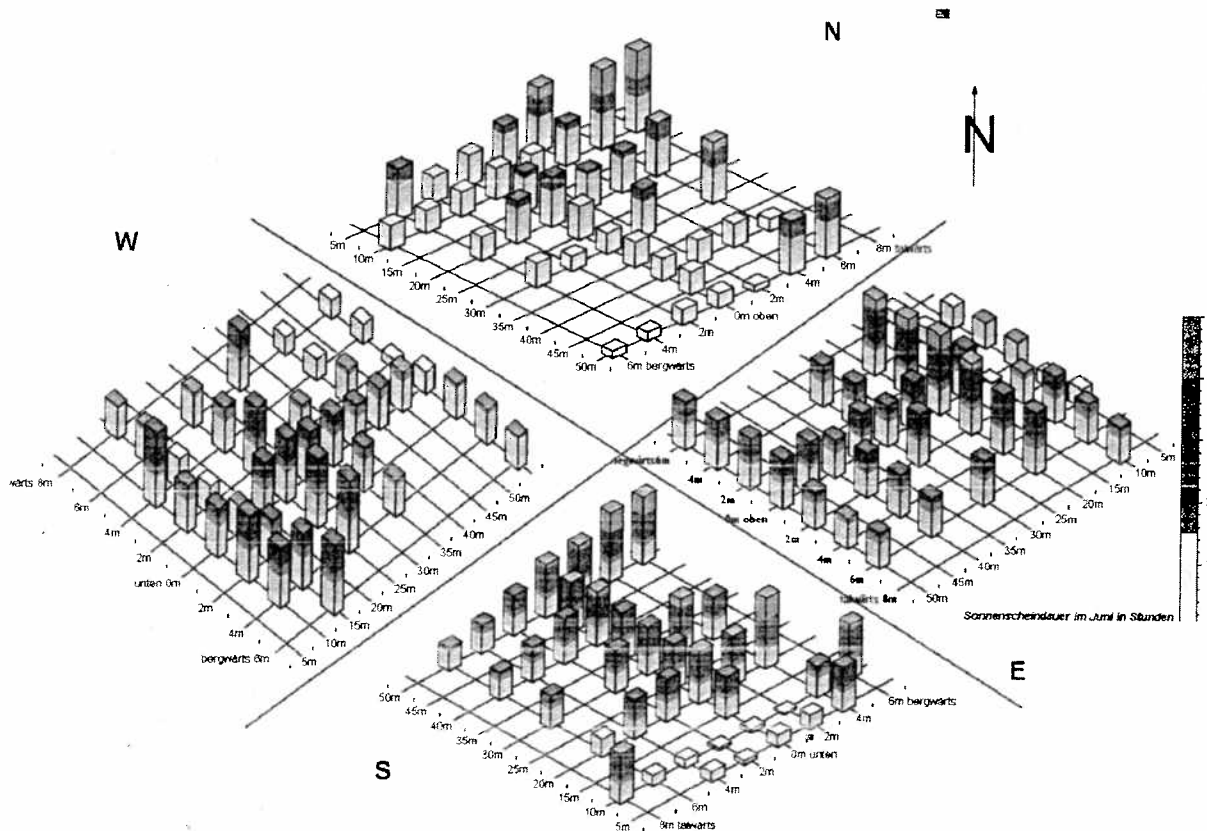
In der *ostexponierten* Bestandeslücke finden sich Stichprobenpunkte mit weniger als 2 Stunden Sonne im unteren Teil der Bestandeslücke, ähnlich wie in der südexponierten Bestandeslücke. Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Junisonne sind auf die gesamte Bestandeslücke verteilt.

### Zusammenfassend

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer ist in den ost-, west- und südexponierten Bestandeslücken ähnlich: Stichprobenpunkte mit sehr hoher Sonnenscheindauer befinden sich mehrheitlich auf der bergzugewandten Seite. Bei der nordexponierten Bestandeslücke ist es gerade umgekehrt: die Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonne im Juni befinden sich mehrheitlich auf der talwärts gelegenen Seite.

Die geringste Sonnenscheindauer ist bei der nordexponierten Bestandeslücke vor allem im oberen bergwärts gelegenen Teil der Bestandeslücke zu finden. Im Gegensatz dazu ist in den ost- und südexponierten Lücken die geringste Sonnenscheindauer im unteren Teil zu finden. Die westexponierte Lücke lässt keine klare Tendenz der räumlichen Verteilung der Sonnenscheindauer unter 2 Stunden zu. Stichprobenpunkte mit geringer Sonnenscheindauer befinden sich vor allem im oberen talwärts liegenden Bereich der Bestandeslücke.

Bei den nord- und westexponierten Bestandeslücken gibt es eher einen fließenden Übergang zwischen Stichprobenpunkten mit hoher bzw. niedriger Sonnenscheindauer, im Gegensatz zu den süd- und ostexponierten Beständen, bei denen Stichprobenpunkte mit sehr hoher und niedriger Sonnenscheindauer einander unmittelbar gegenüberliegen (vgl. *Abb. 17*).



*Abb. 17:* Verteilung der Sonnenscheindauer in den Expositionen S, N, W und E bei gleicher Ausrichtung der Bestandeslücke. Die gekreuzte Gerade stellt die Kanten eines Berges mit dem Gipfel im Mittelpunkt dar. Darstellungswise übernommen von Brang (1996).



**B Mittelgrosse schlitzförmige Bestandeslücken**

(Nr. 11 und 12 Davos)

Von den zwei aufgenommenen Bestandeslücken unterscheidet sich die Mittelgrosse Bestandeslücke 1 wesentlich von der Bestandeslücke 2. Im folgenden wird die Mittelgrosse Bestandeslücke 1 beschrieben und die zweite Mittelgrosse Bestandeslücke 2 bei Unterschieden in die Beschreibung miteinbezogen. Die Daten und Abbildungen hierzu befinden sich im *Übersichtsgrafik 3a*.

**In Zahlen**

Tab. 27 zeigt, dass in der *nordexponierten* Bestandeslücke 1 nur gerade 3 Stichproben (17%) eine Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden im Juni aufweisen. Wenn man dazu die Stichprobenpunkte mit einer Sonnenscheindauer von 1,5 h bis 2 h miteinbezieht, kommt man bereits auf einen Anteil von 10 Stichprobenpunkten (56%); in der Bestandeslücke 2 hingegen sind es nur 2 Stichprobenpunkte (10 %), welche mehr als 1,5 Stunden tägliche Sonnenscheindauer im Juni aufweisen (siehe Tab. in *Übersichtsgrafik 3*).

Schlitzförmige Bestandeslücke MITTEL GROSS 1								
Exposition	Nord		Süd		West		Ost	
	%	absolut	%	Absolut	In %	Absolut	in %	absolut
Sonnenscheindauer im Juni								
< 0,5 h	11	2	22	4	6	1	11	2
0,5 h - 1 h	22	4	28	5	28	5	17	3
1 h - 1,5 h	11	2	0	0	6	1	11	2
1,5 h - 2 h	39	7	11	2	22	4	17	3
> 2 h	17	3	39	7	39	7	44	8
Lücke 11 - Davos								

Tab. 27: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni bei unterschiedlicher Exposition in der **schlitzförmigen mittelgrossen Bestandeslücke 1** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B).

Bei der *südexponierten* Bestandeslücke ist der Anteil Stichprobenpunkte mit mehr als 1,5 Stunden täglicher Sonnenscheindauer im Juni gleich hoch wie der Anteil Stichprobenpunkte mit weniger als 1 Stunde Sonnenscheindauer. Im Gegensatz dazu weist die Bestandeslücke 2 mehr Stichprobenpunkte mit einer täglichen Sonnenscheindauer im Juni von mehr als 1,5 Stunden auf.

Die *westexponierte* Bestandeslücke weist gleich viel Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden täglicher Sonnenscheindauer im Juni auf wie die *südexponierte* Lücke.

Die *ostexponierte* Bestandeslücke enthält den höchsten Anteil Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer.

**Räumliche Beschreibung**

Eine gemeinsame gleiche räumliche Anhäufung der Stichprobenpunkte gleich hoher Sonnenscheindauer lässt sich bei einem Vergleich der beiden mittelgrossen Lücken in Nordexposition nicht mehr so eindeutig ausmachen, wie bei den schlitzförmigen grossen Bestandeslücken, das zeigt die *Übersichtsgrafik 3* zu den beiden Lücken. Die *nordexponierten* Bestandeslücken 1 und 2 weisen vor allem in unteren Teil Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer auf.

Die *südexponierte* Bestandeslücke 1 weist besonders in der Mitte der Lücke Stichprobenpunkte mit Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden auf. Die Bestandeslücke 2 zeigt das Gleiche vor allem am oberen bergseitigen Bestandesrand. Stichprobenpunkte mit weniger als 1 Stunde Sonnenscheindauer befinden sich in beiden Lücken mehrheitlich an den Bestandesrändern.



Die *westexponierte* Bestandeslücke 1 hat eine ähnliche räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer wie die *südexponierte* auf: Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer befinden sich mehrheitlich in der Mitte. Bei der westexponierten Bestandeslücke 2 befinden sich hingegen Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer vor allem im unteren Teil.

Bei den *ostexponierten* Bestandeslücken 1 und 2 ist die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer ähnlich: Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer befinden sich vor allem im oberen Teil der Lücken.

### Fazit

Eine ähnliche räumliche Tendenz von Stichproben mit gleich hoher Sonnenscheindauer zeigt sich bei den mittelgrossen schlitzförmigen Modelllücken 1 und 2 bei den Expositionen Nord und Ost. Die süd- und westexponierten Lücken weisen hingegen eine leicht unterschiedliche räumliche Tendenz von Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer auf.

Die Höhe der durchschnittlichen Sonnenscheindauer zwischen den beiden mittelgrossen Lücken ist verschieden, das zeigt *Tab. 28*.

Bei der Bestandeslücke 1 ist zwar die durchschnittliche Sonnenscheindauer bei der Exposition Nord höher als bei der Bestandeslücke 2, dafür ist die durchschnittliche Sonnenscheindauer bei der südexponierten Bestandeslücke 1 um fast denselben Betrag geringer.

Lücke 1	Nord	Süd	West	Ost
Mittelwert	1,3	1,5	1,5	1,5
Max	2,8	3,5	2,7	3,2
Min	0,0	0,3	0,3	0,2
Lücke 2	Nord	Süd	West	Ost
Mittelwert	0,8	1,9	1,8	1,6
Max	2,8	4,1	3,0	2,5
Min	0,0	0,5	0,5	0,6

*Tab. 28:* durchschnittliche, maximale und minimale potentielle tägliche Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NWW-SEE ausgerichteten nordexponierten **schlitzförmige mittelgrossen Bestandeslücken** (Bearbeitungsstufe B, C und A)

## C Kleine schlitzförmige Bestandeslücken (Nr. 13, 15, 16 Davos; 4, 5 Uaul Surrein, 9 Rueras (Sedrun))

### In Zahlen

Die *nordexponierten* kleinen schlitzförmigen Bestandeslücken beinhalten keine Stichproben mit mehr als 2 Stunden täglicher Sonnenscheindauer im Juni, das zeigt *Tab. 29*. Die durchschnittliche tägliche Sonnenscheindauer im Juni beträgt in den nordexponierten Bestandeslücken zwischen 0,1 und 0,9 Stunden.

Die *südexponierten* Bestandeslücken hingegen weisen mindestens einen Stichprobenpunkt mit mehr als 1,5 Stunden Sonnenscheindauer im Juni auf. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer beträgt mehr als 1 h. Etwas aus der Reihe fällt die Bestandeslücke 6 mit durchschnittlich 3 Stunden Sonnenscheindauer. (Der umgebende Bestand der Bestandeslücke 6 ist ein Stangenholz).

Die *westexponierten* Lücken haben eine ähnlich hohe durchschnittliche Sonnenscheindauer auf wie die südexponierten. Der Anteil Stichprobenpunkte mit mehr als 1,5 Stunden Sonnenscheindauer ist jedoch in den westexponierten Bestandeslücken höher als in den südexponierten.

NORDEXPOSITION						
Lücke	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Sonnenscheindauer im Juni	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut
< 0,5 h	1	12	1	2	0	6
0,5 h - 1 h	6	2	7	1	4	0
1 h - 1,5 h	2	0	4	2	0	0
1,5 h - 2 h	0	0	2	0	0	0
> 2 h	0	0	0	0	0	0
Total Stichprobenpkt.	9	14	14	5	4	6
Mittelwert	0,7	0,3	0,9	0,7	0,6	0,1
Max	1,4	0,6	1,8	1,0	0,7	0,3
Min	0,4	0,1	0,1	0,3	0,5	0,0

SÜDEXPOSITION						
Lücke	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Sonnenscheindauer im Juni	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut
< 0,5 h	0	0	1	0	0	1
0,5 h - 1 h	8	6	7	0	2	1
1 h - 1,5 h	1	4	5	4	1	0
1,5 h - 2 h	0	0	1	0	0	0
> 2 h	0	4	0	1	1	4
Total Stichprobenpkt.	9	14	14	5	4	6
Mittelwert	0,8	1,4	0,9	1,4	1,3	2,5
Max	1,9	3,5	1,6	2,0	2,4	4,9
Min	0,6	0,6	0,3	1,1	0,7	0,0

WESTEXPOSITION						
Lücke	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Sonnenscheindauer im Juni	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut
< 0,5 h	0	2	1	0	1	1
0,5 h - 1 h	2	8	7	0	0	0
1 h - 1,5 h	3	2	4	2	0	0
1,5 h - 2 h	1	2	2	1	0	1
> 2 h	3	0	0	2	3	4
Total Stichprobenpkt.	9	14	14	5	4	6
Mittelwert	1,6	0,9	1,0	1,6	1,6	2,4
Max	2,6	1,6	1,7	2,2	2,0	4,1
Min	0,6	0,3	0,4	1,1	0,4	0,0

OSTEXPOSITION						
Lücke	1.	2.	3.	4.	5.	6.
Sonnenscheindauer im Juni	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut	absolut
< 0,5 h	1	0	1	3	1	1
0,5 h - 1 h	4	3	7	2	2	1
1 h - 1,5 h	2	5	6	0	0	2
1,5 h - 2 h	2	5	0	0	1	0
> 2 h	0	1	0	0	0	2
Total Stichprobenpkt.	9	14	14	5	4	6
Mittelwert	1,0	1,3	0,9	0,4	0,9	1,8
Max	1,7	2,7	1,4	0,8	1,9	4,6
Min	0,4	0,7	0,3	0,2	0,4	0,0

Tab. 29: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni bei unterschiedlicher Exposition in den **schlitzförmigen kleinen Bestandeslücken**; Angaben absolut (Bearbeitungsstufe B).

In den *ostexponierten* Bestandeslücken weisen, ähnlich wie in den nordexponierten, die meisten Stichproben weniger als 1,5 Stunden Sonnenscheindauer auf. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer liegt mit einer Stunde zwischen den Werten der nord- bzw. südexponierten Lücken.

### Räumliche Beschreibung

Es lässt sich keine Tendenz der räumlichen Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer feststellen, von ein paar Ausnahmen abgesehen (vgl. *Übersichtsgrafik 3b*).

Die Ausnahmen sind folgende:

Bei der westexponierten Bestandeslücke 1 und bei den südexponierten Bestandeslücken 2 und 6 befinden sich Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden täglicher Sonnenscheindauer im Juni überwiegend am oberen Rand der Lücke.

### 3.1.2.1.2. Verteilung der Sonnenscheindauer im Vergleich zwischen den Bestandeslücken

#### **In Zahlen**

Die unterschiedlich exponierten Bestandeslücken beinhalten einen ähnlich hohen Anteil Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer:

Bei den **nordexponierten** Lücken ist der Anteil Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer:

- bei den grossen Lücken kleiner als 45 %,
- bei den mittelgrossen Lücken kleiner als 20 %
- und bei den kleinen Lücken gleich 0 %.

Bei den **west-, ost-, und südexponierten** Lücken ist der Anteil Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer:

- bei den grossen Lücken grösser als 50 %,
- bei den mittelgrossen Lücken grösser als 35%
- und bei den kleinen Lücken grösser als ca. 15%.

Auffallend ist, dass die ostexponierten Bestandeslücken vielfach einen höheren Anteil Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer zeigen als die südexponierten Bestandeslücken. Wenn man jedoch die durchschnittliche Sonnenscheindauer in den unterschiedlich exponierten Bestandeslücken betrachtet, weisen die südexponierten Lücken den grössten Anteil Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer auf, gefolgt von den ost- und westexponierten Bestandeslücken. Die nordexponierte Bestandeslücke weist, wie erwartet, die kleinste durchschnittliche Sonnenscheindauer auf.

#### **Räumliche Verteilung**

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer ist in allen Exposition nur bei den grossen schlitzförmigen Lücken ähnlich. Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonne im Juni befinden sich:

- in den nordexponierten Lücken mehrheitlich auf der talzugewandten Seite.
- in ost-, west- und südexponierten Bestandeslücken mehrheitlich auf der bergzugewandten Seite

Bei den mittelgrossen schlitzförmigen Modelllücken ist eine ähnliche räumliche Tendenz von Stichproben mit hoher Sonnenscheindauer nur bei den Expositionen Nord und Ost ersichtlich. Die kleinen Modelllücken weisen hingegen bei gleichen Standortverhältnissen (= gleiche Entwicklungsstufe und Hangneigung) keine räumliche Tendenz von Stichprobenpunkten mit hoher Sonnenscheindauer auf, ausser in der Bestandeslücke 1 am Westhang.

Die räumliche Verteilung von Stichprobenpunkten mit ähnlicher Sonnenscheindauer ist in den nordexponierten Lücken am ausgeglichtesten, im Gegensatz zu den südexponierten Bestandeslücken, bei denen die Tendenz grösser ist, dass Stichprobenpunkte mit hoher bzw. kleiner Sonnenscheindauer unmittelbar gegenüberliegen.

### 3.1.2.2. Runde Bestandeslücken

#### 3.1.2.2.1. Verteilung der Sonnenscheindauer innerhalb der Bestandeslücken

##### A Grosse runde Bestandeslücke

(Nr. 16 Davos)

###### In Zahlen

In der *nordexponierten* Bestandeslücke haben fast die Hälfte der Stichprobenpunkte eine tägliche Sonnenscheindauer im Juni von mehr als 2 Stunden. In den *südexponierten* Bestandeslücken haben sogar nahezu 100 % der Stichprobenpunkte mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer. Die *west- und ostexponierten* Bestandeslücken liegen mit  $\frac{2}{3}$  und  $\frac{3}{4}$  der Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonne dazwischen. Die Verteilung der Stichprobenpunkte mit ähnlicher Sonnenscheindauer scheint in den *nord- und westexponierten* Beständen am ausgeglicheneren zu sein (vgl. Tab. 30).

Runde Bestandeslücke GROSS 1								
Exposition	Nord		Süd		West		Ost	
	%	absolut	%	Absolut	in %	absolut	in %	Absolut
Sonnenscheindauer im Juni								
< 0,5 h	11	2	0	0	5	1	0	0
0,5 h - 1 h	26	5	0	0	21	4	26	5
1 h - 1,5 h	21	4	0	0	11	2	0	0
1,5 h - 2 h	0	0	5	1	0	0	0	0
> 2 h	42	8	95	18	63	12	74	14
Mittelwert	2,2		3,3		2,8		3,2	
Max.	4,4		4,7		6,2		6,2	
Min.	0,4		1,9		0,4		0,4	
Lücke 14 - Davos								

Tab. 30: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni bei unterschiedlicher Exposition in der **runden, grossen Bestandeslücke 1** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B).

Die durchschnittlich hohe Sonnenscheindauer nimmt von der südexponierten Bestandeslücke (von 3,3 h) über die ost- und westexponierten Lücken (mit 3,2 h bzw. 2,8 h) zu der nordexponierten Lücke (mit 2,2 h) ab. Auffallend ist die hohe Differenz zwischen den Maximum- und Minimumwerten in den ost- und westexponierten Bestandeslücken.

###### Räumliche Beschreibung

Eine räumliche Tendenz der Verteilung der Stichprobenpunkte von hoher Sonnenscheindauer ist bei der nordexponierten Lücke klar ersichtlich. Bei den übrigen Expositionen ist die räumliche Tendenz von hoher Sonnenscheindauer ebenfalls gegeben, jedoch nicht so augenfällig wie bei der Nordexposition. Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer befinden sich demnach in:

- der nordexponierten Lücken im unteren Teil
- der südexponierten Lücken im oberen Teil
- der westexponierten Lücken im nordwärts liegenden Teil
- der ostexponierten Lücken am südwärts liegenden Teil der Lücke (vgl. *Übersichtsgrafik 4*).

##### B Mittelgrosse runde Bestandeslücken

(Nr. 10 Davos, Nr. 7 Uaul Surrein (Sedrun))

Nachfolgend wird von den beiden runden mittelgrossen Bestandeslücken die runde Bestandeslücke 2 nach Tab. 31 und anhand *Übersichtsgrafik 4* beschrieben. Die andere Bestandeslücke 1 weist ähnliche Ergebnisse auf. Auf Unterschiede wird darum kurz eingegangen.

###### In Zahlen

Bei der *nordexponierten* Bestandeslücke 2 weisen etwa 20 % der Stichproben eine Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden im Juni auf. Der Anteil Stichproben mit weniger als einer Stunde Sonne im Juni ist mit über 70 % hoch.

Bei der *südexponierten* Bestandeslücke 2 sind es indessen nur etwa 10 % der Stichprobenpunkte mit einer Sonnenscheindauer von weniger als 1 Stunde, mehr als 50 % der Stichprobenpunkte weisen dagegen eine Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden auf. Relativ hoch ist der Anteil an Stichprobenpunkten mit einer Sonnenscheindauer von 1 – 1,5 Stunden.

Die Verteilung der Stichprobenpunkte mit ähnlicher Sonnenscheindauer ist bei den *westexponierten* Lücken insgesamt am ausgeglichensten. Der Anteil Stichprobenpunkte mit weniger als 2 Stunden Sonnenscheindauer ist hier am kleinsten.

Im Vergleich zur *westexponierten* Bestandeslücke weist die *ostexponierte* Bestandeslücke mehr als doppelt so viele Stichproben mit einer Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden auf (vgl. Tab. 31).

Runde Bestandeslücke MITTELGROSS 2								
Exposition	Nord		Süd		West		Ost	
Bearbeitungsstufe B								
Sonnenscheindauer im Juni	%	absolut	%	Absolut	in %	absolut	in %	Absolut
< 0,5 h	41	18	5	2	11	5	7	3
0,5 h – 1 h	30	13	9	4	36	16	32	14
1 h – 1,5 h	7	3	23	10	34	15	18	8
1,5 h – 2 h	5	2	7	3	2	1	5	2
> 2 h	18	8	57	25	16	7	39	17
Mittelwert	1,0		1,9		1,2		1,8	
Max	3,2		2,9		3,9		4,1	
Min	0,0		0,3		0,3		0,4	
Lücke 10 Davos								

Tab. 31: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni bei unterschiedlicher Exposition in der **runden mittelgrossen Bestandeslücke 2** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B).

Betrachtet man die durchschnittliche Sonnenscheindauer in den unterschiedlich exponierten Lücken, so zeigt sich das übliche Bild. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer ist: in den nordexponierten Bestandeslücken (mit 1 Stunde) am geringsten in der südexponierten Bestandeslücke (mit 1,9 Stunden) am höchsten dazwischen liegen die west- und ostexponierten Bestandeslücken (mit 1,2 bzw. 1,8 Stunden).

Bei der anderen runden Bestandeslücke 1 ist die durchschnittliche Sonnenscheindauer in der Süd-, West- und Ostexposition um 0,5 – 1,5 Stunden höher als die oben beschriebene Bestandeslücke 2. Die nordexponierte Bestandeslücke 1 hingegen, hat eine ähnlich hohe durchschnittliche Sonnenscheindauer. Auch die Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer ist analog. Bei den süd-, west- und ostexponierten Bestandeslücken ist der Anteil von Stichprobenpunkten mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer wesentlich höher: er beträgt bei der südexponierten Lücke 1 95 % (!), bei der westexponierten 55% und bei der ostexponierten 65 %. Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer ist ähnlich, wenn auch nicht mehr so eindeutig, weil weniger Aufnahmen gemacht wurden.

### Räumliche Beschreibung

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer in den mittelgrossen Bestandeslücken 2 ist ähnlich wie jene der runden grossen Bestandeslücke (vgl. *Übersichtsgrafik 4*) Ebenfalls ist die räumliche Verteilung bei der mittelgrossen Bestandeslücke ähnlich, sie ist aber nicht mehr so eindeutig, weil weniger Aufnahmen gemacht wurden. Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonne sind demzufolge mehrheitlich vorzufinden in:

- den nordexponierten Bestandeslücken: am unteren Bestandesrand
- den südexponierten Bestandeslücken: am oberen Bestandesrand
- den westexponierten Bestandeslücken: eher am nördlichen Bestandesrand
- den ostexponierten Bestandeslücken: am (oberen) südlichen Bestandesrand

**C Kleine runde Bestandeslücken**

(Nr. 8 und Nr. 9 Rueras (Sedrun))

Von den beiden runden kleinen Bestandeslücken wird die Bestandeslücke 1 dargestellt. Die Unterschiede zur Bestandeslücke 2 werden anschliessend kurz beschrieben.

**In Zahlen**

In der *nordexponierten* Bestandeslücke haben rund 30% der Stichprobenpunkte eine tägliche Sonnenscheindauer im Juni von mehr als 2 Stunden.

In der *südexponierten* Bestandeslücke sind es mit 67% doppelt so viele Stichprobenpunkte mit einer Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden.

Die *west- und ostexponierten* Bestandeslücken liegen mit 44% und 63 % der Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer dazwischen. (vgl. Tab. 32).

Runde Bestandeslücken KLEIN 1								
Exposition	Nord		Süd		West		Ost	
Sonnenscheindauer im Juni	%	Absolut	%	absolut	in %	absolut	in %	Absolut
< 0,5 h	30	8	11	3	11	3	11	3
0,5 h – 1 h	0	0	4	1	0	0	0	0
1 h - 1,5 h	22	6	19	5	33	9	19	5
1,5 h – 2 h	15	4	0	0	11	3	7	2
> 2 h	33	9	67	18	44	12	63	17
<b>Mittelwert</b>	1,4		2,8		2,1		2,6	
<b>Max.</b>	3,9		5,1		5,1		4,9	
<b>Min.</b>	0,0		0,0		0,0		0,1	
Lücke 7 – Sedrun Süd								

Tab. 32: Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni bei unterschiedlicher Exposition in der **runden kleinen Bestandeslücke 1** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B).

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer ist in allen Expositionen im Vergleich zu ihrer Grösse beträchtlich:

in der *südexponierten* Lücke 2,8 h,

in der *ost- bzw. westexponierten* Lücke 2,1 bzw. 2,6 h

und in der *nordexponierten* Lücke 1,4 h.

Ebenfalls beträchtlich ist die Differenz von über 5 Stunden zwischen der maximalen- und minimalen Sonnenscheindauer in den *west- und südexponierten* Bestandeslücken.

**Räumliche Beschreibung**

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer ist mit der vorhin vorgestellten mittelgrossen Bestandeslücke vergleichbar (vgl. *Übersichtsgrafik 4*) Ergänzend soll erwähnt werden:

In der *nordexponierten* Lücke ist der allmähliche Übergang von geringer Sonnenscheindauer im oberen Teil des Bestandes zu hoher Sonnenscheindauer im unteren Teil des Bestandes fließender als in der *südexponierten* Lücke. Der abrupte Übergang zwischen Stichproben mit hoher bzw. geringer Sonnenscheindauer fällt bei der Exposition nach Süden auf.

**-Vergleich mit Bestandeslücke 2**

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer ist in der runden kleinen Bestandeslücke 2 in der *nordexponierten* Bestandeslücke ca. eine halbe Stunde geringer.

- in der *süd- und westexponierten* Lücke ist die Sonnenscheindauer ca. eine halbe Stunde länger

- in der *ostexponierten* Bestandeslücke ist sie etwa gleich hoch wie in Bestandeslücke 1

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit ähnlicher Sonnenscheindauer ist also ähnlich in der Bestandeslücke 1 und 2.

### 3.1.2.2.2. Verteilung der Sonnenscheindauer im Vergleich zwischen den Bestandeslücken

Im folgenden werden die runde grosse Bestandeslücke und die mittelgrossen Bestandeslücken miteinander verglichen. Die kleinen runden Bestandeslücken sind bezüglich Höhe der Sonnenscheindauer nicht direkt vergleichbar mit den andern Bestandeslücken, weil der umgebende Bestand eine andere Entwicklungsstufe aufweist (siehe Kapitel 2.2.). Sie sind deshalb nur in bezug auf die räumliche Verteilung der Sonnenscheindauer vergleichbar.

#### **In Zahlen**

Bei den **nordexponierten** Bestandeslücken beträgt der Anteil Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer weniger als 50%;

- bei der grossen Bestandeslücke 42% und
- bei den mittelgrossen Bestandeslücken 10 - 18 %

Die **westexponierten** Lücken weisen, vergleichbar mit den nordexponierten Bestandeslücken, eine höhere Anzahl Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer auf:

- bei der grossen Bestandeslücke 63% und
- bei den mittelgrossen Bestandeslücken 16 - 55%.

Die **süd- und ostexponierten** Lücken weisen im Vergleich dazu die höchste Anzahl Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonne auf:

- bei der grossen Bestandeslücke sind es 95 % bzw. 74%
- bei der mittelgrossen Bestandeslücke 2: 57 bzw. 39 %
- bei der mittelgrossen Bestandeslücke 1: 96% bzw. 65%.

Die südexponierten Bestandeslücken haben klar den höchsten Anteil von Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer, gefolgt von den ostexponierten Bestandeslücken. Die Sonnenscheindauer in den westexponierten Lücken ist klein, verglichen mit den nordexponierten Lücken.

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer zeigt unabhängig von der Grösse der Bestandeslücke wie üblich das folgende Bild: die nordexponierten Bestandeslücken erhalten die geringste durchschnittliche Sonnenscheindauer. Die südexponierten Lücken die höchste. Bei den west- und ostexponierten Lücken liegt die durchschnittliche Sonnenscheindauer zwischen den Werten der süd- und nordexponierten Bestandeslücken.

Interessant ist, dass die mittelgrosse Bestandeslücke 2, von der Nordexposition abgesehen, eine ähnlich hohe Anzahl Stichproben mit Sonnenscheindauer von über 2 Stunden aufweist wie die grosse Bestandeslücke. Das ist bei der mittelgrossen Bestandeslücke 1 nicht der Fall. Mit Ausnahme der nordexponierten Bestandeslücke lässt sich bei den andern Expositionen keine klare Tendenz der Abnahme der Sonnenscheindauer im Zusammenhang mit der Lückengrösse ausmachen. Der Grund liegt in den unterschiedlichen standörtlichen Verhältnissen.

#### **Räumliche Beschreibung**

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer ist in allen Bestandeslücken ähnlich, unabhängig von ihrer Grösse. Sie ist jedoch nicht bei allen Lücken klar ersichtlich, weil nicht in allen Lücken die gleich hohe Anzahl Stichproben aufgenommen wurde.

Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer sind demzufolge zu finden bei den

- nordexponierten Bestandeslücken: am unteren Bestandesrand
- südexponierten Bestandeslücken: am oberen Bestandesrand
- westexponierten Bestandeslücken: eher am nördlichen Bestandesrand
- ostexponierten Bestandeslücken: am (oberen) südlichen Bestandesrand

### 3.1.2.3. Vergleich der schlitzförmigen und runden Bestandeslücken

#### In Zahlen

Weil die schlitzförmigen und runden Lücken zum Teil unterschiedliche standörtliche Verhältnisse aufweisen, können sie nur mit Vorbehalt verglichen werden. Nachfolgend wird deshalb auf einen Vergleich der **kleinen** runden Lücken verzichtet.

Sowohl in den schlitzförmigen als auch in den runden Bestandeslücken ist die Höhe der Sonnenscheindauer stark abhängig von der Exposition, was auch vermutet wurde und nach der Literatur als plausibel erscheint.

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer der schlitzförmigen und runden grossen Bestandeslücken weist in den südexponierten Bestandeslücken den höchsten und in den nordexponierten den kleinsten Wert auf. Die Höhe der durchschnittlichen Sonnenscheindauer der ost- bzw. westexponierten Bestandeslücken liegt zwischen den Werten der nord- bzw. südexponierten Bestandeslücken.

Die **Ergebnisse** bestätigen also die gemachten **Hypothese**.

Bei den **nordexponierten** Bestandeslücken beträgt der Anteil Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer weniger als 50%:

- bei der grossen Lücke:           - rund: 42%
- schlitzförmig: 32 - 41%
- bei den mittelgrossen Lücken - rund: 10 - 18 %
- schlitzförmig: 20%
- bei den kleinen Lücken:       - schlitzförmig: 0%

Bei den **südexponierten** Lücken ist der Anteil Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer am grössten:

- bei der grossen Lücke:       - rund: 95%
- schlitzförmig: 58-77%
- bei den mittelgrossen Lücken - rund: 57 - 95%
- schlitzförmig: 39 - 45%
- bei den kleinen Lücken:       - schlitzförmig: 0 - 25%

Bei den **west- und ostexponierten** Lücken liegt der Anteil Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer in der Mitte:

- bei der grossen Lücke:       - rund: 63 bzw. 74%
- schlitzförmig: 67, 54% bzw. 64, 74 %
- bei den mittelgrossen Lücken - rund: 16, 55% bzw. 39, 65%
- schlitzförmig: 39, 50% bzw. 35 - 44%
- bei den kleinen Lücken       - schlitzförmig: 33, 40, 0, 75% bzw. 0, 36%

#### Räumliche Beschreibung

Die am Anfang aufgestellte **Hypothese** lautete, dass die **räumliche Verteilung** der direkten Strahlung in Bestandeslücken stets gleich sei, bei gleicher Ausrichtung und Exposition, unabhängig von Grösse und Form.

Es bestätigte sich, dass die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer in unterschiedlich grossen runden und schlitzförmigen Bestandeslücken grob gesehen ähnlich ist (vgl. *Übersichtsgrafik 3 u. 4*). Stichproben mit mehr als 2 Stunden Sonne sind demzufolge mehrheitlich vorzufinden in:

- den nordexponierten Bestandeslücken: am unteren (rund) bzw. talwärts gelegenen (schlitzförmig) Bestandesrand
- den südexponierten Bestandeslücken: am oberen (rund) bzw. oberen oder bergwärts (schlitzförmig) gelegenen Bestandesrand
- den westexponierten Bestandeslücken: am nördlichen (rund) bzw. oberen oder bergwärts (schlitzförmig) gelegenen Bestandesrand
- den ostexponierten Bestandeslücken: am südlichen (rund) bzw. oberen oder bergwärts (schlitzförmig) gelegenen Bestandesrand



Die leicht unterschiedliche räumliche Verteilung von Stichproben mit hoher Sonnenscheindauer in den runden und schlitzförmigen Lücken lässt sich bei den schlitzförmigen Lücken erklären durch die Schlitzausrichtung nach SSE – NWW.

Die Hypothese trifft zu auf die grossen Lücken, auf die mittelgrossen Bestandeslücken (bei den schlitzförmigen nur die ost- bzw. westexponierten) und auf die Lücken mit einem Stangenholz als umgebender Bestand.

Die mittelgrossen schlitzförmigen Lücken zeigen zwar eine eindeutige räumliche Verteilung von Stichprobenpunkten mit ähnlicher Sonnenscheindauer auf. Ein Vergleich zeigt jedoch, dass diese Lücken nur bei Ost- und Nordexposition ähnliche Werte aufweisen.

Bei den kleinen Lücken muss die Hypothese verworfen werden, mit Ausnahme jener Lücken, bei denen der umgebende Bestand ein Stangenholz ist. Sie weisen keine eindeutige räumliche Verteilung von Stichprobenpunkte mit gleich hoher Sonnenscheindauer auf, weil die Höhe des direkten Lichtes bei den kleinen Bestandeslücken stark vom Aufbau des Bestand abhängt und dieser ist variabel.

### **Fazit**

Die Hypothese stimmt **grob** bei gleicher Form in bezug auf die Lücken, bei denen der Einfluss des umgebenden Bestandes auf die Sonnenscheindauer gering ist. Das ist bei den grossen Lücken der Fall, zum Teil bei den mittelgrossen Lücken, sowie bei den Lücken, bei denen der umgebende Bestand ein Stangenholz ist.

Die Form könnte aber auch eine Rolle spielen

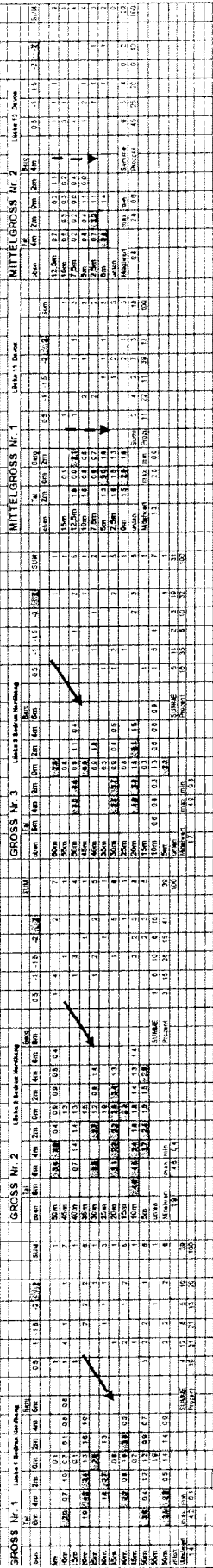


# Übersichtsgrafik 3a

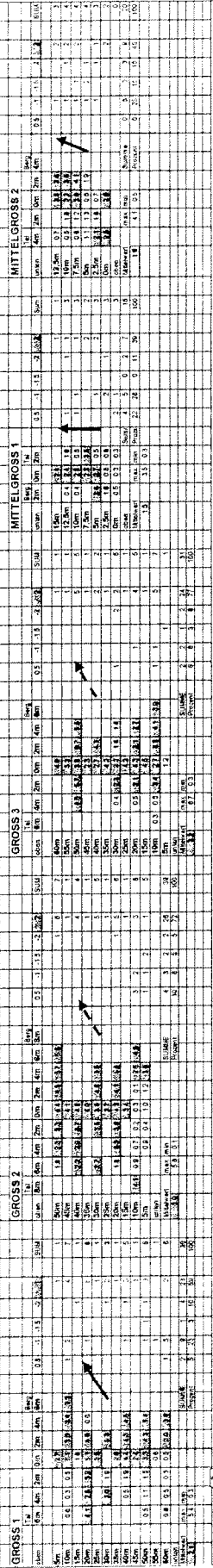
## 3.1.2. Verteilung der direkten Strahlung in Abhängigkeit von der Exposition

### 3.1.2.1. Schlitzförmige Bestandteile (Bearbeitungsfläche B)

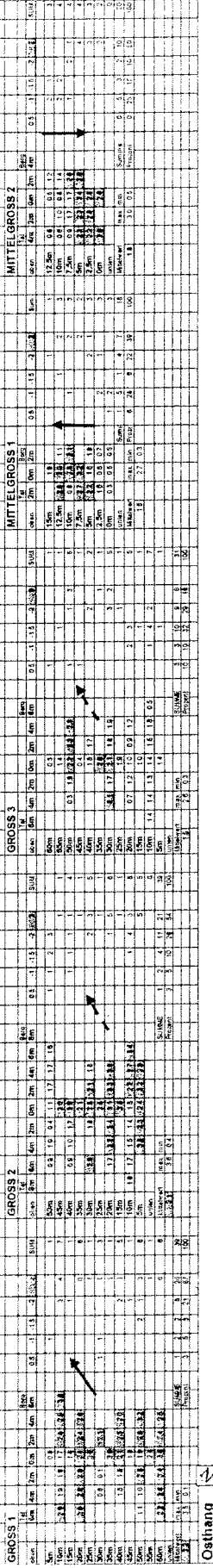
#### Nordhang



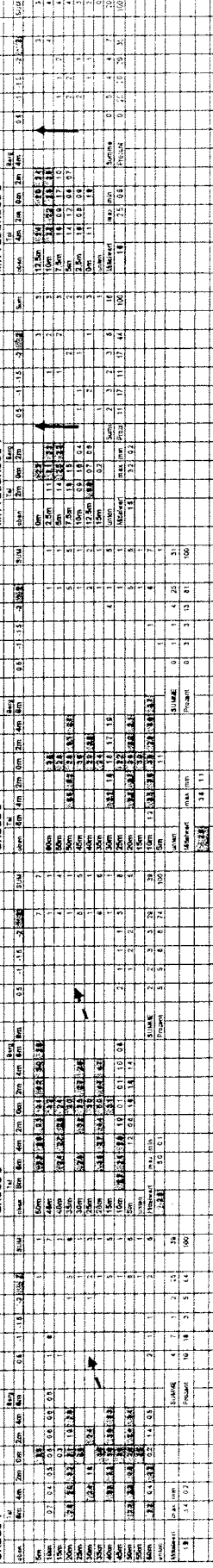
#### Südhang



#### Westhang



#### Osthang



Itagliche potentielle Sonnenscheindauer (in Juni)  
in Stunden  
-<0,5 h | 0,5-1 h | 1-1,5 h | 1,5-2 h | 2-2,5 h | 2,5-3 h | 3-3,5 h | 3,5-4 h | 4-4,5 h | 4,5-5 h | 5-5,5 h | 5,5-6 h

**Legende**

- Bearbeitungsfläche A = erdweiche Lücke
- Bearbeitungsfläche B = Metallwelle
- Bearbeitungsfläche C = Bearbeitungsfläche

räumliche Tendenz von hoher Sonnenscheindauer  
Skalierung: Abstand der Subtropenpunkte in Meter, von unten nach oben  
von unten nach oben

Übersichtsgrafik 3b

3.1.2 Verteilung der direkten Strahlung in Abhängigkeit von der Exposition

3.1.2.1 Schützformige Bestandteile (Bearbeitungsstufe B)

Zyklus

KLEIN Nr. 1		KLEIN Nr. 2		KLEIN Nr. 3		KLEIN Nr. 4		KLEIN Nr. 5		KLEIN Nr. 6	
Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte
10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8
9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7
8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6
7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5
6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4
5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3
4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2
3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1
2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0
1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0
0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0
<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>
<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>
<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>

Zyklus

KLEIN 1		KLEIN 2		KLEIN 3		KLEIN 4		KLEIN 5		KLEIN 6	
Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte
10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8
9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7
8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6
7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5
6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4
5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3
4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2
3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1
2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0
1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0
0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0
<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>
<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>
<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>

Zyklus

KLEIN 1		KLEIN 2		KLEIN 3		KLEIN 4		KLEIN 5		KLEIN 6	
Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte
10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8
9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7
8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6
7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5
6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4
5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3
4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2
3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1
2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0
1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0
0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0
<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>
<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>
<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>

Zyklus

KLEIN 1		KLEIN 2		KLEIN 3		KLEIN 4		KLEIN 5		KLEIN 6	
Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte	Exposition	Werte
10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8	10.0h	0.8
9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7	9.0h	0.7
8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6	8.0h	0.6
7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5	7.0h	0.5
6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4	6.0h	0.4
5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3	5.0h	0.3
4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2	4.0h	0.2
3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1	3.0h	0.1
2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0	2.0h	0.0
1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0	1.0h	0.0
0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0	0.0h	0.0
<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>	<b>Summe</b>	<b>4.0</b>
<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>	<b>Maximalwert</b>	<b>0.8</b>
<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>	<b>Minimalwert</b>	<b>0.0</b>

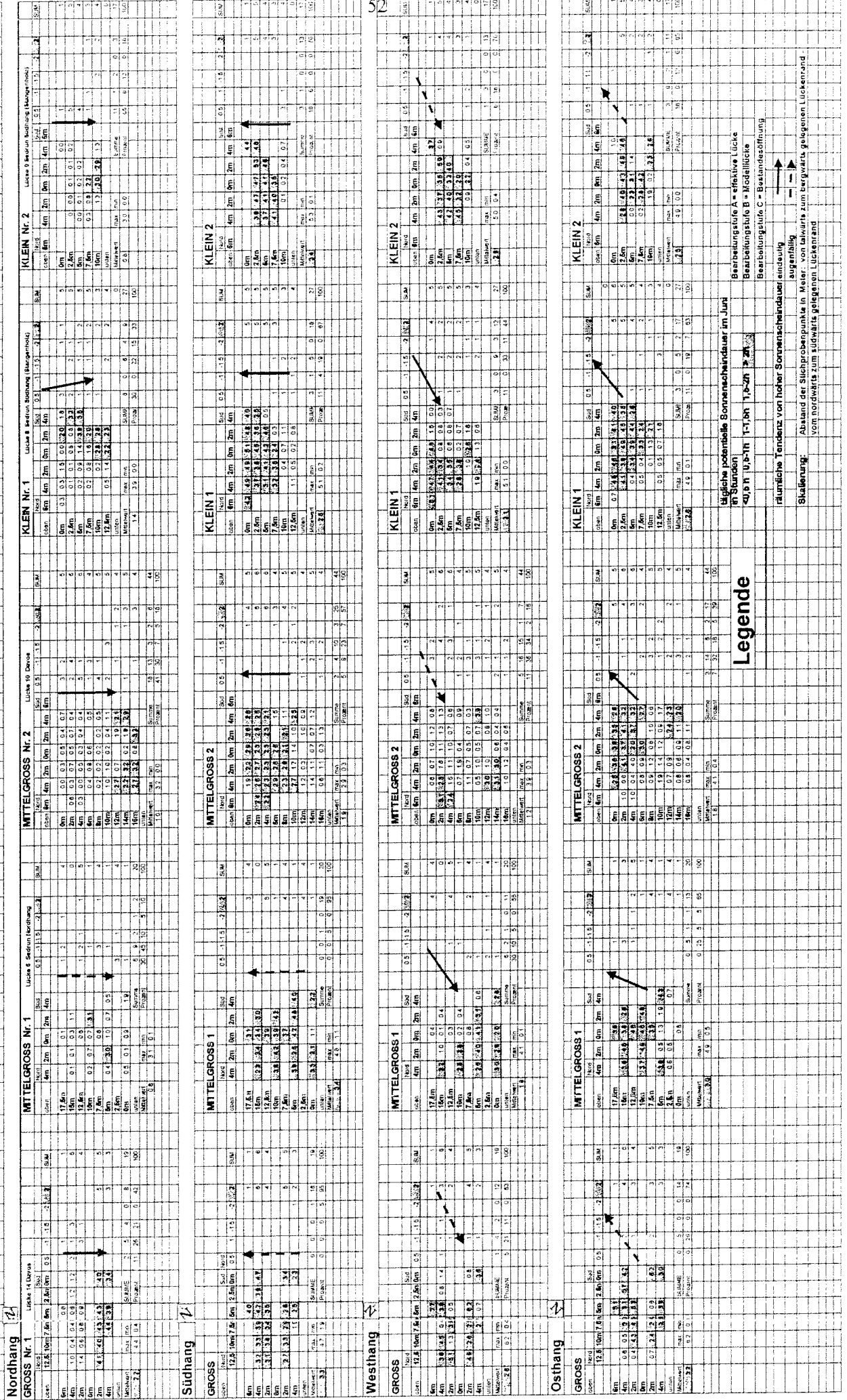
Legende

räumliche Tendenz von hoher Sonneneinstrahlung im Juni  
 in Südost  
 <0.5 h 0.5-1h 1-1.5h 1.5-2h 2-2.5h 2.5-3h 3-3.5h 3.5-4h 4-4.5h 4.5-5h 5-5.5h 5.5-6h 6-6.5h 6.5-7h 7-7.5h 7.5-8h 8-8.5h 8.5-9h 9-9.5h 9.5-10h 10-10.5h 10.5-11h 11-11.5h 11.5-12h 12-12.5h 12.5-13h 13-13.5h 13.5-14h 14-14.5h 14.5-15h 15-15.5h 15.5-16h 16-16.5h 16.5-17h 17-17.5h 17.5-18h 18-18.5h 18.5-19h 19-19.5h 19.5-20h 20-20.5h 20.5-21h 21-21.5h 21.5-22h 22-22.5h 22.5-23h 23-23.5h 23.5-24h 24-24.5h 24.5-25h 25-25.5h 25.5-26h 26-26.5h 26.5-27h 27-27.5h 27.5-28h 28-28.5h 28.5-29h 29-29.5h 29.5-30h 30-30.5h 30.5-31h 31-31.5h 31.5-32h 32-32.5h 32.5-33h 33-33.5h 33.5-34h 34-34.5h 34.5-35h 35-35.5h 35.5-36h 36-36.5h 36.5-37h 37-37.5h 37.5-38h 38-38.5h 38.5-39h 39-39.5h 39.5-40h 40-40.5h 40.5-41h 41-41.5h 41.5-42h 42-42.5h 42.5-43h 43-43.5h 43.5-44h 44-44.5h 44.5-45h 45-45.5h 45.5-46h 46-46.5h 46.5-47h 47-47.5h 47.5-48h 48-48.5h 48.5-49h 49-49.5h 49.5-50h 50-50.5h 50.5-51h 51-51.5h 51.5-52h 52-52.5h 52.5-53h 53-53.5h 53.5-54h 54-54.5h 54.5-55h 55-55.5h 55.5-56h 56-56.5h 56.5-57h 57-57.5h 57.5-58h 58-58.5h 58.5-59h 59-59.5h 59.5-60h 60-60.5h 60.5-61h 61-61.5h 61.5-62h 62-62.5h 62.5-63h 63-63.5h 63.5-64h 64-64.5h 64.5-65h 65-65.5h 65.5-66h 66-66.5h 66.5-67h 67-67.5h 67.5-68h 68-68.5h 68.5-69h 69-69.5h 69.5-70h 70-70.5h 70.5-71h 71-71.5h 71.5-72h 72-72.5h 72.5-73h 73-73.5h 73.5-74h 74-74.5h 74.5-75h 75-75.5h 75.5-76h 76-76.5h 76.5-77h 77-77.5h 77.5-78h 78-78.5h 78.5-79h 79-79.5h 79.5-80h 80-80.5h 80.5-81h 81-81.5h 81.5-82h 82-82.5h 82.5-83h 83-83.5h 83.5-84h 84-84.5h 84.5-85h 85-85.5h 85.5-86h 86-86.5h 86.5-87h 87-87.5h 87.5-88h 88-88.5h 88.5-89h 89-89.5h 89.5-90h 90-90.5h 90.5-91h 91-91.5h 91.5-92h 92-92.5h 92.5-93h 93-93.5h 93.5-94h 94-94.5h 94.5-95h 95-95.5h 95.5-96h 96-96.5h 96.5-97h 97-97.5h 97.5-98h 98-98.5h 98.5-99h 99-99.5h 99.5-100h 100-100.5h 100.5-101h 101-101.5h 101.5-102h 102-102.5h 102.5-103h 103-103.5h 103.5-104h 104-104.5h 104.5-105h 105-105.5h 105.5-106h 106-106.5h 106.5-107h 107-107.5h 107.5-108h 108-108.5h 108.5-109h 109-109.5h 109.5-110h 110-110.5h 110.5-111h 111-111.5h 111.5-112h 112-112.5h 112.5-113h 113-113.5h 113.5-114h 114-114.5h 114.5-115h 115-115.5h 115.5-116h 116-116.5h 116.5-117h 117-117.5h 117.5-118h 118-118.5h 118.5-119h 119-119.5h 119.5-120h 120-120.5h 120.5-121h 121-121.5h 121.5-122h 122-122.5h 122.5-123h 123-123.5h 123.5-124h 124-124.5h 124.5-125h 125-125.5h 125.5-126h 126-126.5h 126.5-127h 127-127.5h 127.5-128h 128-128.5h 128.5-129h 129-129.5h 129.5-130h 130-130.5h 130.5-131h 131-131.5h 131.5-132h 132-132.5h 132.5-133h 133-133.5h 133.5-134h 134-134.5h 134.5-135h 135-135.5h 135.5-136h 136-136.5h 136.5-137h 137-137.5h 137.5-138h 138-138.5h 138.5-139h 139-139.5h 139.5-140h 140-140.5h 140.5-141h 141-141.5h 141.5-142h 142-142.5h 142.5-143h 143-143.5h 143.5-144h 144-144.5h 144.5-145h 145-145.5h 145.5-146h 146-146.5h 146.5-147h 147-147.5h 147.5-148h 148-148.5h 148.5-149h 149-149.5h 149.5-150h 150-150.5h 150.5-151h 151-151.5h 151.5-152h 152-152.5h 152.5-153h 153-153.5h 153.5-154h 154-154.5h 154.5-155h 155-155.5h 155.5-156h 156-156.5h 156.5-157h 157-157.5h 157.5-158h 158-158.5h 158.5-159h 159-159.5h 159.5-160h 160-160.5h 160.5-161h 161-161.5h 161.5-162h 162-162.5h 162.5-163h 163-163.5h 163.5-164h 164-164.5h 164.5-165h 165-165.5h 165.5-166h 166-166.5h 166.5-167h 167-167.5h 167.5-168h 168-168.5h 168.5-169h 169-169.5h 169.5-170h 170-170.5h 170.5-171h 171-171.5h 171.5-172h 172-172.5h 172.5-173h 173-173.5h 173.5-174h 174-174.5h 174.5-175h 175-175.5h 175.5-176h 176-176.5h 176.5-177h 177-177.5h 177.5-178h 178-178.5h 178.5-179h 179-179.5h 179.5-180h 180-180.5h 180.5-181h 181-181.5h 181.5-182h 182-182.5h 182.5-183h 183-183.5h 183.5-184h 184-184.5h 184.5-185h 185-185.5h 185.5-186h 18

# Übersichtsgrafik 4

## 3.1.2. Verteilung der direkten Strahlung in Abhängigkeit von der Exposition

### 3.1.2.2. Runde Leuzenskitziken (Bearbeitungsstufe B)



## 3.2. Diffuse Strahlung

### 3.2.1. Verteilung der diffusen Strahlung in Abhängigkeit von der Lückengrösse

#### 3.2.1.1. Schlitzförmige Bestandeslücken

##### 3.2.1.1.1. Diffuse Lichtverteilung innerhalb der Bestandeslücken

#### A Grosse Bestandeslücke

(Nr. 16 Davos)

#### In Zahlen

Tab. 33 zeigt, dass in allen grossen Modelllücken über 45% der Stichprobenpunkte mehr als 20% diffuses Licht aufweisen. Von einer Ausnahme abgesehen, erhalten alle Stichproben mehr als 15% diffuses Licht. Die effektiven Lücken haben mit über 80% der Stichprobenpunkte mit mehr als 20 % diffussem Lichtanteil ein wesentlich höheres Resultat (siehe Tab. in Übersichtsgrafik 5).

Lücke	1		2		3	
	%	absolut	%	absolut	in %	Absolut
<b>Bearbeitungsstufe B</b>						
< 15 %	3	1	0	0	0	0
15 – 20 %	49	19	36	14	29	9
> 20 %	49	19	64	25	71	22

Tab. 33: Diffuse Lichtverteilung in % und absolut in den **schlitzförmigen grossen Bestandeslücken 1,2 und 3** (Bearbeitungsstufe B)

Alle Modelllücken erfüllen mit durchschnittlich 20% - bzw. mehr - diffussem Licht den von Frehner (2001a) als erforderlich vorgeschlagenen diffusen Lichtanteil von 20 %, was aus Tab. 34 ersichtlich ist. Der maximale bzw. minimale diffuse Anteil an diffussem Licht reicht in den Modelllücken von 15 % bis 30%.

Lücke	Bearbeitungsstufe B			Bearbeitungsstufe A			Bearbeitungsstufe C		
	1	2	3	1	2	3			
Mittelwert	20	22	21	25	26	24	16	17	18
Max.	29	30	27	37	31	38	24	11	30
Min.	15	15	15	16	18	17	12	23	9

Tab. 34: durchschnittliche, maximale und minimale diffuse Lichtverteilung in % in den **schlitzförmigen grossen Bestandeslücken 1,2 und 3** (Bearbeitungsstufe A,B)

Aufschlussreich ist ein Vergleich der Verteilung des diffusen Lichtes zwischen der Modelllücke (Bearbeitungsstufe B) und der Bestandesöffnung (Bearbeitungsstufe C). Die prozentuale Differenz zwischen der Modelllücke und der Bestandesöffnung gibt den seitlichen diffusen Lichtanteil an. Er macht prozentual bei allen grossen schlitzförmigen Lücken nicht mehr als 20 % aus. Mit anderen Worten: über 80 % der diffusen Strahlung gelangt von oben durch die Bestandesöffnung auf den Waldboden.

#### Räumliche Beschreibung

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleich hohem Anteil an diffussem Licht ist in den drei grossen schlitzförmigen Bestandeslücken ähnlich (vgl. Übersichtsgrafik 5). An den Bestandesrändern befinden sich die Stichprobenpunkte mit einem diffusen Lichtanteil von weniger als 20 %. In der Mitte der Lücke sind die Stichprobenpunkte mit einem diffusen Lichtanteil von mehr als 20 %. Der diffuse Lichtanteil nimmt also mit zunehmendem Abstand vom Lückenrand zur Mitte der Lücke zu und erreicht ein Maximum in der Mitte der Lücke. Tendenziell befinden sich die Stichprobenpunkte mit hohem diffussem Licht ein bisschen oberhalb von der Lückenmitte.

**B Mittelgrosse Bestandeslücken**

(Nr. 11 und 12 Davos)

**In Zahlen**

In den schlitzförmigen mittelgrossen Bestandeslücken weisen über 50% der Stichprobenpunkte einen diffusen Lichtanteil von 15 bis 20% auf. Nur gerade jeweils eine Stichprobe pro Lücke weist mehr als 20% diffuses Licht auf (siehe Tab. 35). In den effektiven Lücken weisen hingegen über 70% der Stichproben einen diffusen Lichtanteil von über 20% auf (vgl. *Übersichtsgrafik 5*). Das ist ähnlich wie in den grossen schlitzförmigen Bestandeslücken.

Lücke	1		2	
	%	absolut	%	absolut
< 15 %	39	7	25	5
15 – 20 %	56	10	70	14
> 20 %	6	1	5	1

Tab. 35: Diffuse Lichtverteilung in % und absolut in den **schlitzförmigen mittelgrossen Bestandeslücken 1 und 2** (Bearbeitungsstufe B).

Der durchschnittliche diffuse Lichtanteil beträgt in den mittelgrossen Bestandeslücken 16% (siehe Tab. 36 Bearbeitungsstufe B).

Lücke	Bearbeitungsstufe B		Bearbeitungsstufe A		Bearbeitungsstufe C	
	1	2	1	2	1	2
Mittelwert	16	16	21	22	13	10
Max.	19	20	26	25	16	16
Min.	10	11	14	17	9	8

Tab. 36: durchschnittliche, maximale und minimale diffuse Lichtverteilung in % in den **schlitzförmigen grossen Bestandeslücken 1, 2 und 3** Sedrunnord (Bearbeitungsstufe A, B, C)

Der prozentuale Anteil von diffusem Licht, das ausschliesslich von der Bestandesöffnung auf den Waldboden gelangt, ist bei der Bestandeslücke 1 mit 80% bzw. bei der Bestandeslücke 2 mit 60% relativ hoch, im Vergleich zu den grossen schlitzförmigen Lücken.

**Räumliche Beschreibung**

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit geringer Sonnenscheindauer in den mittelgrossen Lücken ist vergleichbar mit jener in den grossen schlitzförmigen Bestandeslücken: am Lückenrand befinden sich die Stichprobenpunkte mit geringem diffusem Lichtanteil, und in der Lückenmitte sind in der Regel die Stichprobenpunkte mit hohem diffusem Lichtanteil anzutreffen (vgl. *Übersichtsgrafik 5*).

**C Kleine Bestandeslücken**

(Nr. 13, 15, 16 Davos; 4, 5 Uaul Surrein, 9 Rueras (Sedrun))

**In Zahlen**

Die kleinen Bestandeslücken erhalten weniger als 15 % diffuses Licht, abgesehen von der Bestandeslücke 6. Der diffuse Lichtanteil von 15 bis 20% bei 67% der Stichprobenpunkte in der Bestandeslücke Nr. 6 ist auf eine andere Entwicklungsstufe des Bestandes zurückzuführen. Die Entwicklungsstufe entspricht bei der Bestandeslücke Nr. 6 einem Stangenholz (Tab. 37).

Schlitzförmige Bestandesöffnung KLEIN												
Lücke	1		2		3		4		5		6	
	in %	Absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	absolut	in %	Absolut
Diffuse Lichtverteilung												
< 15 %	100	9	100	14	100	14	100	5	100	4	33	2
15 – 20 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	4
> 20 %	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Tab. 37: Diffuse Lichtverteilung in % und absolut in den **schlitzförmigen kleinen Bestandeslücken 1 - 6** (Bearbeitungsstufe B).

Der durchschnittliche diffuse Lichtanteil der Stichprobenpunkte in den kleinen Bestandeslücken liegt zwischen 10 und 15% (siehe *Tab. 38*).

Lücke	Bearbeitungsstufe B						Bearbeitungsstufe A						Bearbeitungsstufe C					
	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6
Mittelwert	11	11	10	11	10	15	17	17	15	22	17	15	6	6	4	7	6	15
Max.	13	13	12	13	11	19	26	20	19	27	22	19	8	8	5	9	7	19
Min.	8	9	7	9	9	13	13	13	9	19	13	13	4	3	3	5	6	13

*Tab. 38:* durchschnittliche, maximale und minimale diffuse Lichtverteilung in % in den **schlitzförmigen kleinen Bestandeslücken** (Bearbeitungsstufe A,B und C)

### Räumliche Beschreibung

Eine räumliche Tendenz der Verteilung von Stichprobenpunkte mit gleich hohem Anteil von diffusem Licht lässt sich in den kleinen Lücken nicht ausmachen.

#### 3.2.1.1.2. Diffuse Lichtverteilung im Vergleich zwischen den Bestandeslücken

Übersicht														
Lücke	GROSS						MITTEL		KLEIN					
	1	2	3	1	2	1	2	3	4	5	6			
<b>Bearbeitungsstufe B</b>														
Mittelwert	20	22	21	16	16	11	11	10	11	10	15			
Max.	29	30	27	19	20	13	13	12	13	11	19			
Min.	15	15	15	10	11	8	9	7	9	9	13			
<b>Bearbeitungsstufe A</b>														
Mittelwert	25	26	24	21	22	17	17	15	22	17	15			
Max.	37	31	38	26	25	26	20	19	27	22	19			
Min.	16	18	17	14	17	13	13	9	19	13	13			

*Tab. 39:* Übersicht: durchschnittliche, maximale und minimale diffuse Lichtverteilung in den schlitzförmigen Bestandeslücken (**Bearbeitungsstufe B**).

### In Zahlen

Der diffuse Lichtanteil wird mit abnehmender Lückengrösse kleiner. Die grössten Lücken weisen einen durchschnittlichen diffusen Lichtanteil von ca. 20 % auf. Der durchschnittliche diffuse Lichtanteil in den kleinen Bestandeslücken entspricht ca. 11 % (vgl. *Tab. 39*) Der diffuse Lichtanteil in den effektiven Bestandeslücken ist im Durchschnitt 5 % höher (vgl. Bearbeitungsstufe A mit B *Tab. 39*).

### Räumliche Beschreibung

Der diffuse Lichtanteil ist bei den grossen und mittelgrossen Lücken ähnlich: in der Mitte der Bestandeslücken ist sie am grössten und nimmt gegen den Rand hin ab. Tendenziell befinden sich die Stichprobenpunkte mit hohem diffusem Licht ein bisschen oberhalb von der Mitte der Lücke. Bei den kleinen Bestandeslücken ist keine räumliche Tendenz der diffusen Lichtverteilung auszumachen (vgl. *Übersichtsgrafik 5*).



### 3.2.1.2. Runde Bestandeslücken

#### 3.2.1.2.1. Diffuse Lichtverteilung innerhalb der Bestandeslücken

##### A Grosse Bestandeslücken

###### In Zahlen

Alle Stichprobenpunkte der grossen runden Bestandeslücke weisen mehr als 20 % diffuses Licht auf (vgl. Tab. 40 Bearbeitungsstufe B). Berücksichtigt man nur den diffusen Lichtanteil, der durch die Bestandesöffnung verursacht wird, sind es ca. 90 % der Stichprobenpunkte, die mehr als 20 % diffuses Licht aufweisen (Tab. 40 Bearbeitungsstufe C).

Diffuse Lichtverteilung (%)	Bearbeitungsstufe B		Bearbeitungsstufe A		Bearbeitungsstufe C	
	%	Absolut	%	absolut	%	absolut
< 15 %	0	0	0	0	0	0
15 – 20 %	0	0	0	0	11	2
> 20 %	100	19	100	19	89	17

Tab. 40: Diffuse Lichtverteilung in % und absolut in der **runden, grossen Bestandeslücke** (Bearbeitungsstufe B)

Der durchschnittliche diffuse Lichtanteil beträgt in den Modelllücken ca. 26% (vgl. Tab. 41 Bearbeitungsstufe B). Der effektive diffuse Lichtanteil ist mit 35% relativ hoch (vgl. Tab. 41 Bearbeitungsstufe A).

Bearbeitungsstufe	B	A	C
Mittelwert	26	35	23
Max.	34	43	27
Min.	20	23	18

Tab. 41: durchschnittliche, maximale und minimale diffuse Lichtverteilung in % in den **runden grossen Bestandeslücke** (Bearbeitungsstufe B, A und C)

##### Räumliche Beschreibung

Stichproben mit mehr als 20 % diffusem Lichtanteil sind mehr oder weniger über die ganze Lücke gleichmässig verteilt (vgl. Übersichtgrafik 6).

##### B Mittलगrosse Bestandeslücken

(Nr. 10 Davos, Nr. 7 Uaul Surrein (Sedrun))

###### In Zahlen

Die beiden runden, mittelgrossen Bestandeslücken weisen in bezug auf das diffuse Licht verschiedene Resultate auf, trotz ihrer ungefähr gleichen Grösse. Bei der mittelgrossen Bestandeslücke 1 erhalten alle Stichprobenpunkte mehr als 15 % diffuses Licht. Bei der Bestandeslücke 2 sind es nur rund 40 % der Stichprobenpunkte, welche mehr als 15 % diffuses Licht aufweisen (Vgl. Tab. 42).

Wenn man nun den Anteil an diffusem Licht betrachtet, welcher ausschliesslich durch die Bestandesöffnung auf den Waldboden gelangt, so weisen in der Bestandeslücke 1 nur noch 45% der Stichprobenpunkte mehr als 20% diffuses Licht auf. In der Bestandeslücke 2 zeigen alle Stichprobenpunkte einen diffusen Lichtanteil von weniger als 15%.

Lücke	Bearbeitungsstufe B				Bearbeitungsstufe A				Bearbeitungsstufe C			
	1		2		1		2		1		2	
Diffuse Lichtverteilung (%)	%	absolut	%	absolut	%	absolut	%	absolut	%	absolut	%	absolut
< 15 %	0	0	59	26	0	0	9	4	5	1	100	44
15 – 20 %	35	7	41	18	5	1	41	18	50	10	0	0
> 20 %	65	13	0	0	95	19	50	22	45	9	0	0

Tab. 42: Diffuse Lichtverteilung in % und absolut in der **runden mittelgrossen Bestandeslücke** (Bearbeitungsstufe B)

Die Differenz der Mittelwerte der Bearbeitungsstufe B und A der Bestandeslücke 1 bzw. 2 in Prozent zeigt, dass beide Bestandeslücken mit ca. 7% gleich stark korrigiert wurden (vgl. Tab. 42). Die Modelllücke 1 weist im Gegensatz zur Modelllücke 2 einen durchschnittlichen diffusen Lichtanteil von mehr als 20 % auf; betrachtet man aber nur den Anteil von diffusem Licht von der Bestandesöffnung selber, so beträgt der diffuse Lichtanteil weniger als 20 % (Tab. 43 Bearbeitungsstufe C).

Lücke	Bearbeitungsstufe B		Bearbeitungsstufe A		Bearbeitungsstufe C	
	1	2	1	2	1	2
<b>Mittelwert</b>	21	14	27	21	19	9
Max.	26	17	34	32	23	11
Min.	18	9	19	10	15	7

Tab. 43: durchschnittliche, maximale und minimale diffuse Lichtverteilung in % in den **runden mittelgrossen Bestandeslücken 1,2** (Bearbeitungsstufe A,B und C)

### Räumliche Beschreibung

Bei der mittelgrossen Modelllücke 2 lässt sich praktisch keine Tendenz der räumlichen Verteilung der Stichproben mit ähnlicher Sonnenscheindauer feststellen. Die diffuse Lichtverteilung ist bei der mittelgrossen Modelllücke 1 vergleichbar mit den grossen schlitzförmigen Lücken: in der Mitte ist das diffuse Licht am grössten und nimmt gegen den Rand hin ab (vgl. Übersichtgrafik 6).

## C Kleine Bestandeslücken

(Nr. 8 und Nr. 9 Rueras (Sedrun))

### In Zahlen

Der Anteil Stichprobenpunkte mit mehr als 20% diffusem Licht ist in der kleinen runden Bestandeslücke 1 mit 63% bzw. in der Bestandeslücke 2 mit 76 % hoch (vgl. Tab. 44). Das ist auf die geringe Höhe der Bestockung (Entwicklungsstufe Stangenholz) zurückzuführen.

Lücke	Bearbeitungsstufe B				Bearbeitungsstufe A				Bearbeitungsstufe C			
	1		2		1		2		1		2	
	%	absolut	%	absolut	%	absolut	%	absolut	%	absolut	%	absolut
< 15 %	15	4	12	2	4	1	12	2	33	9	0	0
15 – 20 %	22	6	12	2	11	3	12	2	19	5	24	4
> 20 %	63	17	76	13	85	23	76	13	48	13	76	13

Tab. 44: Diffuse Lichtverteilung in % und absolut in der **runden kleinen Bestandeslücken** (Bearbeitungsstufe B)

Der durchschnittliche diffuse Lichtanteil beträgt in den runden, kleinen Bestandeslücken 1 und 2 22%. (vgl. Tab. 45). Der diffuse Lichtanteil, welcher ausschliesslich durch die Bestandesöffnung bedingt ist, ist mit 86 % bzw. 95 % sehr hoch, das ist auf den Bestandaufbau (Entwicklungsstufe Stangenholz) zurückzuführen.

Lücke	Bearbeitungsstufe B		Bearbeitungsstufe A		Bearbeitungsstufe C	
	1	2	1	2	1	2
<b>Mittelwert</b>	22	22	26	23	19	21
Max.	35	32	40	33	35	13
Min.	11	13	10	13	17	31

Tab. 45: durchschnittliche, maximale und minimale diffuse Lichtverteilung in % in den **runden kleinen Bestandeslücken 1, 2** (Bearbeitungsstufe A,B und C)

### Räumliche Beschreibung

Die diffuse Lichtverteilung ist in den beiden kleinen Bestandeslücken eindeutig: der höchste diffuse Lichtanteil ist im oberen Teil der Bestandeslücke zu finden (vgl. Übersichtgrafik 6).

### 3.1.1.2.2. Diffuse Lichtverteilung im Vergleich zwischen den Bestandeslücken

Übersicht					
	GROSS	MITTEL		KLEIN	
Lücke	1	1	2	1	2
<b>Bearbeitungsstufe B</b>	26	21	14	22	22
Mittelwert	34	26	17	35	32
Max.	20	18	9	11	13
Min.					
<b>Bearbeitungsstufe A</b>					
Mittelwert	35	27	21	26	23
Max.	43	34	32	40	33
Min.	23	19	10	10	13

Tab. 46: Übersicht: durchschnittliche, maximale und minimale diffuse Lichtverteilung in den runden Bestandeslücken (Bearbeitungsstufe B).

#### In Zahlen

Der diffuse Lichtanteil ist bei der grossen Bestandeslücke mit 26% am höchsten. Die kleinen Bestandeslücken weisen einen gleichen bzw. einen leicht höheren diffusen Lichtanteil auf als die mittelgrossen Bestandeslücken (vgl. Tab. 46). Der diffuse Lichtanteil der effektiven Lücken ist durchschnittlich 5 % höher (vgl. Tab 46 Bearbeitungsstufe A und B).

#### Räumliche Beschreibung

Die räumliche Verteilung des diffusen Lichtes ist bei allen Lücken ähnlich (mit Ausnahme der mittelgrossen Bestandeslücke 2): in der Mitte (und zum Teil ein wenig oberhalb der Mitte) der Lücke befinden sich die Stichproben mit hohem diffusem Lichtanteil, am Rande sind die Stichproben mit geringem diffusem Lichtanteil zu finden (vgl. Übersichtsgrafik 6).

Am Lückenrand ist die Schwankung auch bei den grossen Lücken in bezug auf das direkte Licht bei beiden Lückenformen hoch. Hier spielt der Aufbau des Bestandes eine entscheidende Rolle.

### 3.2.1.3. Vergleich der schlitzförmigen und runden Bestandeslücken

#### In Zahlen

Der diffuse Lichtanteil ist umso kleiner, je kleiner die Lücke ist. Das kann bei den schlitzförmigen Bestandeslücken bestätigt werden. Bei den runden Bestandeslücken kann dieser Sachverhalt nicht eindeutig gezeigt werden, weil die runden kleinen Lücken eine andere Entwicklungsstufe aufweisen und sie deshalb einen etwa gleich hohen bis höheren diffusen Lichtanteil wie die mittelgrossen schlitzförmigen Lücken aufweisen. Bei beiden Lückenformen wird der geforderte durchschnittliche minimale diffuse Lichtanteil von 20% bei den grossen Lücken erfüllt. Bei den mittel grossen Lücken ist der diffuse Lichtanteil jedoch bereits zu klein.

Die Exposition hat keinen Einfluss auf die Höhe des diffusen Lichtes. Alle Expositionen weisen deshalb den gleich hohen diffusen Lichtanteil auf. (Dieses Kapitel entfällt deshalb in dieser Arbeit).

#### Räumliche Beschreibung

Die zu Beginn gestellte **Hypothese** lautete, dass die **räumliche Verteilung** der diffusen Strahlung in Bestandeslücken stets gleich ist, bei gleicher Ausrichtung und Exposition, unabhängig von Grösse und Form.

Diese Hypothese kann für die schlitzförmigen und runden Bestandeslücken bestätigt werden. Bei beiden Arten von Lücken ist die räumliche Verteilung ähnlich: am Bestandesrand befinden sich Stichproben mit geringer Sonnenscheindauer; in der Mitte sind solche zu finden, die eine hohe Sonnenscheindauer aufweisen.

3.2.1. Verteilung der diffusen Strahlung in Abhängigkeit von der Lückengröße

Übersichtsgrafik 5

3.2.1.1. Schitzförmige Bestandeslücken

Table for GROSS Nr. 1, Lücke 1 Sedrun Nordhang. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (50cm to 60cm) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for GROSS Nr. 2, Lücke 2 Sedrun Nordhang. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (50cm to 60cm) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for GROSS Nr. 3, Lücke 3 Sedrun Nordhang. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (60cm to 19m) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for MITTEL GROSS Nr. 1, Lücke 11 Davos. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (12.5m to 0m) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for MITTEL GROSS Nr. 2, Lücke 12 Davos. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (12.5m to 0m) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for KLEIN Nr. 1, Lücke 13 Davos. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (12.5m to 0m) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for KLEIN Nr. 2, Lücke 15 Davos. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (0m to 10m) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for KLEIN Nr. 3, Lücke 18 Davos. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (10m to 0m) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for KLEIN Nr. 4, Lücke 4 Sedrun Nordhang. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (0m to 8m) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for KLEIN Nr. 5, Lücke 5 Sedrun Nordhang. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (0m to 4m) and a summary row for 'Mittelwert'.

Table for KLEIN Nr. 6, Lücke 8 Sedrun Nordhang. Includes columns for Bearbeitungsstufe A, B, and C, with rows for various gap widths (0m to 5m) and a summary row for 'Mittelwert'.

Legende: unbest. Himmelanteil in % (Grüner Lückentyp). Bearbeitungsstufe A = effektive Lücke, Bearbeitungsstufe B = Moderholzung, Bearbeitungsstufe C = Bestandesöffnung. Skalierung: Abstand der Stichprobenpunkte in Meter; von talwärts zum bergwärts gelegenen Lückenrand; von oben nach unten.

3.2.1. Verteilung der diffusen Strahlung in Abhängigkeit von der Lückengröße

3.2.1.2. Runde Bestandeslücken

GROSS Nr. 1

Lücke 14 Davos

Bearbeitungsstufe A										Bearbeitungsstufe B										Bearbeitungsstufe C											
Süd					Nord					Süd					Nord					Süd					Nord						
oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m		
0m	10	16	19	19	25	0m	9	13	15	14	15	0m	8	10	10	10	10	0m	11	11	11	10	11	9	0m	11	11	11	10	11	9
Mittelwert	max.	min.	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME			
21	34	19	0	1	19	20				0	7	13	20							0	1	10	9	20							
			0	5	95	100				0	36	65	100							0	50	45	100								

MITTELGROSS Nr. 1

Lücke 6 Siedrun Nordhang

Bearbeitungsstufe A										Bearbeitungsstufe B										Bearbeitungsstufe C									
Süd					Nord					Süd					Nord					Süd					Nord				
oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m
17.5m	19	28	27	24	17.5m	18	22	19	16	17.5m	18	21	17	14	17.5m	18	21	17	14	17.5m	18	21	17	14	17.5m	18	21	17	14
Mittelwert	max.	min.	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME	
21	34	19	0	1	19	20				0	7	13	20						0	1	10	9	20						
			0	5	95	100				0	36	65	100							0	50	45	100						

MITTELGROSS Nr. 2

Lücke 10 Davos

Bearbeitungsstufe A										Bearbeitungsstufe B										Bearbeitungsstufe C											
Süd					Nord					Süd					Nord					Süd					Nord						
oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m		
0m	10	16	19	19	25	0m	9	13	15	14	15	0m	8	10	10	10	10	0m	11	11	11	10	11	9	0m	11	11	11	10	11	9
Mittelwert	max.	min.	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME			
21	34	19	0	1	19	20				0	7	13	20						0	1	10	9	20								
			0	5	95	100				0	36	65	100							0	50	45	100								

KLEIN Nr. 1

Lücke 8 Siedrun Südhang (Stangenholz)

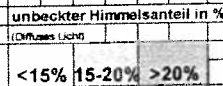
Bearbeitungsstufe A										Bearbeitungsstufe B										Bearbeitungsstufe C														
Süd					Nord					Süd					Nord					Süd					Nord									
oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m					
0m	30	30	40	30	25	0m	27	28	34	35	25	0m	26	27	17	36	23	0m	21	23	27	21	25	0m	20	25	23	16	0m	11	18	19	17	13
Mittelwert	max.	min.	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME						
26	40	10.4	1	3	23	27				4	6	17	27						9	5	13	27												
			1	3	23	27				15	22	63	100						33	19	48	100												

KLEIN Nr. 2

Lücke 8 Siedrun Südhang (Stangenholz)

Bearbeitungsstufe A										Bearbeitungsstufe B										Bearbeitungsstufe C									
Süd					Nord					Süd					Nord					Süd					Nord				
oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m	oben	6m	4m	2m	0m
0m	22					0m	21					0m	20					0m	24	31	34	26	22	0m	24	31	34	26	22
Mittelwert	max.	min.	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME		<15%	15-20%	>20%	SUMME	
21	33	13	2	2	13	17				2	2	13	17						0	4	13	17							
			12	12	76	100				12	12	76	100						0	24	75	100							

Legende



Bearbeitungsstufe A = effektive Lücke  
 Bearbeitungsstufe B = Modellücke  
 Bearbeitungsstufe C = Bestandesöffnung

Skalierung: Abstand der Stichprobenpunkte in Meter: von talwärts zum bergwärts gelegenen Lückenrand - von oben nach unten

### 3.3. Verteilung der direkten und diffusen Strahlung in Abhängigkeit von der Lückenausrichtung

Nachfolgend soll kurz auf die Frage eingegangen werden, wie sich die diffuse und direkte Lichtverteilung in gleich grossen Bestandeslücken verhält, wenn sich die Ausrichtung der Lücken ändert.

Es werden die **schlitzförmigen** Lücken angeschaut, da sich eine Änderung der Ausrichtung dieser Lücken auf die räumliche Lichtverteilung auswirkt. In den grossen schlitzförmigen Bestandeslücken ist die räumliche Verteilung des diffusen und direkten Lichtes eindeutig, wie Kapitel 3.1. gezeigt hat. Deshalb wird die grosse schlitzförmige **Bestandeslücke 3** untersucht und zwar in bezug auf NWW-SEE bzw. NEE-SWW Ausrichtung.

Die räumliche Verteilung der Stichprobenpunkte mit gleicher Sonnenscheindauer ist bei beiden grossen schlitzförmigen Bestandeslücken gleich.

#### Direktes Licht

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer ist in den beiden unterschiedlich ausgerichteten **nordexponierten** Modelllücken gleich hoch (vgl. *Tab. 47*). Der Anteil der Stichprobenpunkte mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer ist ebenfalls ähnlich. Der Unterschied zwischen der räumlichen Verteilung der Stichprobenpunkte gleicher Sonnenscheindauer ist gering. Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer befinden sich am talwärts gelegenen Bestandesrand.

Bei den **übrigen Expositionen** ist die räumliche Verteilung des direkten Lichtes nicht mehr so eindeutig. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer bei den SE – NW ausgerichteten Schlitzen ist etwas höher. Ein detaillierter Vergleich ist hier nicht sinnvoll, weil die Bilder nicht gleich registriert werden konnten.

Ausrichtung	NW-SE		NE-SW	
	%	absolut	%	absolut
Bearbeitungsstufe B				
Sonnenscheindauer im Juni				
< 0,5 h	16	5	3	1
0,5 h – 1 h	35	11	3	1
1 h – 1,5 h	6	2	38	12
1,5 h – 2 h	10	3	19	6
> 2 h	32	10	38	12
Total Stichprobenpkt.		31		31
Mittelwert	1,7		1,7	
Max	4,9		3,4	
Min	0,3		0,4	

*Tab. 47:* Verteilung der potentiellen täglichen Sonnenscheindauer in Stunden im Juni in den NW-SE bzw. NE-SW ausgerichteten nordexponierten **schlitzförmigen grossen Bestandeslücken** in % und absolut (Bearbeitungsstufe B)

#### Diffuses Licht

Die Verteilung des diffusen Lichtes ist bei beiden Bestandeslücken gleich. Die Ausrichtung der Lücke hat keinen Einfluss auf die Höhe der diffusen Lichtverteilung.

#### Fazit

Die durchschnittliche Sonnenscheindauer und die Höhe des diffusen Lichtes ist in diesen nordexponierten Lücken bei SE-NW bzw. SW-NE Ausrichtung gleich gross.

Bei der schlitzförmigen grossen Bestandeslücke 2 zeigt sich, dass die waagrechte Ausrichtung des Schlitzes zum Hang eine Verringerung der durchschnittlichen Sonnenscheindauer zur Folge hat. Aus diesem Grund liegt die Vermutung nahe, dass auch bei den grossen schlitzförmigen Lücken eine Änderung der Ausrichtung der Lücken in waagrechter Richtung zum Hang eine Verringerung der durchschnittlichen Sonnenscheindauer zur Folge hat. Die Auswirkung der Lückenausrichtung auf die Sonnenscheindauer wurde von Brang (1996) detailliert beschrieben.

## 4. Diskussion

In dieser Arbeit wurde die Frage gestellt, nach der idealen Grösse, Form, Exposition und Ausrichtung der Lücken, welche bei mindestens 30 % der Stichprobenpunkte mehr als 2 Stunden potentielle tägliche Sonnenscheindauer im Juni, beziehungsweise mehr als 50 % diffuses Licht bei der Hälfte der Stichprobenpunkte aufweisen. Diskutiert werden zuerst die **Ergebnisse**, dann **Aufnahmeverfahren und Auswertung**, und am Schluss folgen Hinweise für die **waldbauliche Praxis**

### Ergebnisse

#### Grösse und Form der Lücke

Die Untersuchungen im verjüngungsökologisch minimalen Grenzbereich erbrachten in bezug auf die **Grösse** der Bestandeslücke ein klares Ergebnis.

Die *grossen Lücken* haben als einzige, auch in der Nordexposition, auf 30% der Fläche einen minimalen diffusen Lichtanteil von 20%, bzw. 2 Stunden Sonnenscheindauer im Juni.

Die räumliche Verteilung des direkten und diffusen Lichtes in den NWW – SEE ausgerichteten, nordexponierten, schlitzförmigen grossen Bestandeslücken zeigt die Strahlungsverteilung, welche Imbeck und Ott (1987) nachwies: das diffuse Licht mit einem maximalen Wert in der Mitte bzw. tendentiell im oberen Teil der Lücke und einem Minimalwert an den Bestandesrändern und die potentielle tägliche Sonnenscheindauer im Juni mit ihrem Maximum im unteren Bereich der Bestandesränder. Die maximale und minimale Sonnenscheindauer zwischen den einzelnen Stichproben der untersuchten Lücken von Imbeck und Ott (1987) ist jedoch wesentlich höher im Vergleich zu den untersuchten Lücken. Auch die durchschnittliche tägliche potentielle Sonnenscheindauer im Juni (bei Imbeck und Ott (1987) effektive Sonnenscheindauer genannt) ist mit 2,86 Stunden um eine 1 Stunde höher im Vergleich zu den 3 grossen untersuchten Modelllücken. Die tägliche durchschnittliche Sonnenscheindauer bei den 3 grossen Modelllücken beträgt 1,4, 1,9 und 1,7 Stunden im Juni. Der Unterschied lässt sich erklären:

1. Die Messstellen bei den Untersuchungen von Imbeck und Ott (1987) wurden subjektiv ausgewählt, sie befinden sich tendenziell im unteren Teil der Bestandeslücken, wo die Sonnenscheindauer am grössten ist.
2. Die untersuchte Lücke von Imbeck und Ott (1987) ist mit 18m, bzw. 23 m, ca. 5-10m breiter im Vergleich zu den 3 untersuchten Lücken mit Breiten zwischen 10m – 15 m.
3. Die Höhe der Sonnenscheindauer in den untersuchten Bestandeslücken von Imbeck und Ott (1987) bezieht sich, im Gegensatz zu diesen Untersuchungen, auf die effektive Lücke, nicht auf Modelllücken. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer der effektiven Lücken mit 2,7 h, 3,7h und 2,8h bestätigen die Ergebnisse von Imbeck und Ott (1987).

Ähnliche Ergebnisse zeigten Untersuchungen, die im Jahre 1989 ebenfalls im Lusiwald durchgeführt wurden. Das direkte Licht wurde in bezug auf das Höhenwachstum der Fichte in unterschiedlich grossen Lücken untersucht. Die Sonnenscheindauer wurde ebenfalls anhand von Fischaugenphotos (insgesamt 115) berechnet. Bei diesen Lücken ist keine räumliche Tendenz der direkten Lichtverteilung ersichtlich. Die durchschnittliche Sonnenscheindauer ist um einiges höher im Vergleich zu den hier untersuchten Lücken gleicher Grösse. Ein Vergleich zwischen der Kronenprojektionskarte und den Fischaugenphotos lässt vermuten, dass die Karte zum Teil nicht dem aktuellen Stand der Fischaugenphotos entspricht. Ein Vergleich mit dieser Untersuchung ist deshalb nicht sinnvoll.



Die *kleinen Lücken* weisen im Durchschnitt weniger als eine Stunde Sonnenscheindauer auf. Der Anteil Stichprobenpunkte mit weniger als 1 Stunde tägliche Sonnenscheindauer ist dementsprechend hoch, und derjenige mit mehr als 2 Stunden Sonnenscheindauer relativ klein.

Diese kleinen Lücken ermöglichen kein optimales Wachstum und kein grossflächiges Etablieren und Aufwachsen von Fichten. Kleine Lücken weisen zudem kein direktes Licht von oben auf. Die Bestandesöffnung hat keinen Einfluss auf die direkte Lichtverteilung, im Gegensatz zu den grossen Lücken. Die Bestandsstruktur beeinflusst bei den kleinen Lücken die direkte und diffuse Lichtverteilung. Diese ist deshalb in kleinen Lücken sehr variabel, fast wie in einem locker aufgebauten Bestand. Diesbezügliche Lichtmessungen in vergleichbar kleinen Lücken zeigten eine sehr starke Variation der Lichtverteilung (Brunner, 1993, Fischer, 1978 u. 1980, Wayne, 1993, Dai, 1996).

Die *mittelgrossen Lücken* müssen genauer betrachtet werden, weil die Exposition in diesen Bestandeslücken - wie die Untersuchung gezeigt hat - einen entscheidenden Einfluss auf die Höhe des diffusen und direkten Lichtes hat. So weisen mittelgrosse Lücken in Nordexposition auf 1/3 der Fläche den von Frehner (2000a) geforderten diffusen und direkten Lichtanteil nicht auf; süd-, ost- und westexponierte Lücken erhalten dagegen auf 1/3 der Fläche bereits genügend diffuses und direktes Licht.

*Es fragt sich, ob die gestellten Anforderungen an eine ideale Lücke zu streng formuliert sind?*

Im Hinblick auf eine konkrete Umsetzung der Resultate sind die Anforderungen an eine ideale Lücke meiner Meinung nach eher zu klein. Lohnt es sich eine Lücke zu schlagen, bei der man im vornherein weiss, dass die Fläche, welche eine potentielle Sonnenscheindauer von mehr als 2 Stunden aufweist, kleiner als 30% ist? Man muss bedenken, dass das direkte und diffuse Licht nur einen von vielen Faktoren im Gebirgswald darstellt, welcher stimmen muss, damit die Fichte überhaupt aufwachsen kann. Daneben spielen andere begrenzende Faktoren wie Vegetationskonkurrenz, schwarzer Schneeschimmel, Ausaperungszeitpunkt etc. ebenfalls eine bedeutende Rolle (Imbeck und Ott 1987, Lüscher 1992, Brang 1996, Frehner 2001a). Diese Faktoren werden jedoch wiederum indirekt vom Licht beeinflusst. Zudem erfüllen diese Lücken die Anforderung in bezug auf das diffuse und direkte Licht nur, falls die Stichprobenpunkte in der jeweiligen Lücke einzeln betrachtet werden; berücksichtigt man aber nur jene Stichproben, welche sowohl diffuses als auch direktes Licht gleichzeitig anzeigen, so zeigt sich, dass nur gerade 10 – 23 % der Stichprobenpunkte die Anforderung erfüllen.

#### **Fazit:**

Die hier gestellten Anforderungen an eine ideale Lücke stellen eine Annahme dar. Sie dürfen nicht isoliert betrachtet werden. Und werden nicht weiter diskutiert.

*Wäre es eventuell möglich, dass die **Bilder**, insbesondere jene der mittelgrossen Bestandeslücken zu stark korrigiert wurden? So dass sie in bezug auf das diffuse und direkte Licht unter dem geforderten Wert liegen?*

Die Frage nach der Stärke der Korrektur ist wichtig, weil durch die Korrektur der Bilder bei den grossen, schlitzförmigen Lücken der geforderte diffuse Lichtanteil nur mehr knapp erreicht wird und bei den mittelgrossen, nordexponierten Lücken überhaupt nicht mehr. Berücksichtigt man hingegen nur die Werte der effektiven Lücken, so weisen beide genügend diffuses Licht auf: Beim direkten Licht kommt man auf ein ähnliches Ergebnis, falls anstelle der minimal täglichen Sonnenscheindauer von 2 Stunden 1,5 Stunden festgesetzt werden.

Die durchschnittliche Korrektur der Bilder ist bei den schlitzförmigen, grossen Lücken mit 16 % mässig, bei den mittelgrossen Lücken mit 27% und bei den kleinen Lücken mit 43 % ziemlich hoch.



Bei den runden Lücken ist die Korrektur in der grossen Bestandeslücke mit 33%, in der mittelgrossen mit 18% und bei den kleinen Lücken mit 9 %, abgesehen von der grossen Lücke, wesentlich kleiner. Der Unterschied in den Korrekturstärken zwischen den runden und schlitzförmigen Lücken hängt unter anderem von der Entwicklungsstufe der Bestände der einzelnen Lücken ab. In bezug auf das direkte Licht wirkt sich eine solche Korrektur stark aus; aber auch in bezug auf das diffuse Licht ist die Stärke der Korrektur nicht zu vernachlässigen, weil der durchschnittliche Anteil von diffusem Licht in diesen Lücken durch die Korrektur der Bilder knapp kleiner als die geforderten 20% ist. Den Korrekturen der Bilder sind durch die effektiv vorgegebene Bestandeslücke (Maximalwert) und die vorgegebene Bestandesöffnung (nur direkt einfallendes Licht, kein Seitenlicht) (Minimalwert) ein Stück weit auch Grenzen gesetzt. Es zeigte sich, dass die durchschnittliche Korrektur der Bilder von den Modelllücken (Bearbeitungsstufe B) - mit Ausnahme der kleinen Bestandeslücken - in der Regel in der Mitte zwischen den Werten der Bearbeitungsstufe A (Maximalwert) und C (Minimalwert) liegen. Das könnte ein Hinweis sein, dass die effektive Lücke zufriedenstellend korrigiert wurde.

**Fazit:**

Die durchschnittliche Höhe der Korrektur in den unterschiedlich grossen Lücken scheint angemessen zu sein; vereinzelt ist die Korrektur vielleicht eher zu hoch.

Die Stärke der Korrektur gibt gleichzeitig ein Stück weit Auskunft über die Qualität der Lücken: je kleiner die durchschnittliche Korrektur, desto homogener aufgebaut ist die Lücke; demzufolge mag es erstaunen, dass bei den schlitzförmigen Lücken vor allem die kleinen Lücken stark korrigiert werden mussten; zugegebenermassen ist die Qualität dieser Lücken im Vergleich zu den übrigen Lücken geringer.

Die Frage nach der **idealen Form** der Lücke kann in dieser Untersuchung nicht abschliessend beurteilt werden, weil die untersuchten schlitzförmigen und runden Bestandeslücken zum Teil unterschiedliche standörtliche Verhältnisse aufweisen. Es können diesbezüglich nur Vermutungen angestellt werden. Die räumliche Verteilung des direkten Lichtes ist bei den schlitzförmigen Lücken wahrscheinlich ausgeglichener: der Übergang von hoher zu geringer Sonnenscheindauer ist allmählich; im Vergleich zu den runden Bestandeslücken, bei denen der Übergang von hoher zu geringer Sonnenscheindauer abrupt verläuft.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass die schlitzförmigen und runden Bestandeslücken sowohl in bezug auf ihre Grösse als auch in bezug auf die räumliche Verteilung von Stichproben mit gleichem diffusem Licht ein ähnliches Muster aufweisen: der diffuse Lichtanteil nimmt mit zunehmendem Abstand vom Lückenrand zur Mitte der Lücke zu und erreicht ein Maximum in der Mitte der Lücke. Tendenziell befinden sich die Stichprobenpunkte mit hohem diffusem Licht ein bisschen oberhalb von der Lückenmitte. Es lässt sich kein Unterschied in bezug auf das diffuse Licht zwischen runden und schlitzförmigen Lücken feststellen. Beide Formen weisen Lücken auf, bei denen die Verteilung des diffusen Lichtes entweder regelmässig oder einseitig verteilt ist.

Um die Frage zu beantworten, welche Lückenform effektiv besser ist, müsste man meines Erachtens auch andere Kriterien miteinbeziehen. Geht man nun davon aus, was das Ergebnis gezeigt hat, dass die diffuse und direkte Lichtverteilung sowohl bei den schlitzförmigen als auch bei den runden Lücken gleich ist, so sind schlitzförmige Bestandeslücken wahrscheinlich im Vergleich zu den runden im Vorteil, beispielsweise in bezug auf: Schneeablagerung (Imbeck und Ott), gezielte Förderung der Verjüngung, erntetechnische Überlegungen (Seilkran). Die runden Bestandeslücken haben etliche Nachteile: Schneelöcher (deshalb eventuell spätere Ausaperung) und verkürzte Vegetationszeit, Lawinengefährdung (regelmässiger Schneedeckenaufbau), Freilandklima.

**Fazit:**

In bezug auf die Frage nach der idealen Form für das direkte und diffuse Licht kann weder der schlitzförmigen noch der runden Lücke der Vorzug gegeben werden. Bei beiden hat die Struktur des Bestandes und die Grösse der Bestandeslücken zum Teil einen ebenso entscheidenden Einfluss auf die

Höhe des diffusen und direkten Lichtes. Der Einfluss der Bestandesstruktur spielt zumindest an den Rändern der Bestandeslücken bei beiden Lückenformen eine gewichtigere Rolle als die Form selber.

## Exposition der Lücke

Die Höhe der Sonnenscheindauer in den unterschiedlich exponierten Lücken ergibt ein klares Bild: Die südexponierten Bestandeslücken haben durchschnittlich doppelt so viel Sonnenscheindauer wie die nordexponierten. Bei den west- und ostexponierten Bestandeslücken liegt die Höhe in der Sonnenscheindauer dazwischen. Die nordexponierten Hänge weisen bei allen Lücken die geringste Sonnenscheindauer auf. Diese Ergebnisse bestätigen die Hypothese, ebenso zeigt ein Vergleich mit der Literatur ähnliche Ergebnisse. Die Vegetationsperiode beginnt Wochen später als bei den übrigen Hauptexpositionen.

Die Strahlungsintensität an 40° steilen **Osthängen** im Juni und Juli ist nach Schönenberger (1988) rund doppelt so hoch wie bei gleich geneigten Nordhängen. Zudem vergrößern sich die Strahlungsunterschiede gegen Ende der Vegetationsperiode, weil die Höhe der Mittagssonne zurückgeht. So ist der Unterschied in der Strahlungsintensität zwischen den nord- und ostexponierten Hängen ab Mitte September bereits fünfmal höher. Die Nordhänge erhalten ab dieser Jahreszeit praktisch keine direkte Strahlung mehr; die Strahlungsintensität ist dementsprechend gering, während die Strahlungsintensität an den Osthängen nach wie vor annähernd gleich hoch ist wie im Sommer. Die Osthänge weisen im Vergleich zu den Nordhängen mit 8 Monaten eine um 2 Monate längere positive Gesamtstrahlungsbilanz auf (Turner 1966). Die Osthänge sind zwar gut besonnt, doch besteht dort die Gefahr einer zu hohen Lichtintensität, Überhitzung und Frosttrocknis.

Brang (1996) kommt in bezug auf die räumliche Verteilung von Stichprobenpunkten in den südexponierten Lücken zu ähnlichen Ergebnissen: im oberen Teil sind Stichprobenpunkte mit hoher Sonnenscheindauer anzutreffen und im unteren Teil eher Stichprobenpunkte mit geringerer Sonnenscheindauer.

Ob nun die westexponierten bzw. ostexponierten Bestandeslücken mehr Wärme erhalten, lässt sich nicht eindeutig beantworten. Tendentiell sind es eher die ostexponierten Bestandeslücke, welche ein durchschnittlich höheres Wärmeangebot aufweisen. Brang (1996a, S.282) vermutet hingegen, dass die Ostexpositionen in bezug auf Wärmegenuss „leicht kühler als der Mittelwert zwischen Süd- und Nordexposition“ und die Westexpositionen „leicht wärmer als die Süd- und Nordexposition“ sind. Der Grund dafür könnte bei den aufgenommenen Schlitten in Sedrun an der leicht nach Westen gerichteten Nordexposition und an der Schlittenausrichtung liegen. Nach Brang (1996a) unterscheiden sich NNW- Expositionen in bezug auf Direktstrahlung wesentlich von reinen Nordexpositionen. Die Morgensonne gelangt an NNW exponierten Hang bei Ost- West ausgerichteten Schlitten kaum auf den Waldboden. Brang (1996a) vermutet das gleiche für die Nachmittagsonne bei NNE Exposition in Ost-West ausgerichteten Schlitten.

### Fazit:

Die Literatur bestätigt die Ergebnisse in bezug auf die Sonnenscheindauer der nord- und südexponierten Lücken. Die west- und ostexponierten Lücken zeigen unterschiedliche Ergebnisse auf, die Werte liegen, wie erwartet zwischen den nord- und südexponierten Bestandeslücken.

## Ausrichtung der Lücke

Die Auswirkung der Ausrichtung der Lücke auf die Höhe der Sonnenscheindauer wurde in einer grossen schlitzförmigen Bestandeslücke untersucht.

Wie die Ausrichtung einer Lücke bei gegebener Exposition in bezug auf die Sonnenscheindauer sein soll, hängt unter anderem davon ab, ob direktes Licht am Morgen oder am Nachmittag auf den Bestandesboden gelangen soll. Die Frage, ob nun Morgensonne oder Abendsonne für das Aufwachsen der Fichte geeigneter ist, ist meines Wissens umstritten. Man müsste die stündliche Sonnenscheindauer über einen Tag kennen, um detaillierter beurteilen zu können, welche Auswirkungen eine Änderung der Lückenrichtung auf die zeitliche Verteilung der Sonnenscheindauer hat. Die Berechnung der stündlichen täglichen Sonnenscheindauer ist mit dem Programm „gap

3.-Die Ausrichtung des Fotoapparats in Richtung Norden erfolgte anhand eines Kompasses. Bei der Festlegung der Himmelsrichtung mit dem Auswertungsprogramm „gap analyzer“ konnte auf keinen Referenzpunkt zurückgegriffen werden, ausser dass der obere Teil des Bildes Richtung Norden zeigt. Eine exakte Bestimmung der Nordrichtung war also nicht möglich. Das war ein Grund, weshalb nur die Hauptexpositionsrichtungen N,S,E,W ausgewertet wurden.

4. Die Registrierung der Fischaugenphotos war schwierig. Angestrebt wurde eine exakte Registrierung der Bilder.

**Fazit:**

- Bei Geländeunebenheiten, Baumstrünken usw. wäre es angebracht, pro Stichprobenpunkt mehrere Aufnahmen innerhalb von einem festgesetzten Radius zu machen.
- Für einen Vergleich der Lücken hat sich ein einheitlicher Stichprobenraster bewährt.
- Damit die Himmelsrichtung der Bilder exakt bestimmt werden kann, müsste ein Referenzpunkt vorhanden sein. Es müsste nach einem effizienten Verfahren gesucht werden, mit dem man ohne Hilfe einer 2. Person, einen klaren Referenzpunkt für die Festlegung der Nordrichtung der Bilder hat.

## Auswahl der Lücken

Die Auswahl geeigneter Lücken war nicht einfach: die beiden untersuchten Wälder „Uaul Surrein“ (Sedrun) und Lusiwald (Davos) waren zum Teil durch Folgeschäden von Vivian (1990) stark aufgelichtet (Kapitel 2.1.3.). Es wurde versucht, ein möglichst breites Spektrum von unterschiedlich grossen Lücken aufzunehmen; vor allem wurden kleine Bestandeslücken untersucht, in der Annahme, dass diese die gestellten minimalen Anforderungen für das Aufwachsen der Fichte knapp erfüllen. Im nachhinein zeigte sich, dass die kleinen Lücken mit weniger als 1 Stunde Sonnenscheindauer in bezug auf das Aufwachsen der Fichte uninteressant sind und nur die grossen Modelllücken knapp die minimalen Anforderungen für das Aufwachsen der Fichte erfüllen.

**Fazit:**

Für eine Validierung der Ergebnisse müssten noch mehr Untersuchungen gemacht werden, insbesondere von Lücken mit Grössen, welche zwischen den mittelgrossen und grossen Lücken liegen.

## Grenzen der Vergleichbarkeit

Es fragt sich, inwiefern die unterschiedlich grossen Lücken miteinander verglichen werden können. Kapitel 3.1.1. hat gezeigt, dass die Höhe des diffusen und direkten Lichtes von der **Grösse und Struktur** der Lücke abhängt.

Die Grenze der sinnvollsten kleinsten Lücke ist gegeben an der Schwelle, wo die Bestandesöffnung (nur direkt einfallendes Licht, kein Seitenlicht) einen minimalen Einfluss auf die direkte Sonnenscheindauer gerade noch aufweist. Es zeigte sich, dass bei den schlitzförmigen kleinen nordexponierten Lücken die Ausrichtung und Form der Bestandesöffnung keinen Einfluss auf die Höhe der Sonnenscheindauer hat - im Gegensatz zur **Struktur** des umgebenden Bestandes. Die Struktur des Bestandes der einzelnen Lücken ist aber **variabel**.

**Fazit:**

Aus obig genanntem Grund ist ein detaillierter Vergleich zwischen kleinen und grossen Bestandeslücken bezüglich direktem Licht nicht sinnvoll.

## Folgerung für die waldbauliche Praxis

Die Vorstellung, dass Schlitze im nordexponierten Gebirgswald nicht länger als 1 Baumlänge und  $\frac{1}{2}$  Baumlänge breit sein sollen, hatte man schon lange (Trepp, 1955). Wahrscheinlich bezieht sich Trepp (1955) auf Beobachtungen an der vorhandenen Verjüngung.

Die Untersuchung hat nun gezeigt, dass die vorgeschlagene Grösse von Trepp (1955) in nordexponierten subalpinen Bestandeslücken im Baumholz zugleich eine **sinnvolle Mindestgrösse** in bezug auf das direkte und diffuse Licht darstellt, wenn man auf 30 % der Fläche einen minimalen direkten Lichtanteil von mindestens 2 Stunden potentieller Sonnenscheindauer im Juni oder einen diffusen Lichtanteil von mindestens 20% anstrebt. Für das Aufwachsen der Fichten müsste nach Frehner (2000a) sowohl ein diffuser Lichtanteil von 20% als auch ein direkter Lichtanteil von mindestens 2 Stunden potentieller Sonnenscheindauer gegeben sein.

### Fazit:

Die untersuchten **grossen Lücken** erfüllen die Bedingungen bezüglich Licht. Kleinere Lücken zu schlagen ist in Nordexposition nicht sinnvoll, weil die Fläche in bezug auf das direkte und diffuse Licht zu klein ist.

**Nordexponierte** Lücken sollen also in bezug auf diffuses und direktes Licht eine Mindestgrösse aufweisen, wie sie Trepp (1955) vorgeschlagen hat. Im Gegensatz dazu weisen in den übrigen Expositionen die mittelgrossen Bestandeslücken bei mehr als 30 % der Fläche genügend diffuses und direktes Licht auf. Das direkte und diffuse Licht stellt bei den süd-, west- und ostexponierten grossen schlitzförmigen Lücken keinen begrenzenden Faktor dar. Hier könnte der hohe Lichtanteil eher limitierend sein für die Keimung, da Keimlinge in Südexposition auf Humusaufgabe höchstens 1,5 Stunden potentielle Sonnenscheindauer im Juni erhalten dürfen (nach Brang, 1996a). Eine Übertragung der Resultate in bezug auf die Ansamung und Keimung ist jedoch nur mit Vorbehalt möglich, da Photos auf einer Höhe von 1,3 m gemacht wurden. Das diffuse und direkte Licht ist in Bodennähe (für Keimlinge) geringer, wenn die Bodenvegetation miteinbezogen wird.

Im Baumholz lohnt es sich in allen Expositionen nicht, kleinere Lücken als die untersuchten mittelgrossen zu schlagen, weil sie den Anforderungen bezüglich Licht nicht entsprechen. Die kleinen Lücken weisen weniger als 1 Stunde Sonnenscheindauer auf. Die räumliche Verteilung der Sonnenscheindauer bestätigt die früheren Untersuchungen. Demzufolge ist in den Bestandeslücken in Nordexposition der talwärtsgelegene Lückenrand als ideal anzusehen.

### Fazit

Lücken in Baumholzbeständen in **Süd-, West- und Ostexposition** können in bezug auf das direkte und diffuse Licht auch **mittelgross** sein. In Nordexposition genügen sie nicht. Der beste Standort für die Verjüngung ändert sich je nach Exposition und ist zu beachten.

Die Grösse spielt in Lücken, die von **Stangenhölzern** umgeben sind, in bezug auf das direkte und diffuse Licht nach dieser Untersuchung keine Rolle. Diese Lücken weisen genug diffuses und direktes Licht auf. Der grösste Teil des diffusen und direkten Lichtes kommt direkt von oben auf den Bestandesboden. Der seitliche diffuse und direkte Lichtanteil ist minim; im Gegensatz zu den Bestandeslücken in der Entwicklungsstufe **Baumholz**, bei der das Seitenlicht einen viel grösseren Einfluss auf die Höhe des direkten und diffusen Lichtes hat. Hier spielt die Struktur des Bestandes eine wesentliche Rolle in bezug auf das Seitenlicht. Innerhalb von wenigen Metern kann sich das direkte Licht ändern (siehe Übersichtsgrafiken); demzufolge ist jede Lücke einmalig.

### Fazit:

Es muss immer der **umgebende Bestand** mitberücksichtigt werden, weil die seitlichen Sonnenstrahlen einen grossen Einfluss auf die Lichtverhältnisse in der Bestandeslücke haben. Die Struktur hat einen erheblichen Einfluss auf die Lichtverhältnisse im Bestand.

## 5. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde die **diffuse** und **direkte Lichtverteilung** (unbedeckter Himmelsanteil in %, durchschnittliche potentielle Sonnenscheindauer im Juni) in Bestandeslücken unterschiedlicher Form und Grösse untersucht. Im **Gebirgswald** zählt die diffuse und direkte Lichtverteilung zu einem der limitierendsten Faktoren. Die Untersuchungen wurden im ETH- Lehrwald Uaul Surrein und einer Aufforstungsfläche Rueras (beide in Sedrun) und in der SLF-Forschungsfläche Lusiwald (Davos) durchgeführt.

Das diffuse und direkte Licht wurde auf drei verschiedene Arten ausgewertet:

1. diffuse und direkte Lichtverteilung in der effektiven Bestandeslücke
2. diffuse und direkte Lichtverteilung in ideal aufgebauten Modelllücken
3. diffuse und direkte Lichtverteilung in der Bestandesöffnung

Für einen Vergleich der unterschiedlich grossen Lücken wurde von Modelllücken (ideal aufgebaute Lücken) ausgegangen: ausufernde Partien, fehlende Abschlüsse wurden korrigiert.

Bezüglich **Grösse** der Lücke hat es sich gezeigt, dass bei Nordexposition die grossen schlitzförmigen Lücken (ca. 50m lang und 10-15m breit) die Anforderungen in bezug auf das diffuse und direkte Licht erfüllen: 30 % der Fläche weist mehr als 2 Stunden direktes und diffuses Licht auf; 50% der Fläche erhalten mehr als 20% diffuses Licht. Die runde grosse Lücke erfüllt diese Anforderung ebenfalls, sie ist jedoch nicht vergleichbar, da sie im flachen Gelände liegt. Die übrigen nordexponierten Lücken erfüllen diese Anforderungen nicht; sie sind alle zu klein.

Die **Ausrichtung** der Lücke zeigt ein klares Bild in bezug auf das direkte und diffuse Licht: sowohl die NW – SW als auch die NE- SE ausgerichteten Lücken weisen durchschnittlich die gleich hohe Sonnenscheindauer auf.

Die **räumliche Verteilung** des diffusen Lichtes ist in den runden und schlitzförmigen Lückenformen ähnlich: an den Bestandesrändern ist der diffuse Lichtanteil in der Regel am kleinsten, in der Mitte der Lücke am grössten.

**In der Diskussion** werden die Ergebnisse der Untersuchung, das Aufnahmeverfahren und die Auswertung erörtert. Sie schliesst mit einigen Folgerungen für die waldbauliche Praxis.

# Literaturverzeichnis

Anderson, M.C. (1964): Studies of woodland light climate. I The photographic computation of light conditions. *J.Ecol.*52: S.27-S.41.

Bischoff, N. (1987): Pflege des Gebirgswaldes. Leitfaden für die Begründung und forstliche Nutzung von Gebirgswäldern. Bundesamt für Forstwesen und Landschaftsschutz, EDMZ, Bern.

Bissegger, M. (1989): Erhebungen der Verbissbelastung im Betriebsteil „Uaul Surrein“ des Lehrwaldes Sedrun. Ermittlung von Dispersionsfaktoren sowie Ableitung der Genauigkeit und des Arbeitsaufwandes für Stichproben unterschiedlichen Umfanges (Diplomarbeit ETH).

Brang, P. (1996a): Experimentelle Untersuchungen zur Ansamungsökologie der Fichte im zwischenalpinen Gebirgswald. Beiheft Schweiz. Z. Forstwes. 77, Diss. ETH Nr. 11 243.

Brang, P. (1996b): Ansamungsgunst und Verteilung der Direktstrahlung in schlitzförmigen Bestandesöffnungen zwischenalpiner Fichtenwälder. *Schweiz. Zeitschrift Forstwesen*, 147, 10, 761 – 784.

Brunner, A.(1993): Die Entwicklung von Bergmischwaldkulturen in den Chiemgauer Alpen und eine Methodenstudie zur ökologischen Lichtmessung im Wald. Schriftreihe der Forstwissenschaftlichen Fakultät der Universität München und der Bayerischen Forstlichen Versuchs- und Forschungsanstalt, Forstl. Forschungsber. München Nr. 128.

Burschel, P., Löw, H., Mettin, Ch. (1977): waldbauliche Untersuchungen in den Hochlagen des Werdenfelser. Landes. Forstl. Forschungsber. München 37.

Burschel, P., Huss, J. (1997): Grundriss des Waldbaus: Ein Leitfaden für Studium und Praxis. Parex Buchverlag, Berlin.

Chazdon, R. L. (1988): Sunflecks and their importance to forest understory plants. *Advances in Ecol. Res.* 18: 1-63.

Day, T., Delucia, E., Smith, W. (1989): Influence of cold soil and snowcover on photosynthesis and leaf conductance in two Rocky Mountains conifers. *Oecologia* 80: 546 – 552.

Dai, Xiaobing (1996): Influence of light conditions in canopy gaps on forest regeneration: a new gap light index and its application in a boreal forest in east-central Sweden. *Forest Ecology and Management*. Vol 84 (1996) 187.

Fischer, B. (1980): Designing forest openings for the group selection method. *USDA For. Serv.* 34.

Fischer, B. et al. (1978): A computer model to simulate light energy distribution in small forest openings. In: *Proceedings of the Second Central Hardwood Forest Conference*, Purdue University.

Fraser, S. (1999): gap light analyzer (GLA): Users Manual and Program Documentation, Version 2,0, Burnaby Universität British Columbia, Canada ([www.rem.sfu.ca/forestry/index.htm](http://www.rem.sfu.ca/forestry/index.htm)).

Frehner, M. (1989): Beobachtungen zur Einleitung der Naturverjüngung an einem nordexponierten Steilhang im subalpinen Fichtenwald. *Schweiz. Z. Forstwes.*, 140, 11: 1013 – 1022.

Frehner, M. (2001a): Untersuchungen über den Einfluss unterschiedlicher Kleinstandorte und der Pflanztechnik auf Fichtenpflanzungen in subalpinen Lawinenschutzwäldern. Beiheft Schweiz. Z. Forstwes. 92, Diss. Nr. 13929.

Frehner, M. (2001b): Entwicklung von Fichtenverjüngung im Lehrwald Sedrun der ETH Zürich (nördliche Zwischenalpen). Schweiz. Z. Forstwes., 152, 1: 12 – 24.

Gensler, G.A. (1946): Der Begriff der Vegetationszeit. Diss. Uni Zürich.

Imbeck, H., Ott, E. (1987): Verjüngungsökologische Untersuchungen in einem hochstaudenreichen subalpinen Fichtenwald, mit spezieller Berücksichtigung der Schneeablagerung und der Lawinenbildung. Mitt. Eidg. Inst. Schnee- u. Lawinenforschung, 42.

Johann, K. (1970): Ergebnisse strukturanalytischer Untersuchungen in natürlich verjüngten Fichtenbeständen. FwCbl. 89: 228 - 251.

Kunz (1983): Anwendungsorientierte Kartierung der Besonnung im regionalem Massstab. Geogr. Bernensia, G19.

Lüscher, F. (1990): Untersuchung zur Höhenentwicklung der Fichtennaturverjüngung im inneralpinen Gebirgswald. Diss. ETH Nr. 8879.

Mayer, Andrea (1997): Einflussfaktoren auf das Wachstum geplanter Fichten in Bestandeslücken eines subalpinen hochstaudenreichen Fichtenwaldes. (Diplomarbeit Freiburg).

Meyer-Grass M., Schneiter G. (1992): Auswertung langjähriger Schneehöhenmessungen in einem subalpinen Waldbestand mit Blößen. Publikation, Winterbericht SLF Nr. 55.  
Minimale Pflegemassnahmen für Wälder mit Schlutzfunktion. Buwal (Hrsg., 1996).

Motta, Renzo, Brang, Peter, Frehner, Monika, Ott, Ernst (1994): Copertura muscinale e rinnovazione di abete rosso (*Picea abies* L.) nella pecceta subalpina di Sedrun (Grigioni, Svizzera). Monti e Boschi 1994/3. 49-56.

Mosandl, R.(1984): Löcherhiebe im Bergmischwald. Ein waldökologischer Beitrag zur Femelschlagverjüngung in den Chiemgauer Alpen. Forstl. Forschungsber. München 61.

Niggli, E. (1944): Geologische-mineralogische Kartenskizze Distentis-Oberalp. Schweiz. Min.-Petrogr. Mittlg., Bd. XXIV Heft 1 und 2. Kümmerly und Frey, Bern.

Ott, E., Frehner, M., Frey, H. U., Lüscher, P. (1997): Gebirgsnadelwälder: Ein praxisorientierter Leitfaden für eine standortgerechte Waldbehandlung. Verlag Paul Haupt, Bern/Stuttgart/Wien.

Ott, E., Lüscher, F., Frehner, M., Brang, P. (1991): Verjüngungsökologische Besonderheiten im Gebirgsfichtenwald im Vergleich zur Bergwaldstufe. Schweiz. Zeitschr. Forstwes. 142: 879-904.

Roussel, Louis (1972): Photologie forestière. Masson, Paris.

Schönenberger, W. u. Werner Frey (1988): Untersuchungen zur Ökologie und Technik der Hochlagenaufforstung - Forschungsergebnisse aus dem Lawinenanrissgebiet Stillberg. Schweiz. Z. Forstwes., 139 9: S. 735-820.

Sommerhalder, R., Hägeli, M., Meyer-Grass, M und Ernst Ott (1991): Verjüngungsversuche im Lusiwald (subalpiner Fichtenwald) bei Davos Bündnerwald 44/5, S.15 – S.20.

Schütz, J. P., Brang, P. (1995): L'horizontoscop: un étonnant outil pratique de silviculture, notamment en haute montagne. Office National des Forêts, Bulletin technique. 28 : S. 1-7.

Thormann, J.J. (2001 in review): Ein Vergleich verschiedener Lichtmessmethoden in Buchenwaldreservaten Sloweniens aus verjüngungsökologischer Sicht. Schweiz. Z. Forstwes. (erscheint voraussichtlich im Sommer 2001).

Thormann, J.J. (1997): Zur Methodik der Lichtmessung im Wald. Ein Vergleich von LAI-2000 Plant Canopy Analyser, Fisheye-Foto und Horizontoskop. Schlussbericht ETH Zürich, Professur Waldbau.

Tonne, F. (1954): Besser Bauen mit Besonnungs- und Tageslichtplanung. K. Hofmann, Schorndorf/Stuttgart.

Trepp, W. (1955): Subalpiner Fichtenwald. In: Campell, E., Kuoch, R., Richard, F., Trepp, W.: Ertragsreiche Nadelwaldgesellschaften im Gebiete der schweizerischen Alpen, unter besonderer Berücksichtigung Graubündens. Bündnerwald, Beiheft 5: 27-44.

Trepp, W. (1979): Vegetationskundliche Kartierung des Versuchswaldes des Instituts für Waldbau, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Gemeinde Tavetsch GR (unveröffentlicht).

Turner, H (1966): Die globale Hangbestrahlung als Standortsfaktor bei Aufforstungen in der subalpinen Stufe (Stilberg) Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes., Mitt. 42, 3: 109 – 168.

Wasser, B., Frehner, M. et al. (1996): Wegleitung Minimale Pflegemassnahmen für Wälder mit Schutzfunktion, Vollzug Umwelt. Hrsg. BUWAL, Bern.

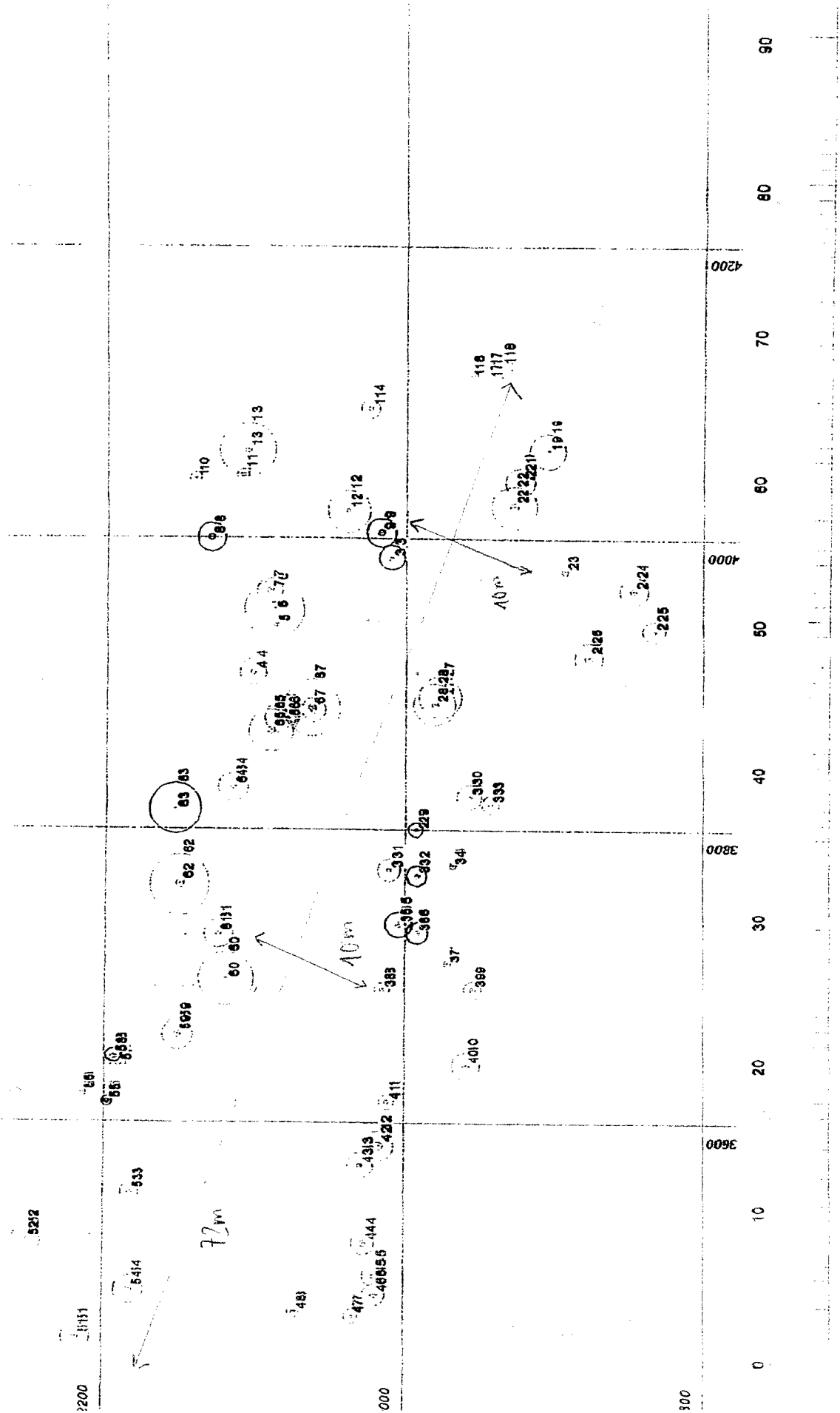
Wayne, P. M., Bazzaz, F.A. (1993): Birch seedling responses to daily time courses of light in experimental forest gaps and shadehouses. Ecology 74, 5: 1500-1515.

Zingg, A. und Bachofen, H.H. (1988): Schweizerisches Landesforstinventar: Anleitung für die Erstaufnahme 1982-1986. Eidg. Anst. Forstl. Versuchswes.(Hrsg.).



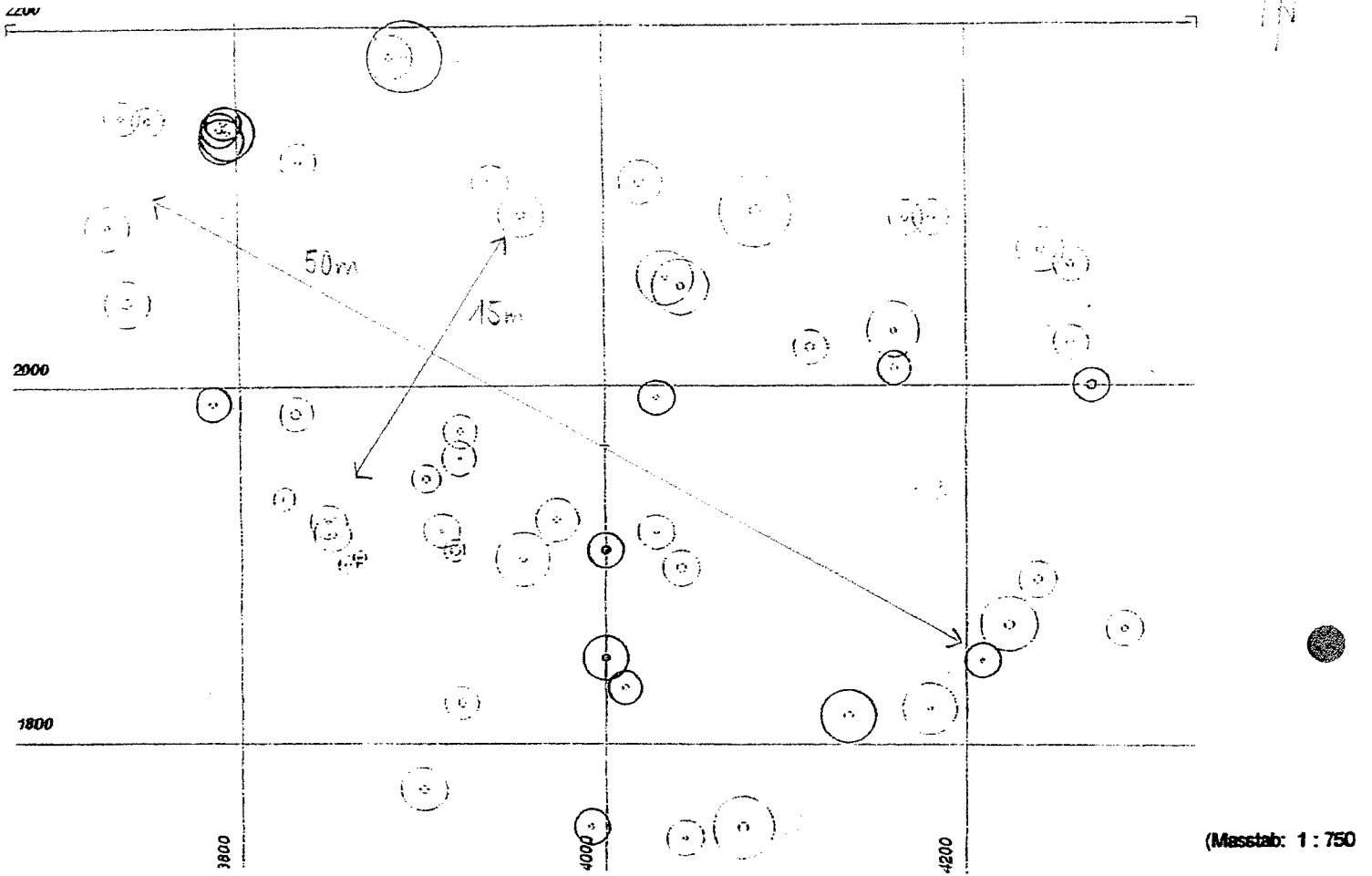
# Anhang

## 1. grosse schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 1

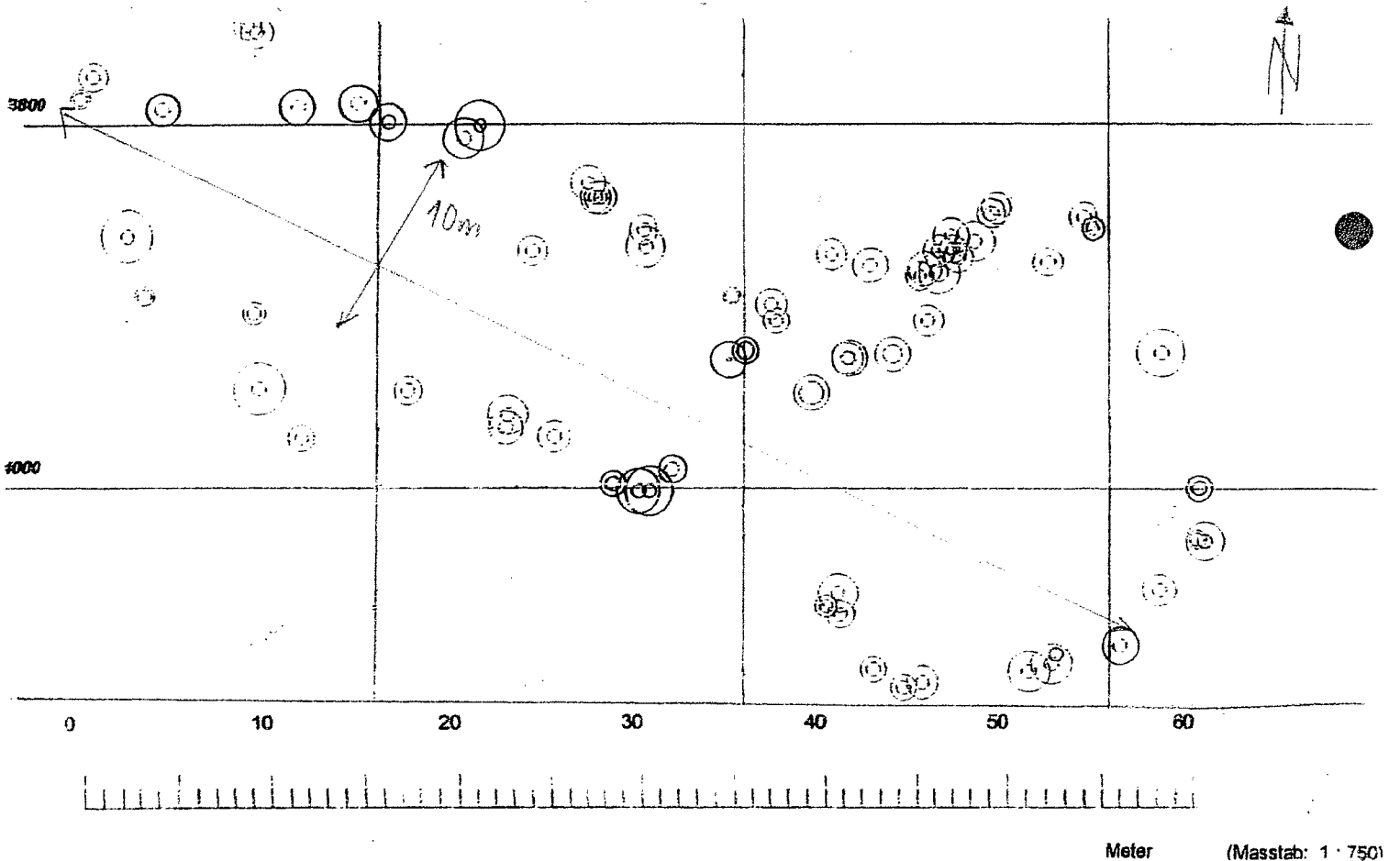


Meter (Masstab: 1 : 750)

## 2. grosse schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 2

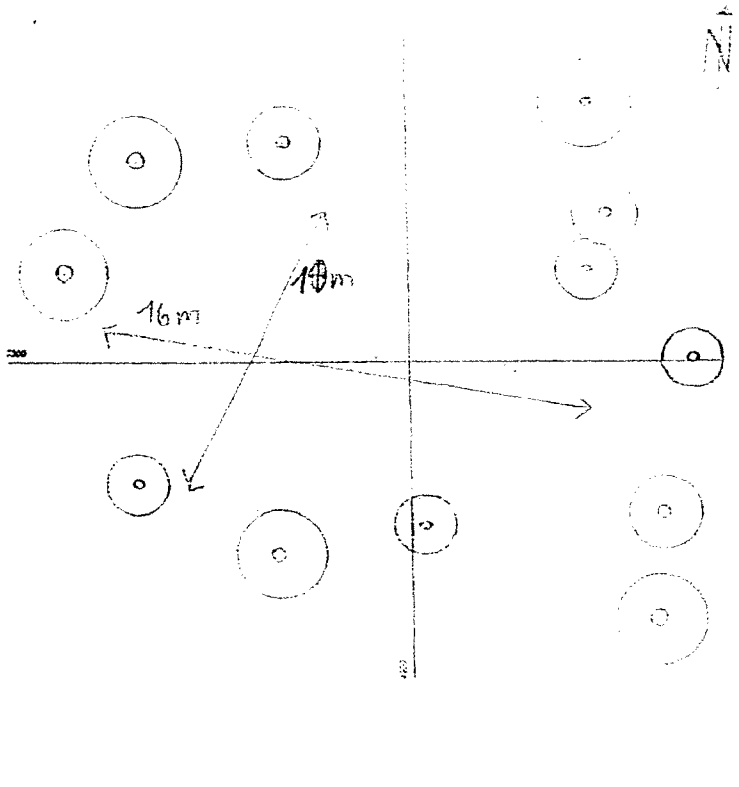
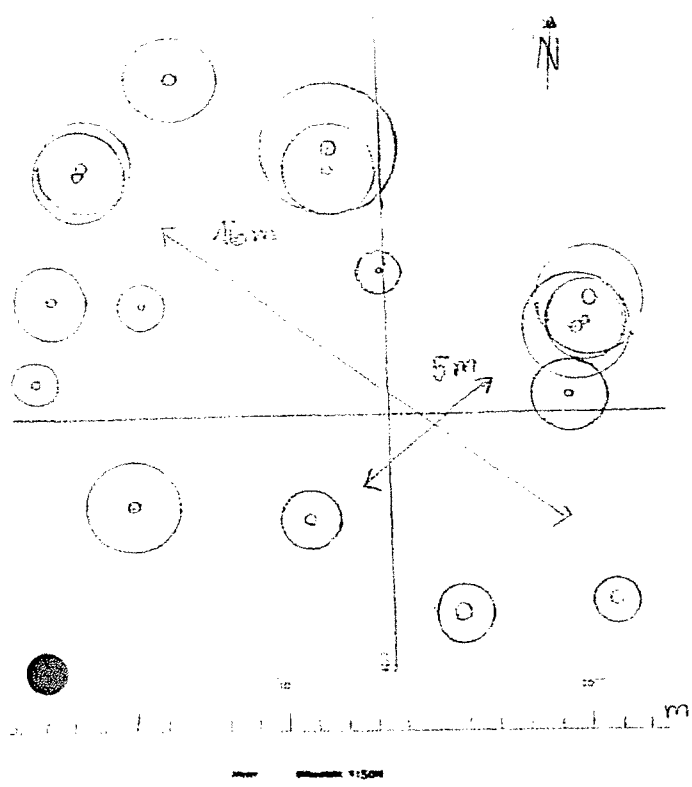


## 3. grosse schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 3



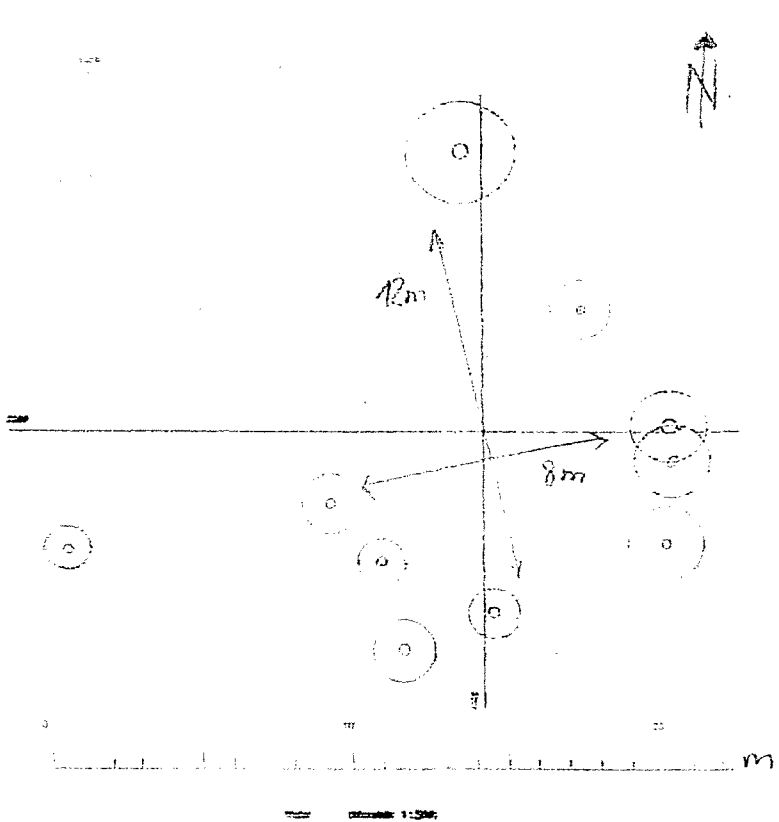
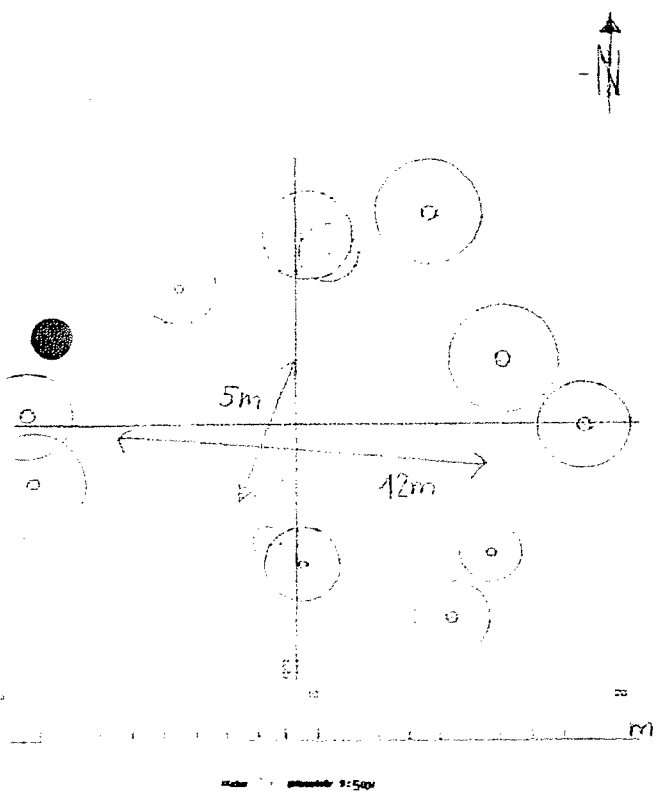
1. mittelgrosse schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 11

2. mittelgrosse schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 12

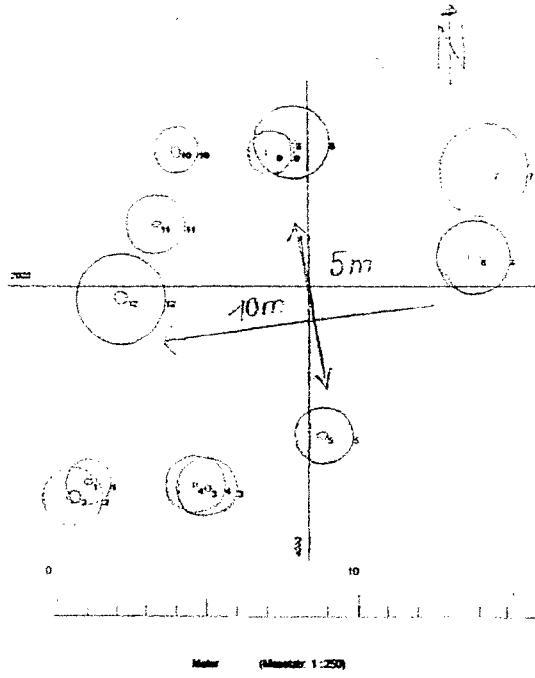


1. Kleine schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 13

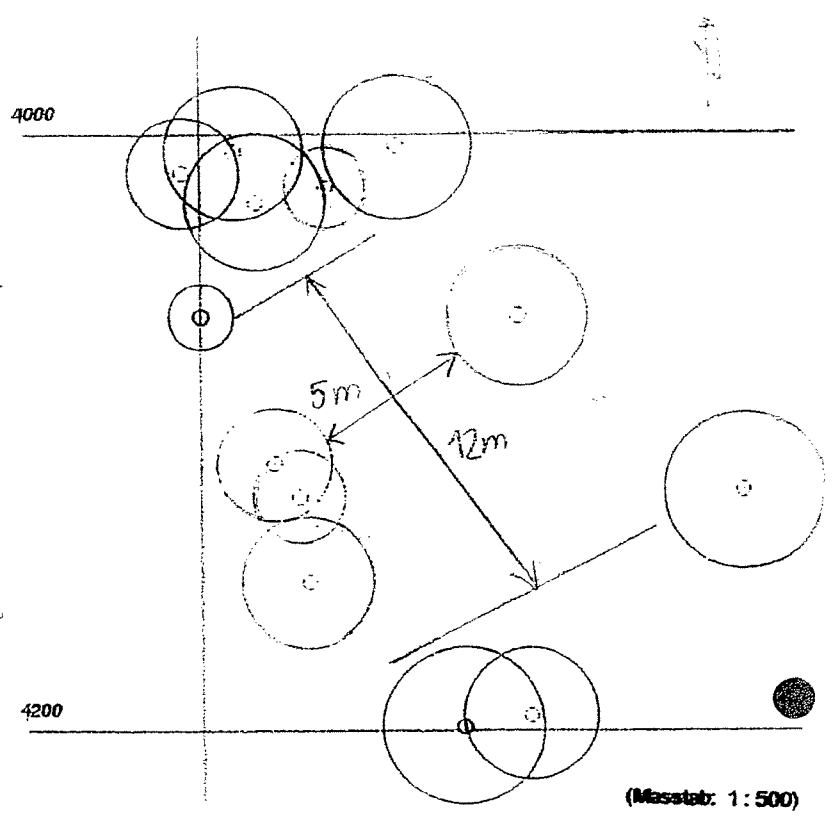
2. Kleine schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 15



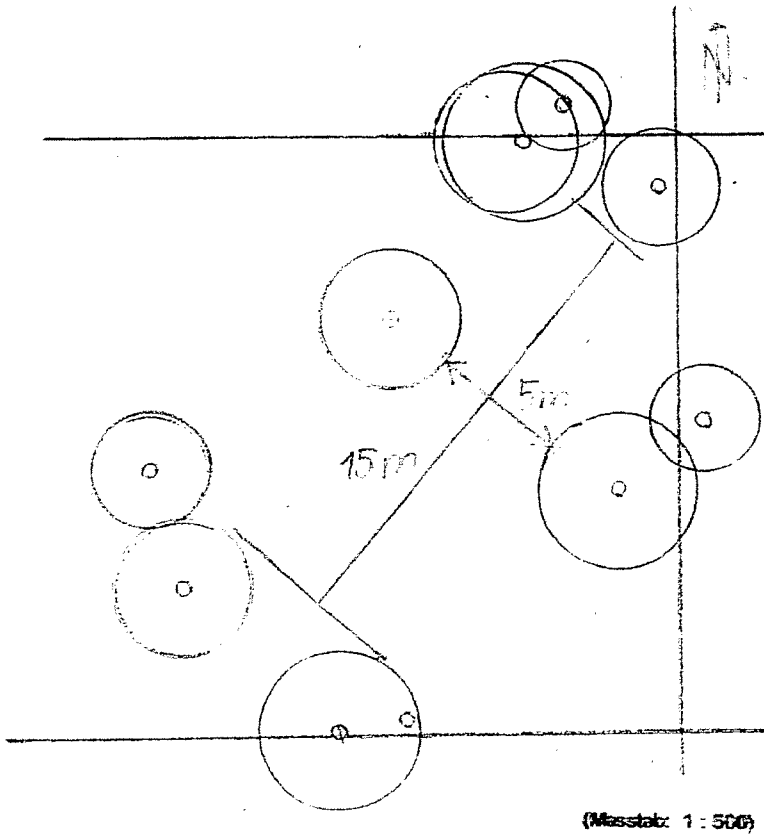
3. Kleine schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 16



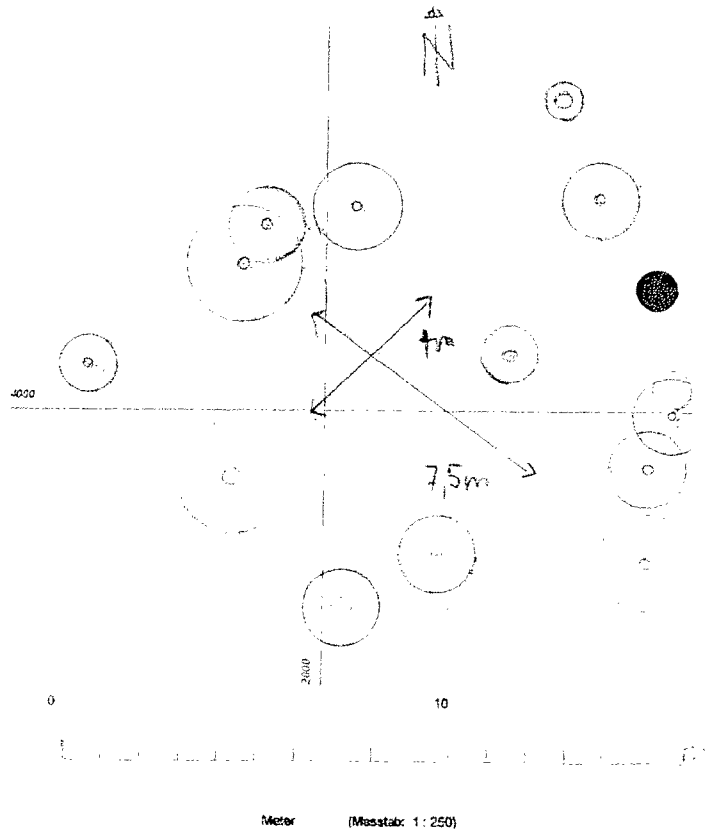
4. Kleine schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 4



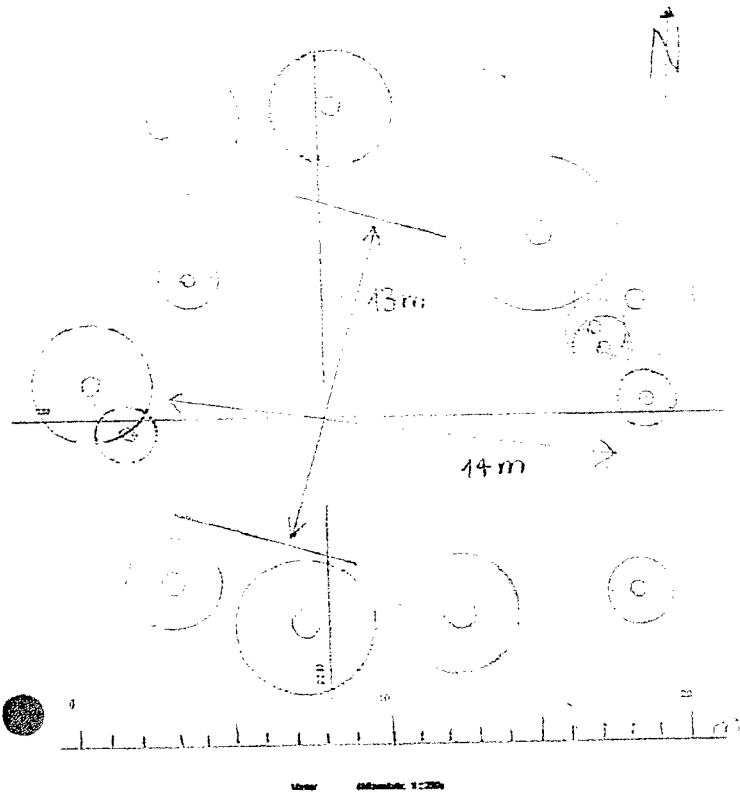
5. Kleine schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 5



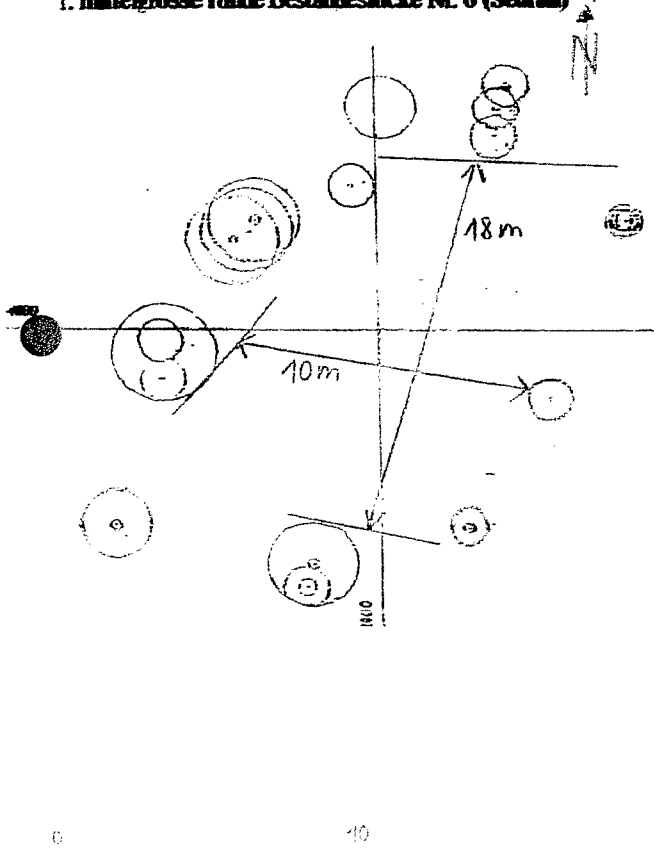
6. Kleine schlitzförmige Bestandeslücke Nr. 5 („Rueras“ (Sedrun))



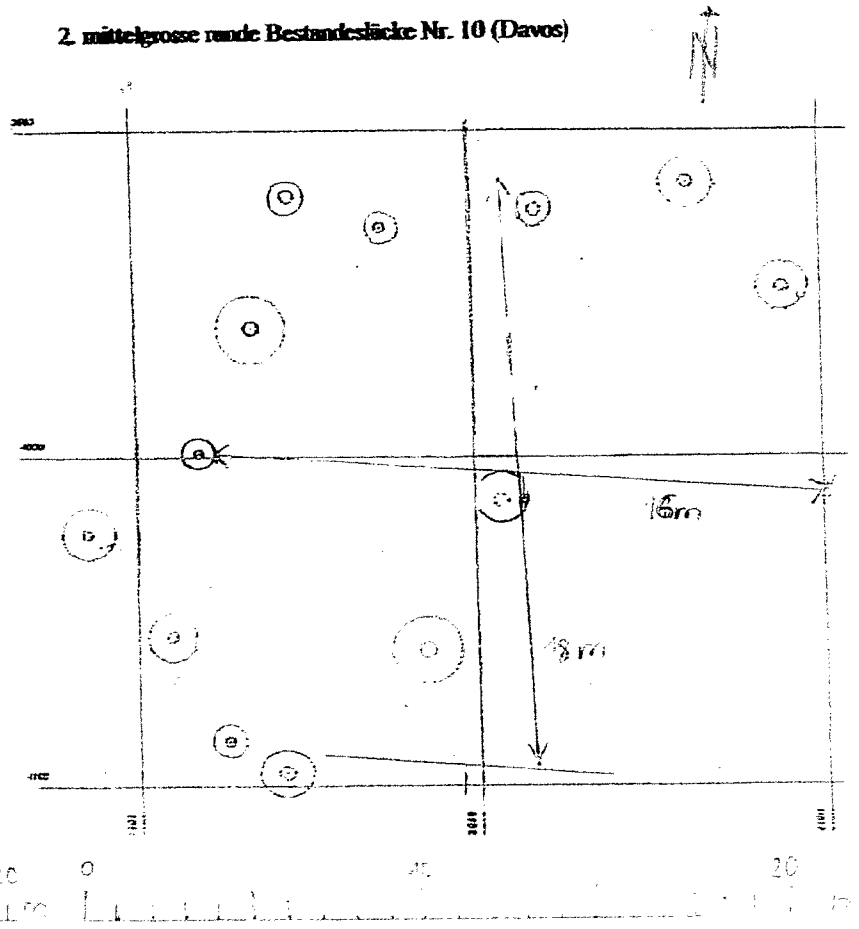
**i. grosse runde Bestandeslücke Nr. 14 (Davos)**



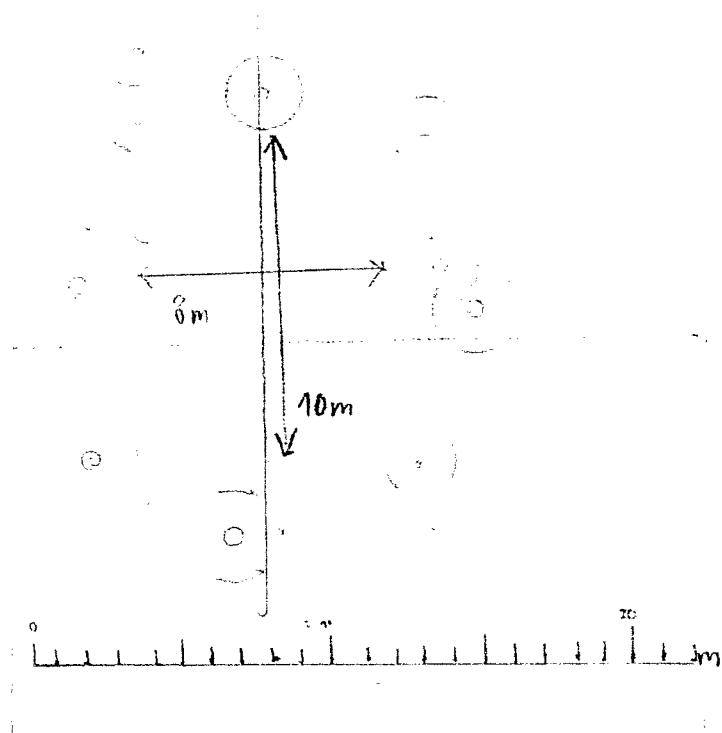
**1. mittelgroße runde Bestandeslücke Nr. 6 (Seilma)**



**2. mittelgroße runde Bestandeslücke Nr. 10 (Davos)**



1. Kleine runde Bestandeslücke Nr. 7 („Rueras“ (Sedrun))



2. Kleine runde Bestandeslücke Nr. 8 („Rueras“ (Se

